



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Études
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER ACADEMIQUE

Faculté de la Technologie

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Réseaux Electriques

Thème

Etude des Différentes Commandes
MPPT pour Générateur Photovoltaïque
"Réalisation expérimentale"

Dirigé par :

Dr. KECHIDA Ridha

Réalisé par :

ZAOUI Imane

BEDJAG Taima

Année universitaire 2022/2023.

Remerciements

Loué soit Dieu, qui nous a éclairés sur le chemin de la connaissance et de la connaissance, nous a aidés à remplir ce devoir, et nous a guidés pour accomplir ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements et notre gratitude à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à accomplir ce travail et à surmonter les difficultés rencontrées, et en particulier notre encadrant Dr. KECHIDA Ridha.

Nous ne manquerons pas de remercier chacun des :

**Dr. GACEM Abdel-Malek*

** Dr. LABIOD Chouaib*

**Dr. CHERIF Hakima*

**Mr. BAKOUZA Khaled*

Qu'Allah nous récompense tous du mieux

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A ma famille, et tout particulièrement à mes chers parents, pour leurs
patiences tout au long de ce année d'études, et leurs soutiens sans faille
dans la réalisation de mon projet.*

A mes oncles et mes tantes

A toute la famille

A mes copines

Imane Zaoui

Taima Bedjag

Résumé

Cette mémoire se concentre sur l'amélioration des performances et du rendement d'un système photovoltaïque en utilisant les algorithmes appropriés pour la commande de l'interface de puissance. L'objectif principal est de tester les algorithmes de commande efficaces et optimales permettant d'extraire le maximum de puissance disponible à partir du générateur photovoltaïque.

Dans ce projet, nous nous proposons de créer un modèle de simulation afin d'étudier les différents algorithmes de commande MPPT pour un générateur photovoltaïque. Nous effectuons des mesures des caractéristiques courant-tension (I-V) et tension-puissance (P-V) du panneau photovoltaïque à l'aide du programme de simulation *MATLAB*. Cette démarche nous permettra d'analyser les effets des différents types d'algorithmes MPPT.

Nous nous concentrons particulièrement sur les algorithmes suivants : le *Perturbation et observation* (P&O), l'*Incrément de conductance* (INC) et le *Hill Climbing* (HC). Notre objectif est d'évaluer l'efficacité de ces commandes de MPPT et de déterminer celle qui offre les meilleurs résultats en termes d'optimisation de la puissance extraite.

Mots-clés : Générateur photovoltaïque, Maximum de puissance MPPT, P&O, INC, HC.

المُلخَص

تركز هذه الرسالة على تحسين أداء وكفاءة النظام الكهروضوئي باستخدام الخوارزميات المناسبة للتحكم في واجهة الطاقة. الهدف الرئيسي هو اختبار خوارزميات التحكم الفعالة والمثالية التي تسمح باستخراج أقصى طاقة متاحة من المولد الكهروضوئي.

في هذا المشروع، نقترح إنشاء نموذج محاكاة لدراسة مختلف خوارزميات التحكم من أجل تتبع أقصى نقطة للطاقة لمولد الطاقة الشمسية. نقوم بقياس الخصائص التيار-الجهد (I-V) والجهد-القدرة (P-V) للوحة الشمسية باستخدام برنامج المحاكاة *MATLAB*. ستسمح لنا هذه العملية بتحليل التأثيرات لأنواع مختلفة من خوارزميات لإيجاد نقطة التتبع القصوى للطاقة (MPPT).

نحن نركز بشكل خاص على الخوارزميات التالية: طريقة الاضطراب والملاحظة (P&O)، طريقة التوصيل المتزايد (INC)، وتسلق التلال (HC). هدفنا هو تقييم كفاءة هذه الخوارزميات لتتبع النقطة القصوى للطاقة وتحديد أي منها يوفر أفضل النتائج في تحسين الطاقة المستخرجة.

الكلمات المفتاحية: النظام الكهروضوئي، نقطة الطاقة القصوى للطاقة، طريقة الاضطراب والملاحظة، طريقة التوصيل المتزايد، تسلق التلال.

Sommaire

Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste d'abréviation	
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralité sur le système photovoltaïque

I.1	Introduction	2
I.2	L'énergie renouvelable	2
I.3	Les types de l'énergies renouvelables	2
I.3.1	L'énergie solaire	2
I.3.2	L'énergie éolienne	2
I.3.3	Energie hydraulique-hydroélectricité	3
I.3.4	L'énergie biomasse	3
I.3.5	L'énergie géothermie	3
I.4	L'énergie photovoltaïque	3
I.4.1	Description d'un système photovoltaïque	3
I.4.2	Energie solaire photovoltaïque	3
I.5	Rayonnement solaire	3
I.5.1	Rayonnement direct	4
I.5.2	Rayonnement diffus	4
I.5.3	Rayonnement solaire réfléchi ou l'albédo du sol	4
I.5.4	Rayonnement global	4
I.6	L'effet photovoltaïque	5
I.7	Cellules photovoltaïques	5
I.7.1	Types des cellules	6
I.7.2	Panneaux solaires	7
I.8	Système photovoltaïque	8
I.8.1	Système autonome (Off grid)	8
I.8.2	Systèmes photovoltaïques hybride	8
I.8.3	Système photovoltaïque raccordé au réseau	9
I.9	Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïques	9

I.10	Future d'énergie solaire photovoltaïque en Algérie	10
I.11	Conclusion	10

Chapitre II : Modélisation d'un système photovoltaïque

II.1	Introduction	11
II.2	Modélisation de cellules photovoltaïque	11
II.2.1	Cellule photovoltaïque idéale	12
II.2.2	Cellule photovoltaïque réelle	13
II.2.3	Caractéristique d'une cellule photovoltaïque	13
II.3	Modélisation mathématique d'un panneau photovoltaïque	15
II.3.1	Schéma électrique équivalent	15
II.3.2	Caractéristique d'un panneau photovoltaïque	16
II.4	Convertisseur DC/DC	17
II.4.1	Principe conversion photovoltaïque	17
II.4.2	Étage d'adaptation entre un générateur photovoltaïque et une charge	17
II.4.3	Les types de convertisseur DC/DC	18
II.5	Commande MPPT	20
II.5.1	Principe de la commande MPPT	20
II.6	Algorithme MPPT	21
II.6.1	Méthode de perturbation et observation (P&O)	21
II.6.2	Méthode de conductance incrémentale (IC)	22
II.6.3	Algorithme "Hill Climbing"	24
II.7	Conclusion	25

Chapitre III : Simulation et résultat d'un système photovoltaïque

III.1	Introduction	26
III.2	Simulation d'un système photovoltaïque par MATLAB/Simulink	26
III.2.1	Caractéristiques électriques du convertisseur boost	27
III.3	Résultats de simulation	27
III.3.1	Conditions standards ($G=1000\text{W/m}^2$, $T=25\text{C}$)	27
III.3.2	Influence de la température et éclairage constante	29
III.3.3	Influence de l'éclairage et la température constante	31
III.3.4	Comparaison des résultats de trois méthodes	33
III.4	Conclusion	35

Chapitre IV : Expérimentale d'un système photovoltaïque

IV.1	Introduction	38
IV.2	Réalisation d'un hacheur boost	38
IV.2.1	Soudure des composants électroniques	38
IV.3	Carte Arduino UNO	39
IV.4	Différents composants du système	40
IV.4.1	Module SOLARWORLD SW80	40
IV.4.2	Capteur de courant ACS712	40
IV.4.3	Capteur de tension	40
IV.5	Résultats expérimentales	41
IV.5.1	Résultats de méthode de perturbation et observation (P&O)	41
IV.5.2	Résultats de méthode de conductance incrémentale (INC)	42
IV.5.3	Résultats de méthode de Hill Climbing	43
IV.6	Conclusion	44

Liste des figures

Figure I.1	Familles de l'énergie renouvelables	2
Figure I.2	Réponse spectrale d'une cellule (PV).	4
Figure I.3	L'effet photovoltaïque	5
Figure I.4	Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	6
Figure I.5	Exemple de cellule et de module photovoltaïque en silicium : a) Plaquettes sans connectique, b) Cellule PV élémentaire, c) Générateur photovoltaïque, d) Photo d'un générateur PV poly-cristallin commercial	7
Figure I.6	Schéma représentatif d'une association série/parallèle.	7
Figure I.7	Système PV autonome.	8
Figure I.8	Système PV hybride	9
Figure I.9	Système photovoltaïque raccordé au réseau	9
Figure II.1	Schéma équivalent d'une cellule PV	11
Figure II.2	Schéma équivalent d'une photopile idéale : (a) Sous l'obscurité. (b) Sous l'éclairement	12
Figure II.3	Constitution de la caractéristique d'une photopile	13
Figure II.4	Caractéristique courant-tension d'une photopile	14
Figure II.5	Caractéristique puissance-tension d'une photopile	14
Figure II.6	Modèle équivalent d'une cellule photovoltaïque	15
Figure II.7	Caractéristiques d'un PV	16
Figure II.8	Etage d'adaptation entre un GPV et une charge	17
Figure II.9	Différents types de hacheurs	18
Figure II.10	Signal de commande du commutateur	18
Figure II.11	Schéma de base d'une alimentation utilisant des panneaux solaires	20
Figure II.12	Caractéristique $P_{PV} = f(V_{PV})$ d'un panneau solaire.	21
Figure II.13	Algorithme type de la méthode P&O.	22
Figure II.14	Positionnement du point de fonctionnement suivent le signe de $\frac{dI_{PV}}{dV_{PV}}$	23
Figure II.15	Algorithme type de la méthode Incrément de Conductance (INC).	23
Figure II.16	Organigramme de l'algorithme Hill Climbing.	24
Figure III.1	Schéma Matlab/Simulink du système photovoltaïque	26
Figure III.2	Schéma Matlab/Simulink pour simulation de système photovoltaïque	27

Figure III.3	Signal Builder pour les conditions standards ($G=1000\text{W}/\text{m}^2$, $T=25\text{C}$)	27
Figure III.4	Résultats de simulation du PV à ($T=25^\circ\text{C}$, $E=1000\text{W}/\text{m}^2$)	28
Figure III.5	Résultats de simulation du PV à ($T=25^\circ\text{C}$, $E=1000\text{W}/\text{m}^2$)	28
Figure III.6	Résultats de simulation du PV à ($T=25^\circ\text{C}$, $E=1000\text{W}/\text{m}^2$)	29
Figure III.6	Signal Builder ($T=0^\circ\text{C}$, $T=25^\circ\text{C}$, $T=50^\circ\text{C}$ et $T=75^\circ\text{C}$), ($E=1000\text{ W}/\text{m}^2$)	29
Figure III.7	Résultats de simulation du PV pour T variables et ($E=1000\text{W}/\text{m}^2$)	30
Figure III.8	Résultats de simulation du PV pour T variables et ($E=1000\text{W}/\text{m}^2$)	30
Figure III.9	Résultats de simulation du PV pour T variables et ($E=1000\text{W}/\text{m}^2$)	31
Figure III.10	Signal Builder pour éclairage variables et température constants	31
Figure III.11	Résultats de simulation du PV pour E variables et ($T=25^\circ\text{C}$)	32
Figure III.12	Résultats de simulation du PV pour E variables et ($T=25^\circ\text{C}$)	32
Figure III.13	Résultats de simulation du PV pour E variables et ($T=25^\circ\text{C}$)	33
Figure III.14	Résultats de puissance PV pour les trois algorithmes (PO, INC, HC) à son dans le cas idéal ($E=1000\text{W}/\text{m}^2$, $T=25^\circ\text{C}$).	33
Figure III.15	Résultats de puissance pour les trois algorithmes (PO, INC, HC) à $E=1000\text{W}/\text{m}^2$, ($T=0^\circ\text{C}$, $T=25^\circ\text{C}$, $T=50^\circ\text{C}$ et $T=75^\circ\text{C}$).	34
Figure III.16	Résultats de puissance pour les trois algorithmes (PO, INC, HC) à $T=25^\circ\text{C}$, ($E=1000\text{W}/\text{m}^2$, $E=800\text{ W}/\text{m}^2$, $E=600\text{ W}/\text{m}^2$, $E=1000\text{ W}/\text{m}^2$)	34
Figure IV.1	Banque d'essais de système photovoltaïque	38
Figure IV.2	Hacheur BOOST réalisé	38
Figure IV.3	Carte Arduino UNO	39
Figure IV.4	Module SOLARWORLD SW80	40
Figure IV.5	Capteur de courant ACS712	40
Figure IV.6	Capteur de tension	40
Figure IV.7	Résultats expérimentaux d'algorithme P&O	41
Figure IV.8	Résultats expérimentaux d'algorithme INC	42
Figure IV.9	Résultats expérimentaux d'algorithme HC	43

Liste des tableaux

Tableau I-1	Type des cellules solaires	9
Tableau II-1	Caractéristique du module Canadian Solar CS5C-80M	19
Tableau III-1	Caractéristiques électrique du convertisseur Boost utilisé	34
Tableau IV-1	Différents composants du hacheur réalisé	47

Liste d'abréviation

PV :	Panneaux photovoltaïque
PPM :	Point de puissance maximaux
MPPT :	Maximum power point tracking
GPV :	Générateur photovoltaïque
I_{pv} :	Courant du panneau photovoltaïque
V_{pv} :	Tension du panneau photovoltaïque
P_{pv} :	Puissance du panneau photovoltaïque
I_{cc} :	Courant de court-circuit
V_{co} :	Tension de circuit ouvert
i_{ph} :	Courant délivré par la cellule
v_{ph} :	Tension à la sortie de la cellule
i_d :	Courant qui traverse la diode
v_d :	Tension aux bornes de la diode
r_s :	Résistance série
r_p :	Résistance parallèle
P&O :	Perturbation et observation
INC :	Incrément de conductance
HC :	Hill climbing
CS :	Convertisseur statique
ε :	L'erreur d'approximation
N_s :	Nombre de cellule connectée en série
N_p :	Nombre de cellule connectée en parallèle
q :	Charge de l'électron
k :	Constante de Boltzmann
K_v :	Le coefficient de Tension / Températures de circuit ouvert
I_0 :	Courant de saturation de la diode
G :	L'éclairement
G_n :	L'éclairement nominale
$I_{pv,n}$:	Courant généré par l'éclairement solaire
K_I :	Coefficient de courant / Températures de court-circuit
ΔT :	Températures actuelle et nominales

Liste d'abréviation

V_t :	Tension thermique
P_{in} :	Puissance incidente
T :	Température de jonction des cellules
P_{max} :	Puissance maximale
FF :	Facteur de forme
I_s :	Courant de saturation de la diode
a :	Est le facteur d'idéalité de la jonction
α :	Facteur d'idéalité de diode
σ :	surface
η :	Rendement de la photopile

Introduction Générale

Introduction Générale

Ces dernières années, de nombreuses sources d'énergie renouvelable ont été découvertes, parmi lesquelles on compte l'énergie éolienne, l'énergie hydroélectrique et l'énergie photovoltaïque. Cette dernière est considérée comme l'une des sources d'énergie renouvelable les plus importantes au monde. Elle est obtenue directement à partir du rayonnement solaire et peut être convertie en électricité grâce à l'effet photovoltaïque. Les panneaux photovoltaïques sont composés de cellules qui ont la capacité de convertir les photons en électrons, permettant ainsi d'obtenir de l'énergie sous forme de courant continu utilisable directement. Pour améliorer l'efficacité des systèmes photovoltaïques, des méthodes connues sous le nom de techniques de suivi du point de puissance maximale (MPPT) peuvent être utilisées.

L'objectif dans ce travail est de mettre en œuvre différentes techniques MPPT et de les appliquer à l'étape d'adaptation, puis de réaliser des simulations afin de comparer les résultats obtenus. Notre thèse se divise en quatre chapitres.

Le premier chapitre de notre thèse fournira un aperçu des énergies renouvelables, avec une attention particulière accordée aux systèmes photovoltaïques. Nous examinerons en détail les avantages et les inconvénients de ces systèmes, ainsi que les différents types existants, tels que les systèmes indépendants, hybrides et connectés au réseau. De plus, nous aborderons l'avenir de l'énergie en Algérie.

Dans le deuxième chapitre, notre étude portera sur le convertisseur couramment utilisé dans les systèmes photovoltaïques, à savoir le convertisseur DC-DC Boost. Nous présenterons sa modélisation, son principe de fonctionnement et les différences qu'il présente par rapport aux autres types de convertisseurs.

Le troisième chapitre sera consacré à la présentation des résultats obtenus à travers nos simulations, ainsi qu'à leur interprétation et analyse.

Le quatrième chapitre expliquera en détail l'expérience pratique que nous avons réalisée, en décrivant les dispositifs utilisés et en présentant les résultats obtenus à partir de cette expérience.

Enfin, nous concluons notre thèse par un chapitre de conclusion générale qui résumera l'intérêt de notre étude et mettra en évidence les principales conclusions et recommandations.

Chapitre I.

Généralité sur le système photovoltaïque

I.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies les plus utilisées et les plus renouvelables. Car le soleil est une source d'énergie illimitée. Pour la production d'énergie électrique. Les systèmes solaires s'appuient sur le photovoltaïque qui convertit les photons de la lumière en électricité.

Dans ce chapitre on va essayer de donner une idée générale sur l'énergie solaire, les différents types des systèmes photovoltaïques et quelques concepts qui vont nous aider à bien rentrer dans le thème.

I.2 L'énergie renouvelable

Les énergies renouvelables sont des énergies qui peuvent être régénérées naturellement. Il y a cinq familles principales d'énergies renouvelables.



Figure I.1 : Familles de l'énergie renouvelables.

Dans l'ordre d'importance de leur exploitation actuelle, ce sont : l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique (hydroélectricité), la biomasse (avec le bois de chauffage, ainsi que biogaz...), la géothermie [1].

I.3 Les types d'énergies renouvelables

I.3.1 L'énergie solaire : est produite par le rayonnement du soleil, on distingue :

- L'énergie solaire photovoltaïque.
- La solaire thermique basse température.
- La solaire thermique haute température.

I.3.2 L'énergie éolienne : les ancêtres des éoliennes sont les moulins à vent, de l'électricité par exemple, à partir du déplacement des masses d'air.

I.3.3 Energie hydraulique-hydroélectricité : est directement obtenue par l'eau, que ce soit à partir des marées et courants marins, des vagues, de la rencontre de l'eau douce et de l'eau salée, on distingue :

- Le grand hydraulique.
- La petite hydraulique.
- Les énergies marines.

I.3.4 L'énergie biomasse : l'énergie biomasse comprend le bois, les biocarburants (issus de végétaux comme le biogaz). Cette énergie est produite par la combustion ou la métabolisation de matière organique.

I.3.5 L'énergie géothermie : est une énergie renouvelable provenant de l'extraction de l'énergie contenue dans le sol, elle peut être utilisée pour le chauffage mais aussi pour la production d'électricité. Il s'agit de l'une des seules énergies ne dépendant pas des conditions atmosphériques [2].

I.4 L'énergie photovoltaïque

I.4.1 Description d'un système photovoltaïque

Dès l'année 1839, le physicien français *Alexandre Edmond Becquerel* découvre que certains matériaux produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière.

Il faut attendre 1905 pour qu'*Albert Einstein* explique concrètement ce phénomène, Toutefois, ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs de la compagnie *Bell Téléphone*, parvinrent à fabriquer la première photopile, l'élément primaire d'un système photovoltaïque.

La transformation de la lumière en énergie électrique porte aussi le nom d'effet photovoltaïque, Le mot « photovoltaïque » vient de grec « photos » et signifiant lumière et de « volta » du nom du physicien italien qui en 1800 découvrit la pile électrique [3].

I.4.2 Energie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable permettant la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire, en énergie électrique à courant continu grâce à une cellule photovoltaïque [4].

I.5 Rayonnement solaire [5]

Malgré la distance considérable qui sépare le soleil de la terre $150 \cdot 10^6$ Km, la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie importante $180 \cdot 10^6$ GW. Cette énergie quittera la surface du soleil sous forme de rayonnement électromagnétique compris dans une longueur variant de 0.22 à $10 \mu m$.

L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement comme suit :

- 9% dans la bande des ultraviolets (< à $0.4\mu m$).
- 47% dans la bande visible (0.4 à $0.8\mu m$).
- 44% dans la bande des infrarouges (> à $0.8\mu m$).

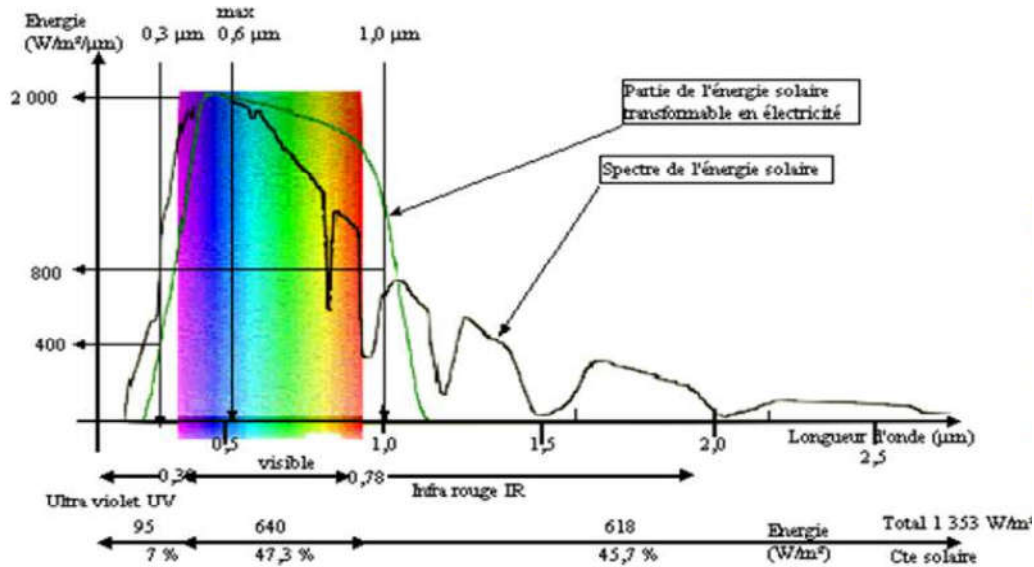


Figure I.2 : Réponse spectrale d'une cellule (PV).

I.5.1 Rayonnement direct : est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ces rayons sont parallèles entre eux. Il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs. Il peut être mesuré par un Pyranomètre [7].

I.5.2 Rayonnement diffus : est le rayonnement provenant de toute la voûte céleste. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages. Il peut être mesuré par un pyranomètre avec écran masquant le soleil [8].

I.5.3 Rayonnement solaire réfléchi ou l'albédo du sol : est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige) [8].

I.5.4 Rayonnement global : Ce rayonnement est la somme des composantes directe et diffuse. On distingue deux types de données d'ensoleillement :

- Rayonnement instantané : on considère les courbes de l'intensité du rayonnement en fonction de l'heure de la journée.
- Rayonnement cumulé : c'est le cumul du rayonnement global par jour [9].

I.6 L'effet photovoltaïque

La conversion photovoltaïque est la transformation directe d'une énergie électromagnétique (rayonnement) en énergie électrique de type continu directement utilisable à travers un matériau semi-conducteur appelé cellule photovoltaïque. L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière [5].

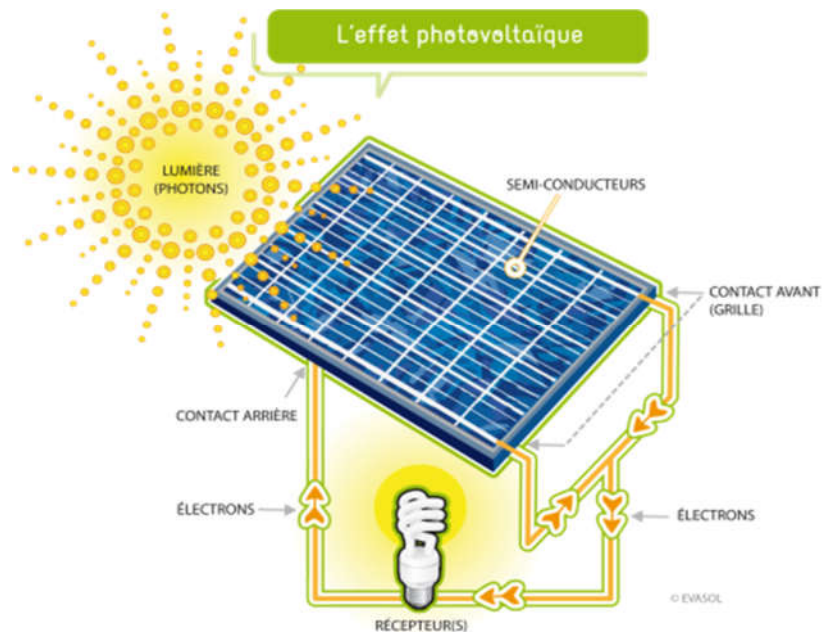


Figure I.3 : L'effet photovoltaïque

I.7 Cellules photovoltaïques

Une cellule PV est constituée de deux couches de silicium ; ces deux couches sont dopées afin d'être polarisées, pour rendre l'une des couches positive « couche P » on lui incorpore un certain nombre d'atomes de bore, et pour rendre l'autre couche négative « couche N » on lui incorpore un certain nombre d'atomes de phosphore, on crée ainsi une barrière de potentiel, lorsqu'un photon ayant suffisamment d'énergie est absorbé par ce semi-conducteur, il produit la rupture d'une liaison de valence et libère ainsi un électron, ce qui crée un « trou » positif, c'est ce que l'on appelle l'effet photovoltaïque : c'est la différence de potentiel entre ces deux couches. En reliant les deux couches on obtient un mouvement d'électrons qui passent d'une couche à l'autre, et crée ainsi un courant électrique [11].

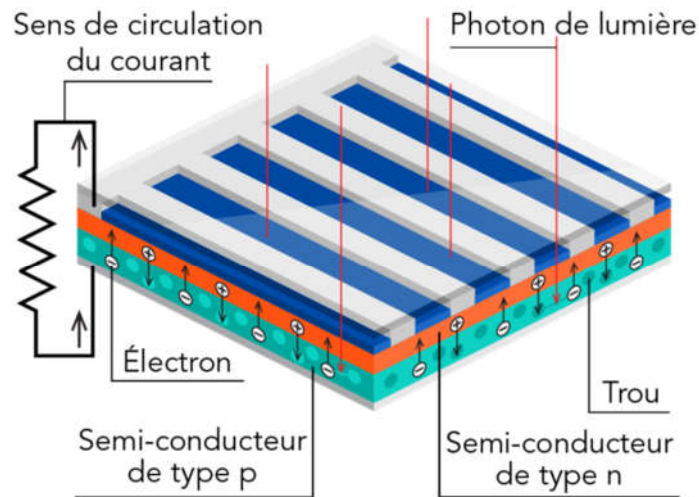





Figure I.4 : Principe de fonctionnement d’une cellule photovoltaïque

I.7.1 Types des cellules

Le rendement d’un panneau solaire dépend fortement de la technologie utilisée. La grande majorité des panneaux photovoltaïque qui existent sur le marché sont à base de silicium. Nous citons dans le tableau ci-dessous les 3 types les plus répandus [3] :

Tableau I.1 : Types des cellules solaires.

Type de cellule	Rendement	Avantages	Inconvénients
Monocristalline 	De 12 à 18 %	Meilleur rendement	Cout de production élevé
Polycristalline 	De 11 à 15 %	Bon rendement	Cout de production élevé
Amorphe 	De 5 à 8 %	Faible cout	Très faible rendement

I.7.2 Panneaux solaires

Le panneau se compose de plusieurs modules PV interconnectés en série et/ou en parallèle, dans le but d'augmenter la puissance. Pour la même température avec un éclairage homogène, l'association des cellules PV en série c'est de l'augmentation de la tension, ainsi que la tension résultante est la somme de tension de chaque cellule. Contrairement, le courant augmente, à l'association en parallèle.

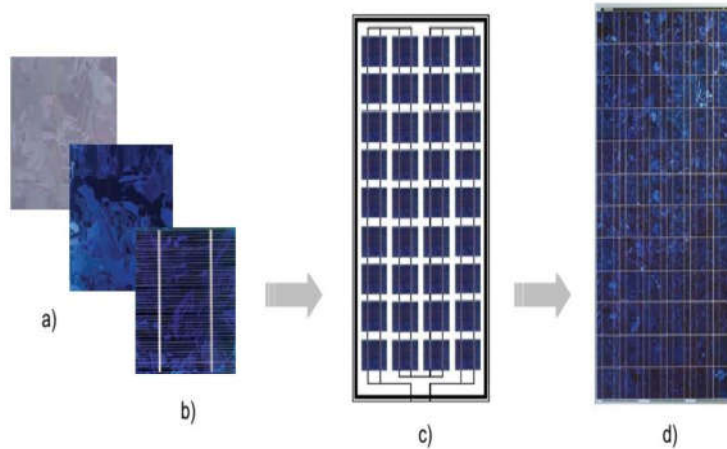


Figure I.5 : Exemple de cellule et de module photovoltaïque en silicium

a) Plaquettes sans connectique, **b)** Cellule PV élémentaire, **c)** Générateur photovoltaïque, **d)** Photo d'un générateur PV commercial.

La figure suivante montre une association de 3 branches en parallèle ayant chacune 2 cellules en série [12] :

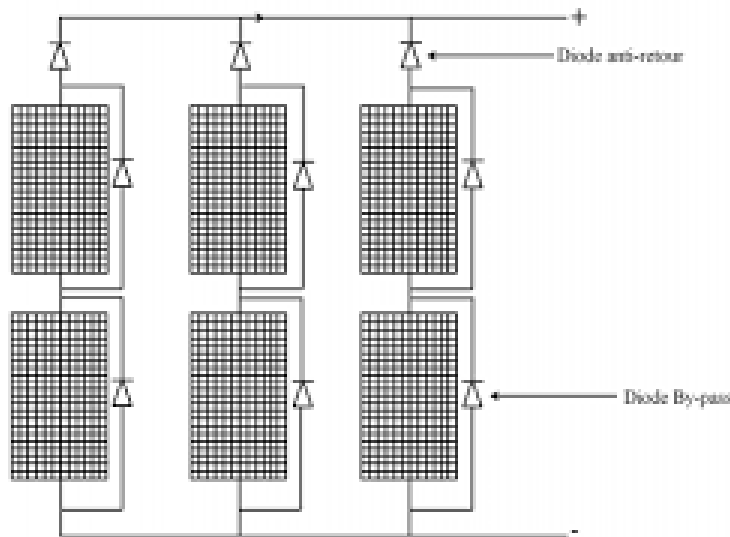


Figure I.6 : Schéma représentatif d'une association série/parallèle.

Selon son association (série/parallèle), les valeurs du courant I_{cc} et tension V_{co} sont plus ou moins importants.

I.8 Système photovoltaïque

Au cours des années 50, les cellules PV alimentaient uniquement le système énergétique des satellites. Les premières applications terrestres ne sont apparues qu'au début des années 70. Aujourd'hui, grâce à sa fiabilité, le PV prend une place prépondérante. Les systèmes photovoltaïques les plus couramment utilisés selon les exigences sont de trois types :

I.8.1 Système autonome (Off grid)

Dans ce cas, l'énergie est produite et consommée au même endroit et qui n'interagit pas avec le réseau principal. Habituellement, le dispositif de (consommation / utilisation) d'électricité fait partie du système, c'est-à-dire les systèmes solaires domestiques, le système d'éclairage public solaire [13].

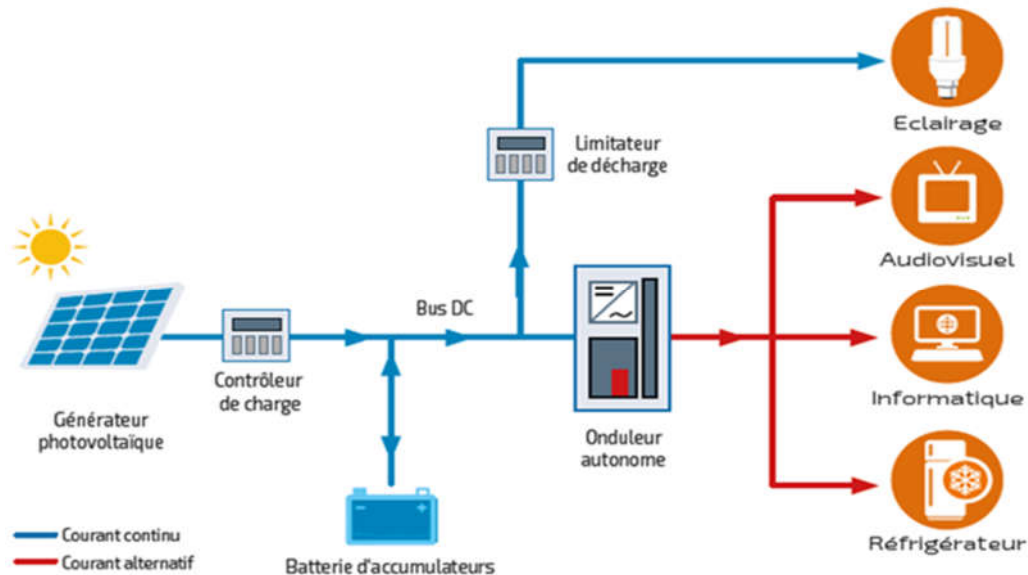


Figure I.7 : Système PV autonome.

I.8.2 Système photovoltaïques hybride

Les systèmes photovoltaïques hybrides intègrent un générateur photovoltaïque et un autre générateur : éolienne, groupe électrogène. En général, un système de batteries stocke l'énergie et permet ainsi de ne pas perdre l'énergie des sources aléatoires telles que le solaire ou l'éolien. La difficulté de ce type de système est d'équilibrer les différentes sources d'énergie de façon à toutes les optimiser, étant entendu que les sources thermiques (pétrole, charbon, ...) et le réseau public, sont toujours les appoints de dernier recours [14].

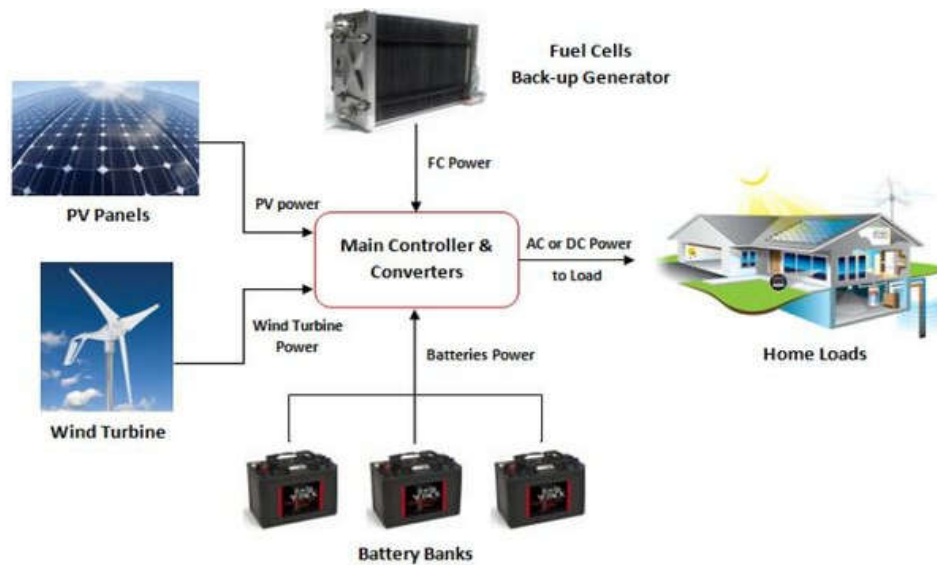


Figure I.8 : Système PV hybride.

I.8.3 Système photovoltaïque raccordé au réseau

Le système raccordé au réseau, ou non autonome, est un système qui injecte l'excès d'énergie dans le réseau de distribution électrique. La figure suivante illustre ce type de système [7] :



Figure I.9 : Système photovoltaïque raccordé au réseau.

I.9 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïques

❖ Les avantages :

- ☑ L'énergie PV est renouvelable et fiable car l'installation ne comporte pas de pièces mobiles.
- ☑ Le caractère modulaire des panneaux PV permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt aux centaines de mégawatts.
- ☑ Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.

- La technologie PV présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant et n'entraîne aucune perturbation du milieu.
- Longue durée de vie des panneaux solaires et pas de risques électriques pour les usagers.

❖ **Les inconvénients :**

- La fabrication du module PV relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 11-15 % avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs PV ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.
- Occupation d'un espace important pour les installations de grandes dimensions [10].

I.10 Future d'énergie solaire photovoltaïque en Algérie

La stratégie énergétique de l'Algérie repose sur l'accélération du développement de l'énergie solaire. Le gouvernement prévoit le lancement de plusieurs projets solaires photovoltaïques d'une capacité totale d'environ 3 GWc d'ici 2020. D'autres projets d'une capacité de 10.557GWc par an devraient être réalisés sur la période 2021-2030. L'usine SARL 'Algérien PV Company', basée à Tlemcen, est la première entreprise d'agrégation commerciale des panneaux solaires photovoltaïques en Algérie et le deuxième en Afrique dont le premier module est sorti en juillet 2011 a été testé et caractérisé au niveau du CDER [15].

I.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents éléments qui interviennent dans la constitution d'un système photovoltaïque. Nous avons abordé la cellule photovoltaïque ainsi que le module photovoltaïque, en décrivant également les différentes connexions associées. De plus, nous avons examiné les avantages et les inconvénients de ces systèmes.

Nous avons également discuté des différents types de systèmes photovoltaïques, tels que les systèmes indépendants, les systèmes connectés au réseau et les systèmes hybrides. Nous avons inclus une section supplémentaire portant sur l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque indépendante en Algérie, en soulignant son importance.

Chapitre II.

Modélisation d'un système photovoltaïque

II.1 Introduction

Un système photovoltaïque est constitué d'un générateur photovoltaïque et d'un ensemble de composants électriques (convertisseur statique, câblage et protection) qui permettent d'adapter la puissance électrique produite aux spécifications des récepteurs.

Ce chapitre présentera notre étude sur la modélisation du système photovoltaïque avec le contrôle MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) en utilisant les algorithmes Perturbation et Observation (P&O), Incrément de Conductance (INC) et Hill Climbing (HC). Nous prendrons également en compte les effets de la température et de l'éclairement.

L'objectif principal de cette étude est d'optimiser l'efficacité du système photovoltaïque en trouvant le point de puissance maximale (PPM) pour les conditions variables de température et d'éclairement. Nous présenterons les modèles mathématiques des panneaux solaires, des convertisseurs de puissance et des algorithmes de MPPT pour décrire le fonctionnement du système.

II.2 Modélisation de cellules photovoltaïque

Pour établir le modèle mathématique de la cellule PV, il faut tout d'abord retrouver son circuit électrique équivalent. De nombreux modèles mathématiques de cellule PV ont été développés pour représenter leur comportement très fortement non linéaire dû à la jonction semi-conductrice.

Le modèle à une diode est le modèle le plus classique de la littérature [16-19]. Il consiste en un générateur de courant i_{ph} qui est directement dépendant de l'ensoleillement et de la température pour la modélisation du flux lumineux incident, une diode en antiparallèle pour les phénomènes de polarisation de la cellule, une résistance série r_s représentant les diverses résistances de contacts et de connexions et une résistance parallèle r_p caractérisant les divers courants de fuites dus à la diode et aux effets de bords de la jonction. Le circuit électrique équivalent de la cellule est représenté dans la figure II.1 ;

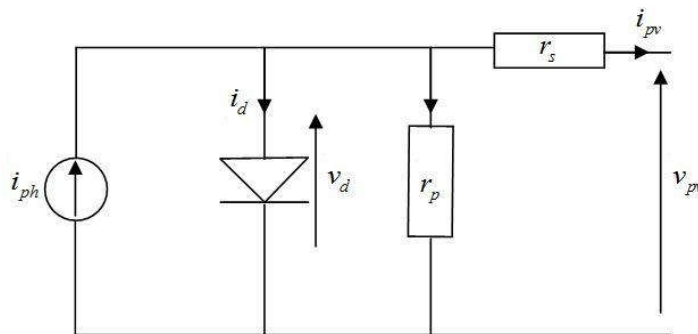


Figure II.1 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.

Avec :

- i_d : le courant qui traverse la diode,
- v_d : la tension aux bornes de la diode,
- i_{ph} : le courant délivré par la cellule.
- v_{pv} : est la tension à la sortie de la cellule.

II.2.1 Cellule photovoltaïque idéale

La résistance série est très petite et la résistance parallèle est suffisamment grande. Le circuit équivalent de la photopile peut devenir comme suit (figure II.2) :

Une photopile dans l'obscurité (figure II.2.a) est régie par l'expression du courant dans la

$$i_{pv} = -i_d = -I_s \left[\exp\left(\frac{q V_{pv}}{a k_b T}\right) - 1 \right] \quad (II-1)$$

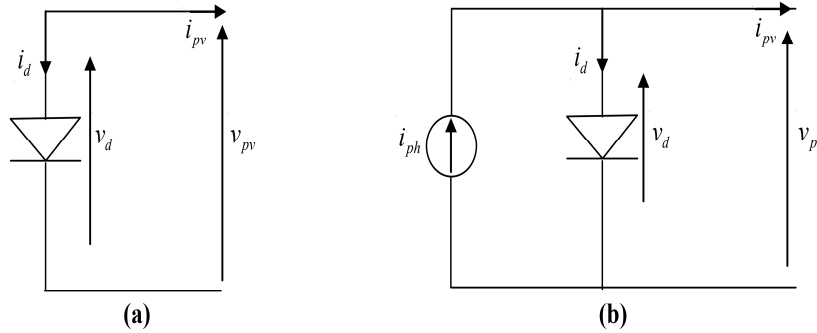


Figure II.2 : Schéma équivalent d'une photopile idéale : (a) Sous l'obscurité. (b) Sous l'éclairement.

Où : I_s : Le courant de saturation de la diode.

a : Le facteur d'idéalité de la jonction.

k_b : La constante de Boltzmann ($1.38 \times 10^{-23} J/K$).

T : La température de jonction des cellules.

q : La charge élémentaire de l'électron ($1.6 \times 10^{-19} C$).

Si la photopile est maintenant sous l'éclairement (figure II.2.b), elle sera régie par une nouvelle expression :

$$i_{pv} = i_{ph} - i_d = i_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{q V_{pv}}{a k_b T}\right) - 1 \right] \quad (II-2)$$

Pratiquement, on utilise une charge résistive ajustable pour construire point par point la caractéristique courant-tension de la photopile (Figure II.3).

➤ Si la charge est nulle, cas de court-circuit, la tension de sortie est égale à zéro. Le courant de la cellule est à son maximum. Ce courant est appelé : courant de court-circuit.

$$i_{sc} = i_{ph} \quad (II-3)$$

- Si la charge est suffisamment grande, cas du circuit ouvert, le courant de sortie est égal à zéro. La tension de la cellule est à son maximum. Cette tension est appelée la tension de circuit ouvert :

$$V_{oc} = \frac{a k_b T}{q} \ln \left(\frac{i_{ph}}{I_s} + 1 \right) \quad (II-4)$$

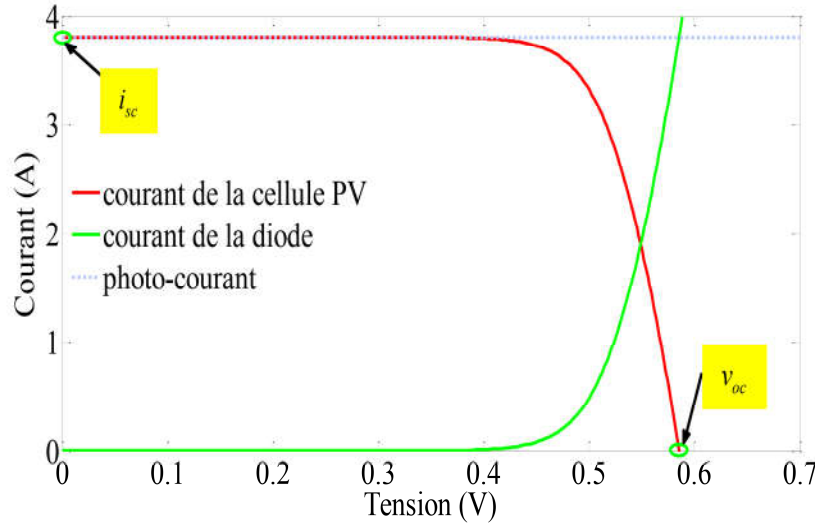


Figure II.3 : Constitution de la caractéristique d'une photopile.

II.2.2 Cellule photovoltaïque réelle

En réalité, la résistance série est très petite, et est de l'ordre de quelques milli-ohms. La résistance parallèle est suffisamment grande, et est de l'ordre du méga ohm. Dans ce cas, le circuit équivalent de la photopile est celui de la figure (II.2). Ainsi, l'expression du courant de la cellule peut avoir la forme suivante [20] :

$$i_{pv} = i_{ph} - i_d - \frac{V_{pv}}{r_p} = i_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{q(V_{pv} + r_s i_{ph})}{a k_b T} \right) - 1 \right] - \frac{V_{pv} + r_s i_{ph}}{r_p} \quad (II-5)$$

En utilisant cette expression, on peut tracer la caractéristique (I-V) de la cellule PV (figure II.4). Etant donné que la puissance de la cellule est le produit du courant par la tension, alors de même, on peut tracer la caractéristique P-V de la cellule PV (figure II.5).

On peut conclure que la cellule PV présente une caractéristique (I-V) non linéaire allant du point de fonctionnement extrême correspondant au courant de court-circuit vers un autre point extrême correspondant à la tension en circuit ouvert tout en passant par le point de fonctionnement souhaité qui est le PPM. Trois modes de fonctionnement de la photopile peuvent être distingués en regardant sa caractéristique (I-V).

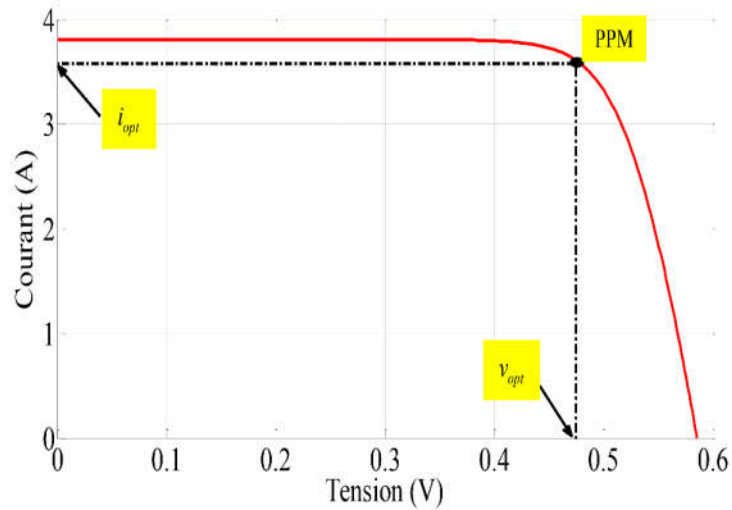


Figure II.4 : Caractéristique courant-tension d'une photopile.

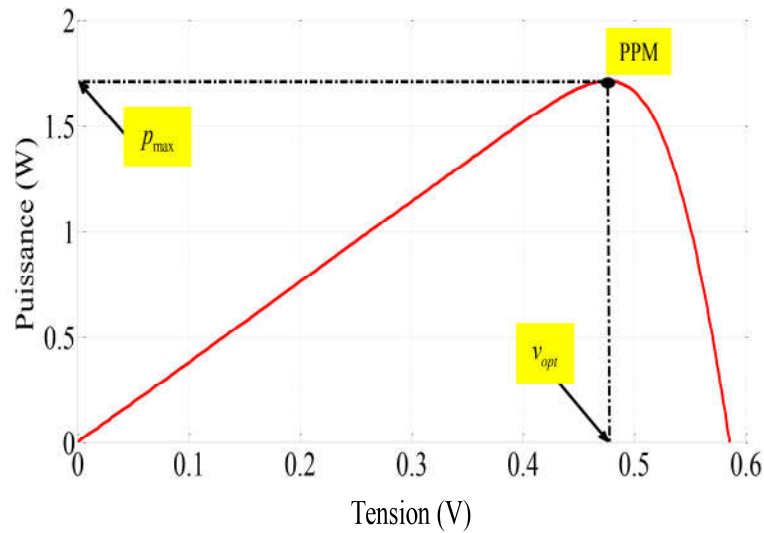


Figure II.5 : Caractéristique puissance-tension d'une photopile.

La puissance maximale de la cellule P_{\max} peut être exprimée comme suit :

$$P_{\max} = V_{\text{opt}} \cdot i_{\text{opt}} = V_{\text{oc}} \cdot i_{\text{sc}} \cdot \text{FF} \quad (\text{II-6})$$

Avec : FF est le facteur de forme.

Ce facteur mesure la qualité de la photopile et son éloignement du rectangle idéal. Sa valeur se situe entre **0,7** et **0,8** pour une photopile cristalline et diminue avec l'augmentation de la température.

Le rendement de la photopile est le rapport de la puissance maximale produite P_{\max} sur la puissance incidente P_{in} du rayonnement solaire qui frappe la photopile. Cette dernière puissance est égale au produit de l'éclairement G par la surface σ .

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{in}}} = \frac{V_{\text{opt}} \cdot i_{\text{opt}}}{G \cdot \sigma} \quad (\text{II-7})$$

II.3 Modélisation mathématique d'un panneau photovoltaïque

II.3.1 Schéma électrique équivalent

Dans ce modèle, la cellule photovoltaïque est représentée par une source de courant qui génère un courant I_{ph} proportionnel à l'ensoleillement G . Le courant I fourni par la cellule est modélisé par l'équation suivante :

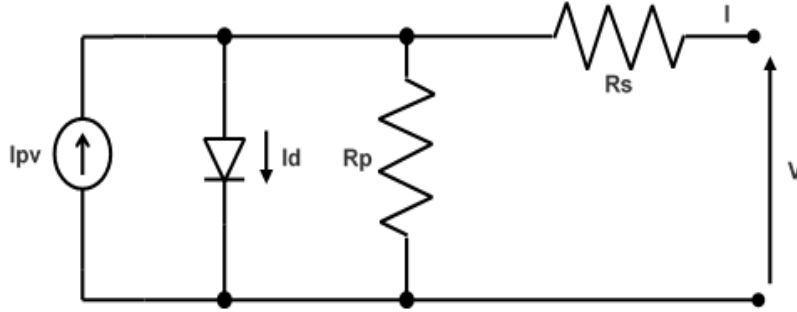


Figure II.6 : Modèle équivalent d'une cellule photovoltaïque.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + R_s I}{V_t \alpha}\right) - \left(\frac{V + R_s I}{R_p}\right) \right] \quad (\text{II-8})$$

Où :

α : facteur d'idéalité de diode,

t : tension aux bornes de la cellule,

V_t : tension thermique.

$$I_{ph} = (I_{pv,n} + k_I (T_n - T)) \frac{G}{G_n} \quad (\text{II-9})$$

$I_{pv,n}$: le courant généré par l'éclairement solaire dans les conditions nominales,

$\Delta T = (T_n - T)$: sont respectivement les températures actuelle et nominale (K),

G et G_n : sont respectivement l'éclairement et l'éclairement nominal (W/m^2)

k_I : le coefficient de courant/température de court-circuit.

$$I_0 = \frac{I_{sc} + k_I \cdot \Delta t}{\exp\left(\frac{V_{oc} + K_v \Delta t}{V_t \alpha}\right) - 1} \quad (\text{II-10})$$

I_0 : courant de saturation de la diode ;

K_v : le coefficient de tension/température de circuit ouvert.

$$V_t = \frac{N_s \cdot K \cdot T}{q} \quad (\text{II-11})$$

q : charge de l'électron ;

K [J/K] : constante de Boltzmann ;

N_s : nombre de cellules connectées en série.

II.3.2 Caractéristique d'un panneau photovoltaïque

En prend par exemple une cellule de module **Canadian Solar CS5C-80M** Ce module possède les caractéristiques suivantes à 1000 (w/m²) et 25°C.

Tableau II.1 : Caractéristiques du module Canadian Solar CS5C-80M.

P(W)	V _{oc} (V)	I _{sc} (A)	V _{mp} (V)	I _{mp} (A)
80.15	21.8	4.97	17.5	4.58

Les figures suivantes représentent les caractéristiques du panneau PV en fonctionnement pour différentes températures (a), (hautes et basses températures) et irradiations solaires (b), (forts et faibles éclairagements).

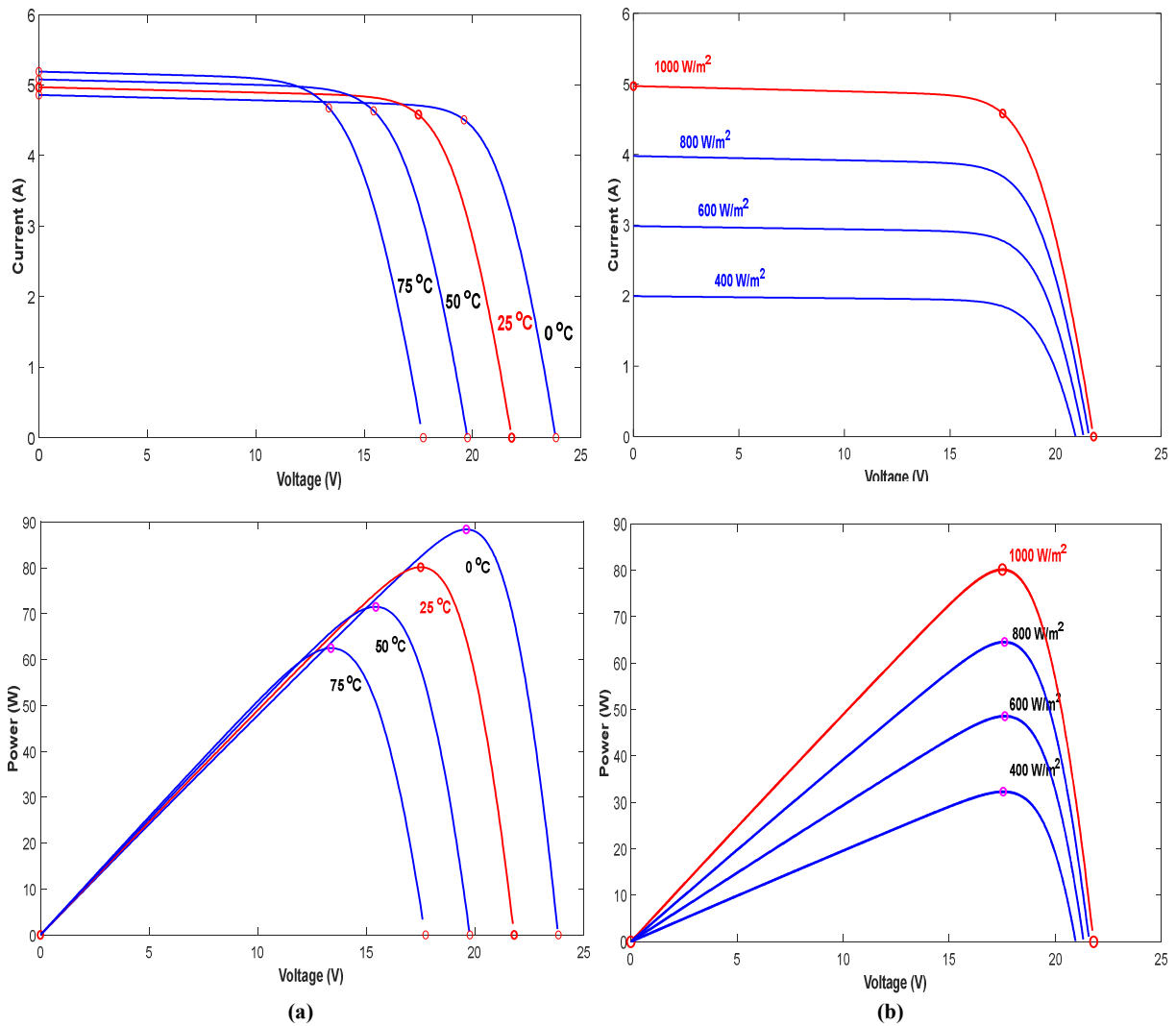


Figure II.7 : Caractéristiques d'un PV

II.4 Convertisseur DC/DC

II.4.1 Principe conversion photovoltaïque

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

Ces composants supplémentaires représentent une part considérable du coût, provoquent la réduction du rendement et influencent considérablement le comportement et les performances de tout le système [4].

II.4.2 Étage d'adaptation entre un générateur photovoltaïque et une charge

Un générateur photovoltaïque présente des caractéristiques $I(V)$ non linéaires avec des points de puissance maximaux (PPM). Ces caractéristiques dépendent au niveau d'éclairement et de la température de la cellule.

De plus, selon les caractéristiques de la charge sur laquelle le GPV débite, nous pouvons trouver un très fort écart entre la puissance potentielle du générateur et celle réellement transférée à la charge en mode connexion directe.

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV et de la transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le GPV et la charge comme décrit dans la figure II.8. Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de P_{MAX} disponible [21-23].

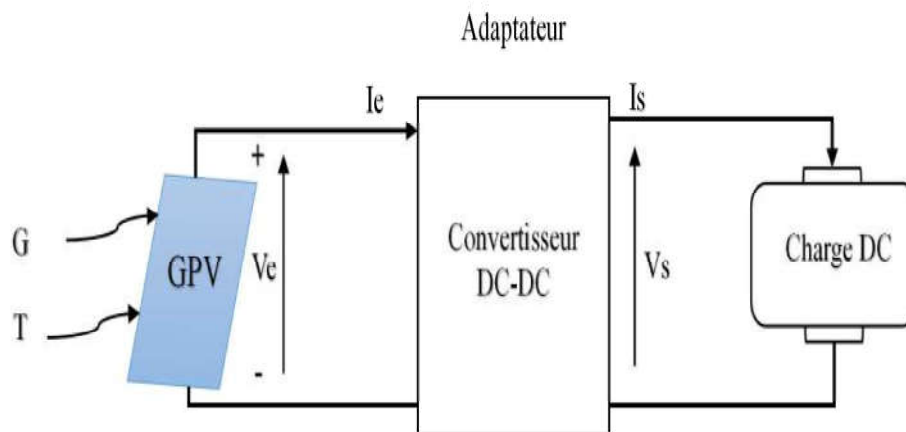


Figure II.8 : Etage d'adaptation entre un GPV et une charge.

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

II.4.3 Types des convertisseurs DC/DC

Un hacheur est un convertisseur continu-continu qui permet de générer une source de tension continue variable à partir d'une autre source de tension continue. Selon la position du commutateur et d'un hacheur, différents types de convertisseurs de tension peuvent être réalisés comme le montre la figure II.9 [24] :

- Élévateur de tension « boost » ou notamment appelé hacheur survolteur.
- Abaisseur de tension « buck » ou hacheur dévolteur.
- Abaisseur/élévateur de tension « buck-boost ».

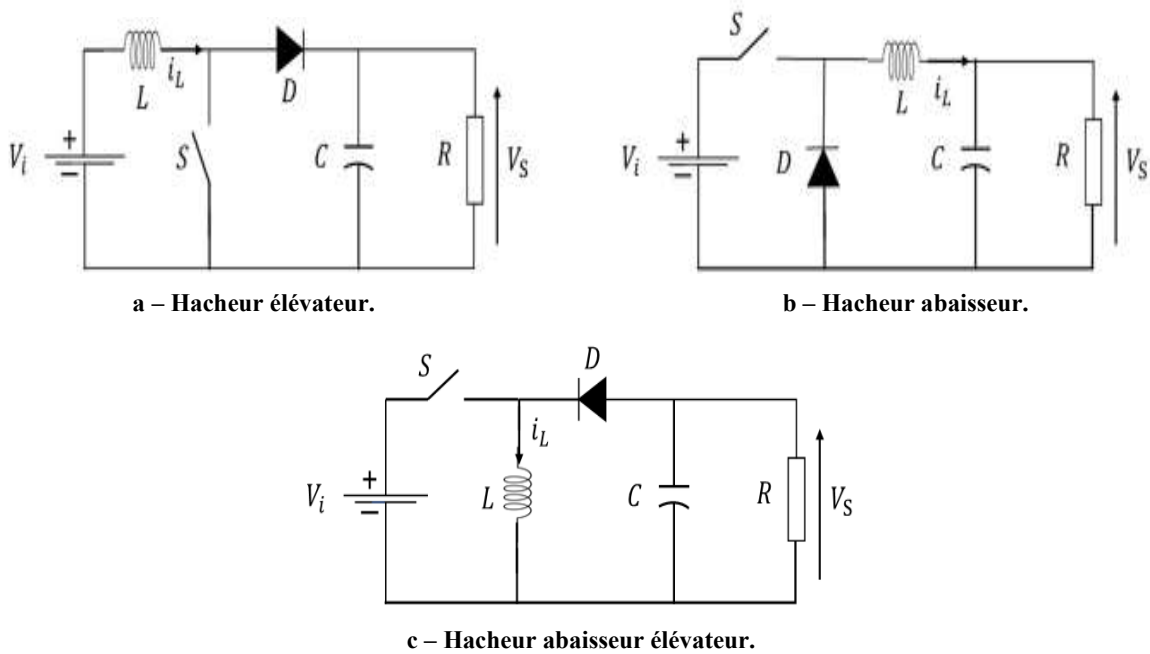


Figure II.9 : Différents types de hacheurs.

Le commutateur peut être un transistor MOSFET ou IGBT, qui peut commuter entre deux positions.

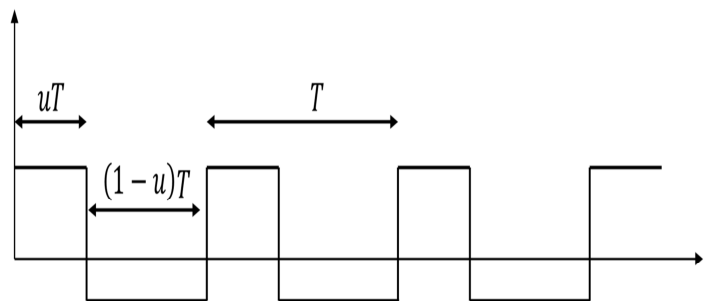


Figure II.10 : Signal de commande du commutateur.

▪ Hacheur boost (parallèle/élevateur)

Le hacheur parallèle commande le débit d'une source de courant dans une charge de tension. La tension moyenne de sortie est supérieure à la tension d'entrée.

✚ Dans la phase dure de 0 à αT , l'interrupteur commandé est fermé, la tension à ses bornes est nulle. La source et la charge ne sont pas en contact durant cette phase. La diode est alors bloquée et le courant dans l'inductance croît linéairement.

✚ Pour la seconde phase, de αT à T , on ouvre l'interrupteur commandé et l'énergie emmagasinée dans l'inductance commande la circulation du courant dans la diode qui devient passante [3].

$$V_{pv} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{pv} dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T V_{DC} dt = (1-\alpha) V_{DC} \Leftrightarrow V_{DC} = \frac{V_{pv}}{(1-\alpha)} \quad (\text{II-12})$$

A pertes minimales on a :

$$P_{pv} = P_{DC} \Leftrightarrow V_{pv} I_{pv} = V_{DC} I_{DC} \Leftrightarrow I_{DC} = \frac{V_{pv}}{V_{DC}} I_{pv} \Leftrightarrow I_{pv} = (1-\alpha) I_{DC} \Leftrightarrow (1-\alpha) = \frac{V_{pv}}{V_{DC}} = \frac{I_{DC}}{I_{pv}}$$

▪ Hacheur série (Buck)

Le hacheur série, hacheur abaisseur ou bien dévolteur est un appareil qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur. La source d'entrée est de type tension continue et la charge de sortie continue de type source de courant [15].

▪ Hacheur buck-boost (abaisseur-élevateur)

Ce convertisseur statique permet d'avoir une tension continue variable supérieure ou inférieure à la tension d'entrée qui est fixe.

✚ Lors de la première phase de conduction, de 0 à αT , l'interrupteur commandé est fermé. La diode n'est pas passante et l'inductance stocke l'énergie fournie par le générateur d'entrée.

✚ Lors de la seconde phase, de αT à 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 [3] :

$$V_{pv} \cdot \alpha \cdot T = V_{dc} (1-\alpha) T \quad (\text{II-13})$$

Donc :

$$V_{DC} = \frac{\alpha}{1-\alpha} V_{pv} \quad (\text{II-14})$$

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

*lorsque $\alpha > 0.5$, hacheur buck-boost fonction comme un hacheur boost (élevateur).

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

II.5 Commande MPPT

De nombreuses recherches ont été menées sur les commandes MPPT dans le but de trouver un système optimal permettant de rechercher le point de puissance maximale (PPM) en fonction de la variation de la puissance fournie par le générateur photovoltaïque.

Dans la littérature, différents types d'algorithmes de commande extrême sont mentionnés, présentant des niveaux de précision variables. Ces commandes utilisent l'évaluation ou la mesure de la puissance fournie par le générateur pour ajuster le rapport cyclique du convertisseur de puissance et appliquer une action de contrôle appropriée afin de suivre l'évolution du PPM au fil du temps.

Un grand nombre de ces commandes offrent l'avantage d'être précises et d'avoir une réactivité élevée. Cependant, certaines souffrent d'un manque d'optimisation de leur algorithme, qui peut parfois être trop complexe et entraîner une consommation d'énergie excessive. Il est donc nécessaire de développer des algorithmes de commande plus optimisés, qui parviennent à concilier précision et rapidité de réaction tout en minimisant la complexité et la consommation d'énergie associées. Cette recherche d'optimisation reste un défi important dans le domaine des commandes MPPT.

II.5.1 Principe de la commande MPPT

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

La chaîne de conversion photovoltaïque sera optimisée à travers un convertisseur statique (CS) commandé par une MPPT. Il peut être représenté par le schéma de la figure (II.11) [25-26].

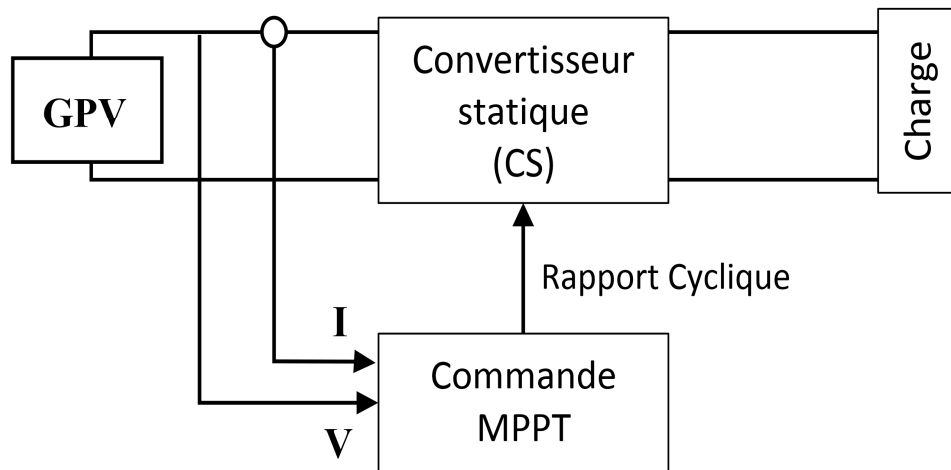


Figure II. 11 : Schéma de base d'une alimentation utilisant des panneaux solaires.

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique (CS), à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le PPM. En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du CS en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le PPM [27].

II.6 Algorithme MPPT [7]

Dans cette partie, on présentera l'aspect théorique de quelques méthodes (classiques et modernes) du suivi du point de fonctionnement à puissance maximale du système photovoltaïque et qui sont :

- ❖ Méthode de Perturbation et Observation (P&O).
- ❖ Méthode de Conductance Incrémentale (INC).
- ❖ Méthode de Hill Climbing (HC).

II.6.1 Méthode de perturbation et observation (P&O)

La méthode de perturbation et d'observation est une approche largement répandue dans la recherche du MPPT parce qu'elle est simple et exige seulement des mesures de tension et du courant du panneau photovoltaïque V_{pv} et I_{pv} respectivement. Elle peut déduire le point de puissance maximale même lors des variations de l'éclairement et la température.

Comme son nom l'indique, la méthode P&O fonctionne avec la perturbation de la tension V_{pv} volontairement (augmenter ou diminuer) avec une constante C et l'observation de l'impact de ce changement sur la puissance de sortie du générateur PV.

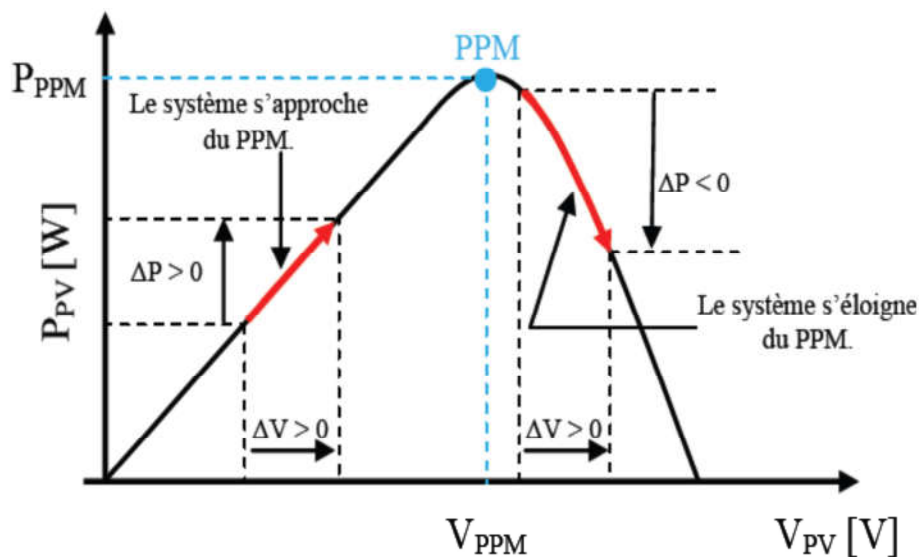


Figure II.12 : Caractéristique $P_{pv} = f(V_{pv})$ d'un panneau solaire.

Si la puissance aux bornes des panneaux est augmentée à cause de la perturbation, la perturbation suivante est faite dans la même direction, réciproquement, si la puissance diminue, la nouvelle perturbation est réalisée dans le sens opposé.

Quand le point de puissance maximale est atteint, V_{pv} oscille autour de la valeur optimale ceci cause alors une perte de puissance qui augmente avec le pas d'incrémentacion de la perturbation. Si ce pas d'incrémentacion est large, l'algorithme du MPPT répond rapidement aux changements soudains des conditions de fonctionnement [14].

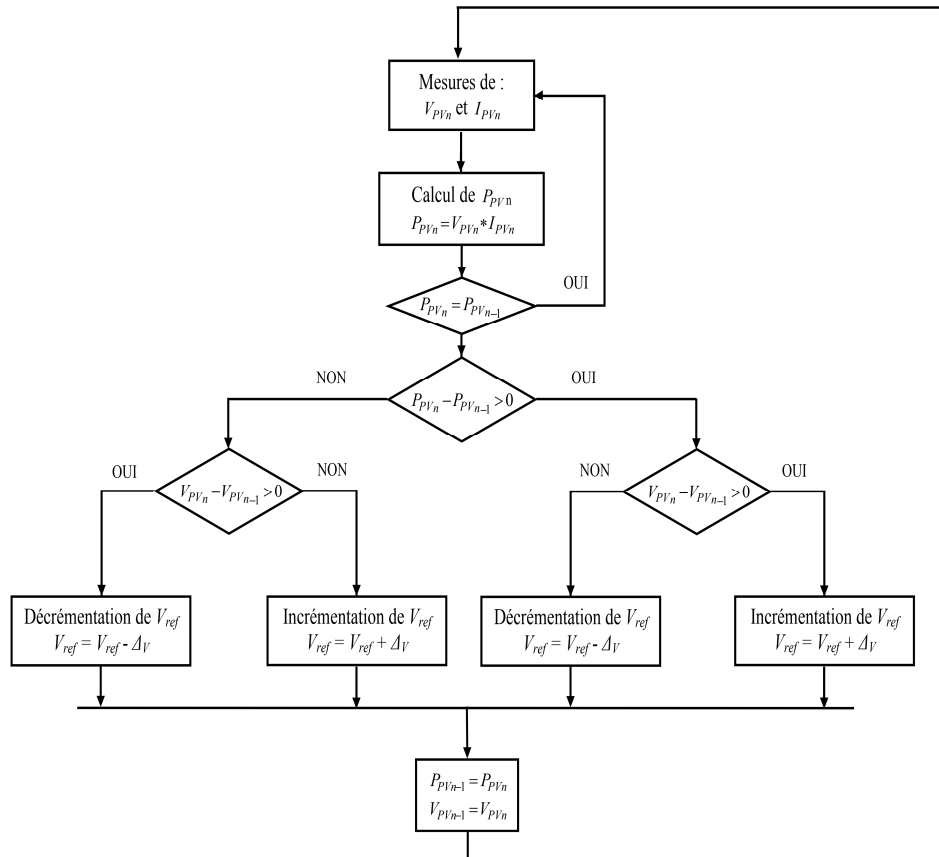


Figure II.13 : Algorithme de la méthode P&O.

II.6.2 Méthode de conductance incrémentacion (INC)

En 1993, Hussein, Muta, Hoshino, et Osakada de l'Université de Saga, Japon, ont proposé l'algorithme de commande nommé Incrémentacion de conductance (IncCon) pour l'objectif de résoudre le problème de la commande de type (P&O) en vertu de l'évolution rapide des conditions atmosphériques.

L'idée de base est que la pente de la courbe P-V devient nulle au PPM, comme la montre figure (II.14). Il est également possible de trouver une position relative du point de fonctionnement au PPM en regardant les pentes. La pente est la dérivée de la puissance du module PV à l'égard de sa tension [28].

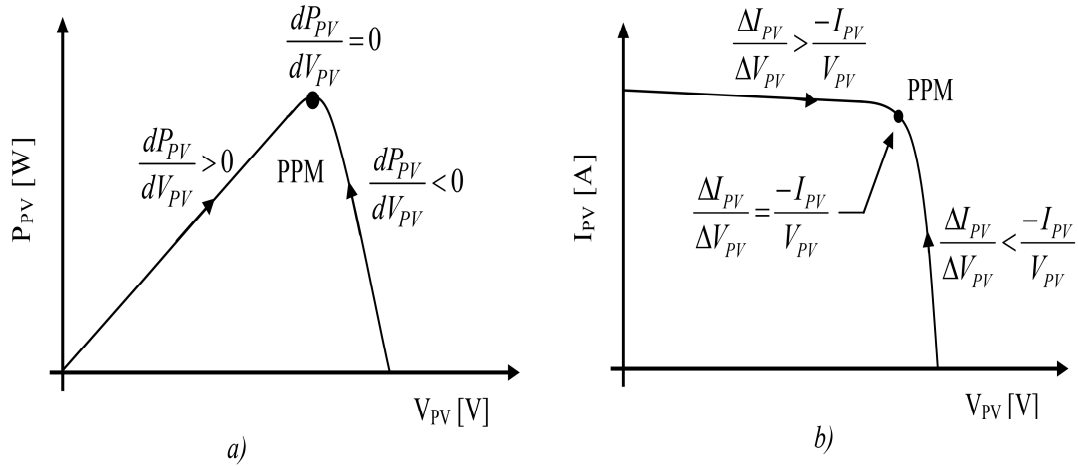


Figure II.14 : Positionnement du point de fonctionnement suivant le signe de dI_{pv}/dV_{pv}

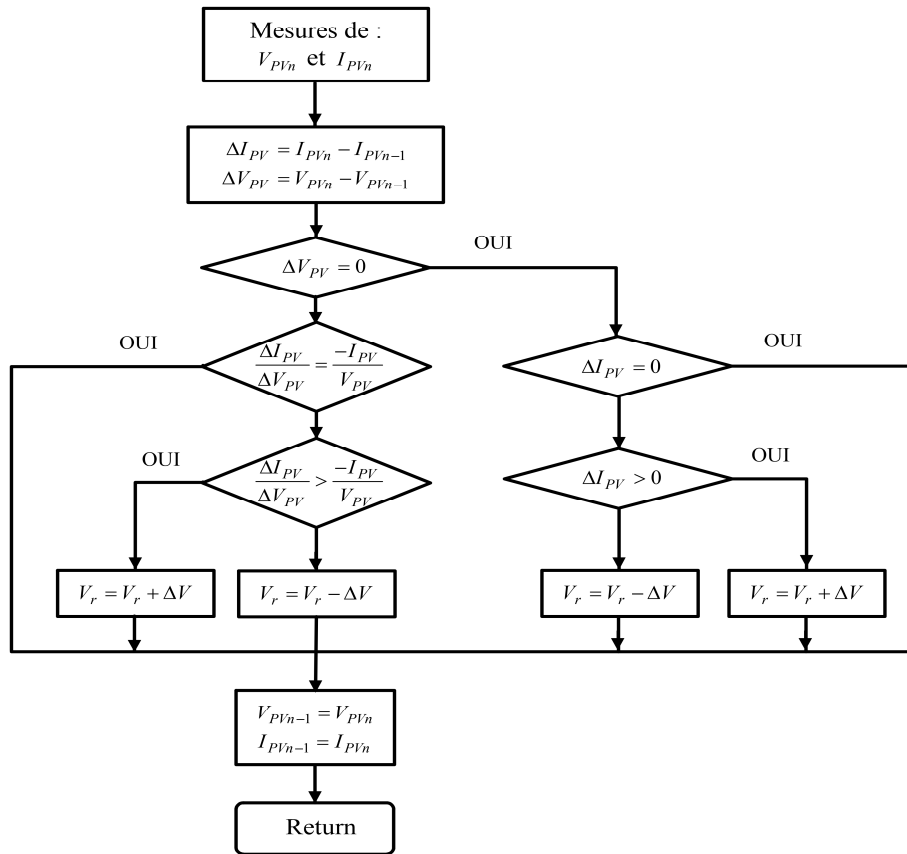


Figure II.15 : Algorithme de la méthode Incrément de Conductance (INC).

La conductance (G) du module photovoltaïque est définie par le rapport entre le courant et la tension du GPV comme indiqué ci-dessous :

$$G = \frac{I_{pv}}{V_{pv}} \tag{II-15}$$

Et une variation élémentaire (incrément) de conductance peut être définie par :

$$dG = \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \quad (\text{II-16})$$

Les relations suivantes montrent la position de la pente sur la caractéristique P(V) et I(V) par rapport au PPM :

-Si $\frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} > 0$, le point de fonctionnement est à gauche du PPM.

-Si $\frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} < 0$, le point de fonctionnement est sur le PPM.

-Si le point de fonctionnement est sur la droite du PPM, $\frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} < 0$

II.6.3 Algorithme Hill Climbing (HC)

La technique de contrôle nommée *Hill Climbing* est l'un des techniques les plus utilisées pour la commande MPPT grâce à sa simplicité à mettre en œuvre mais elle possède des oscillations autour du PPM en régime établi et une perte occasionnelle de la recherche du PPM lors de changement rapide des conditions climatiques. L'algorithme de cette méthode est illustré sur la figure II.16 [8] :

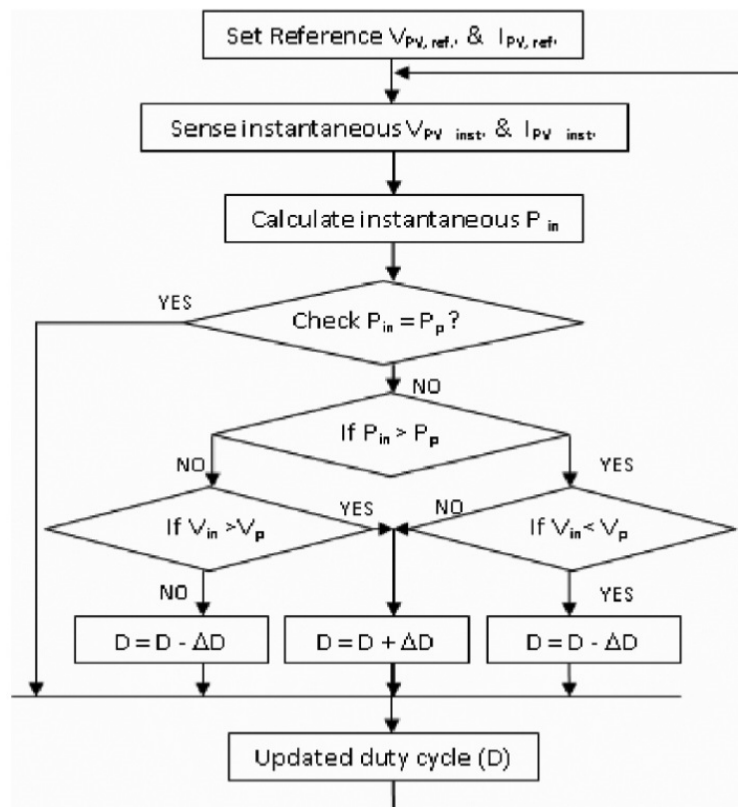


Figure II.16 : Organigramme de l'algorithme Hill Climbing.

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé la modélisation mathématique du panneau solaire et du convertisseur BOOST. Dans le but d'obtenir un modèle utilisable dans Simulink, les équations que nous avons développées ont été implémentées sous forme de schémas blocs.

La modélisation du panneau solaire a été réalisée en utilisant les équations mathématiques qui décrivent le comportement électrique du panneau solaire, telles que le modèle à une diode. En ce qui concerne le convertisseur BOOST, nous avons également effectué une modélisation mathématique en utilisant les équations qui décrivent le comportement du convertisseur de puissance.

Nous avons aussi poursuivi en présentant différentes techniques pour la poursuite du point de fonctionnement à puissance maximale (MPPT). Ces techniques, telles que Perturbation et Observation (P&O), Incrément de Conductance (INC) et Hill Climbing (HC), permettent d'ajuster les paramètres du système afin de maintenir le panneau solaire au point de puissance maximale, même en présence de variations des conditions d'éclairement et de la température.

Chapitre III.

Simulation et résultat d'un système photovoltaïque

III.1 Introduction

Ce chapitre présentera notre étude sur la simulation du système photovoltaïque avec le contrôle MPPT en utilisant les trois algorithmes Perturbation et Observation (P&O), Incrément de Conductance (INC) et Hill Climbing (HC). Nous évaluerons les performances de chaque algorithme dans des conditions idéales et discuterons de l'effet des variations de température et d'éclairage sur la puissance produite. Cette analyse nous permettra de mieux comprendre l'influence de ces facteurs sur les performances du système et de choisir l'algorithme MPPT le plus adapté à différentes situations.

III.2 Simulation d'un système photovoltaïque par MATLAB/Simulink

MATLAB/Simulink est une interface de programmation visuelle qui permet la simulation et la modélisation multi-domaines de systèmes dynamiques pour simplifier et faciliter la manipulation en fournissant un espace graphique qui contient un ensemble de bibliothèques qui sont des blocs de modélisation qui assurent la précision de la conception, de la simulation, la mise en œuvre et contrôle des systèmes de communication et de traitement du signal [31].

La figure (III.1) est un schéma de la simulation du système photovoltaïque dans MATLAB/Simulink :

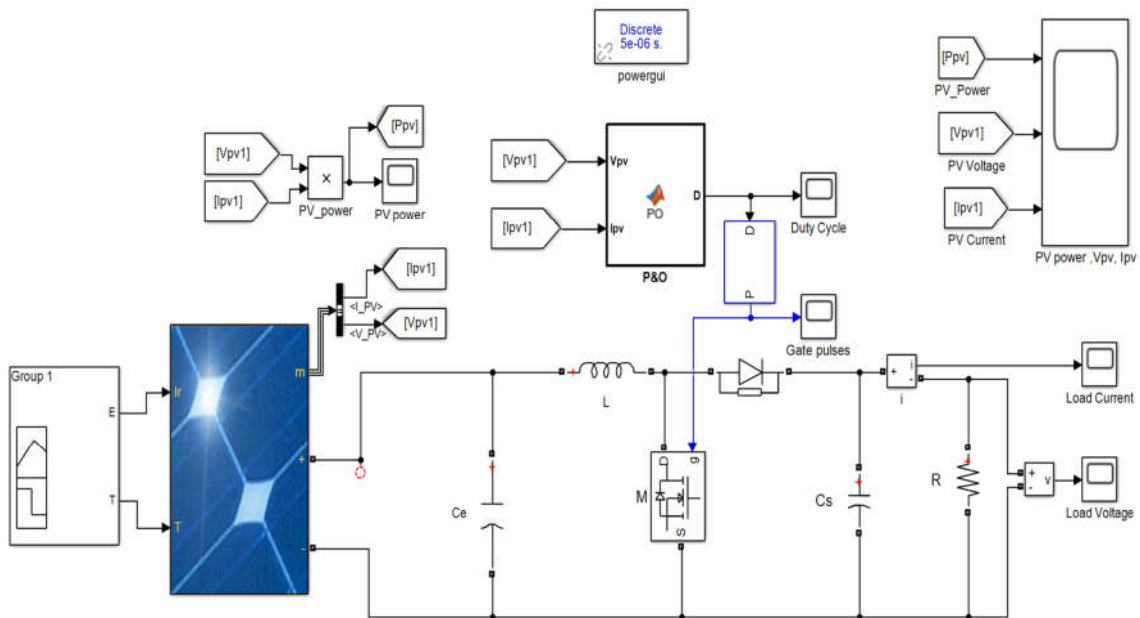


Figure III.1 : Schéma Matlab/Simulink du système photovoltaïque.

III.2.1 Caractéristiques électriques du convertisseur boost

Les caractéristiques électriques du convertisseur boost utilisé sont données dans le tableau III.1 suivant :

Tableau III.1 : Caractéristiques électrique du convertisseur Boost utilisé.

Convertisseur Boost	Inductance L	Capacité S	Capacité E
Valeurs	$3.3 \text{ e}^{-3} \text{ H}$	$470 \text{ e}^6 \text{ F}$	$470 \text{ e}^6 \text{ F}$

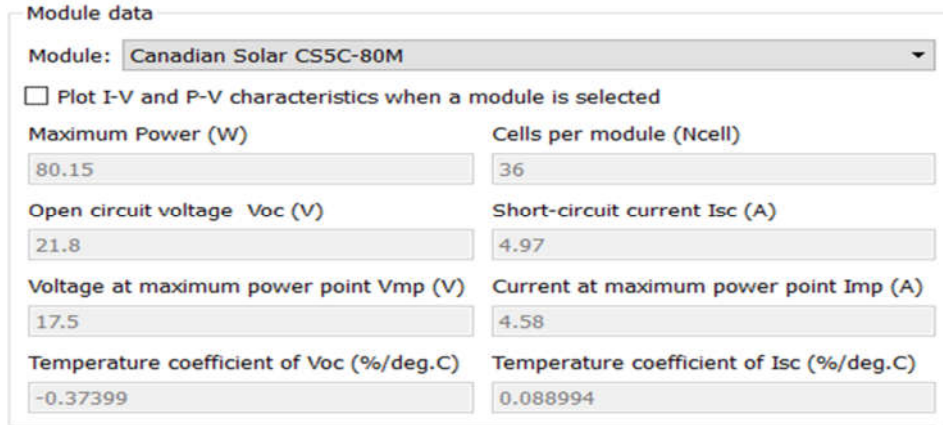


Figure III.2 : Schéma Matlab/Simulink pour simulation de système photovoltaïque.

III.3 Résultats de simulation

III.3.1 Conditions standards ($G=1000\text{W/m}^2$, $T=25\text{C}$)

On effectue la simulation du système dans les conditions standards ($G=1000\text{W/m}^2$, $T=25\text{C}$) pour extraire la puissance optimale de notre système.

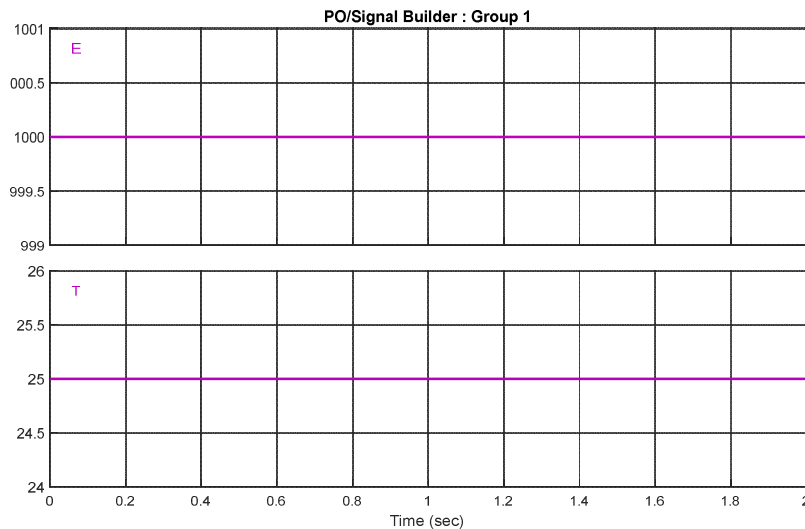


Figure III.3 : Signal Builder pour les conditions standards ($G=1000\text{W/m}^2$, $T=25\text{C}$).

A. Algorithme P&O

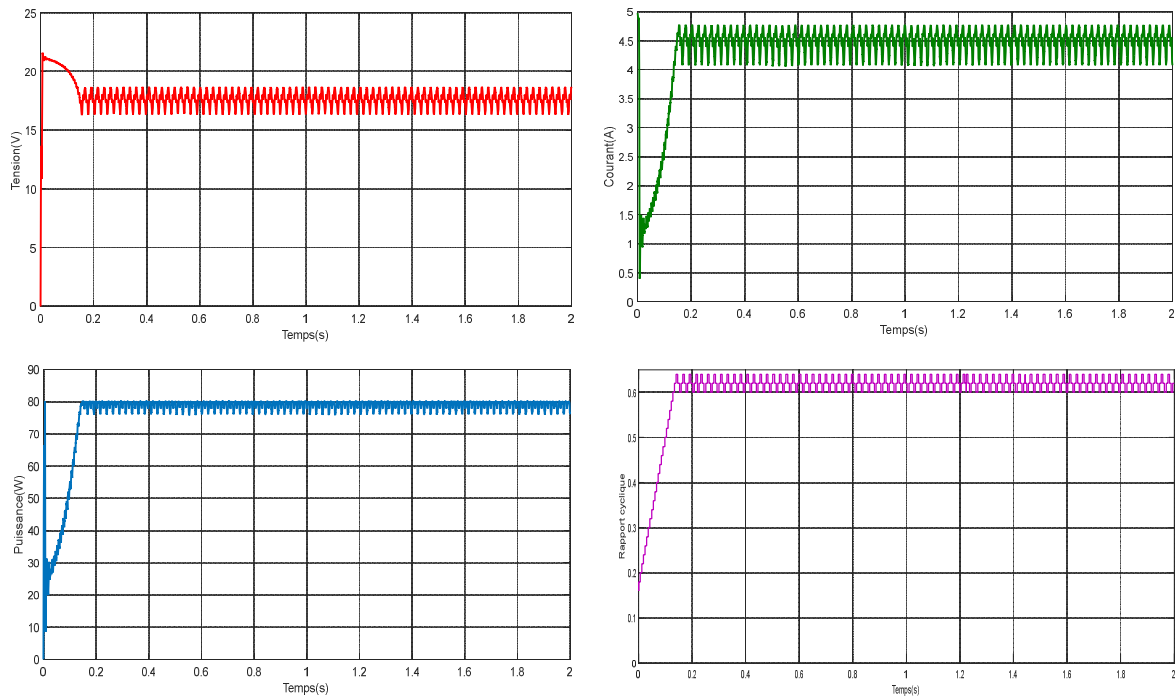


Figure III.4 : Résultats de simulation PV à (T=25°C, E=1000W/m²)

B. Algorithme INC :

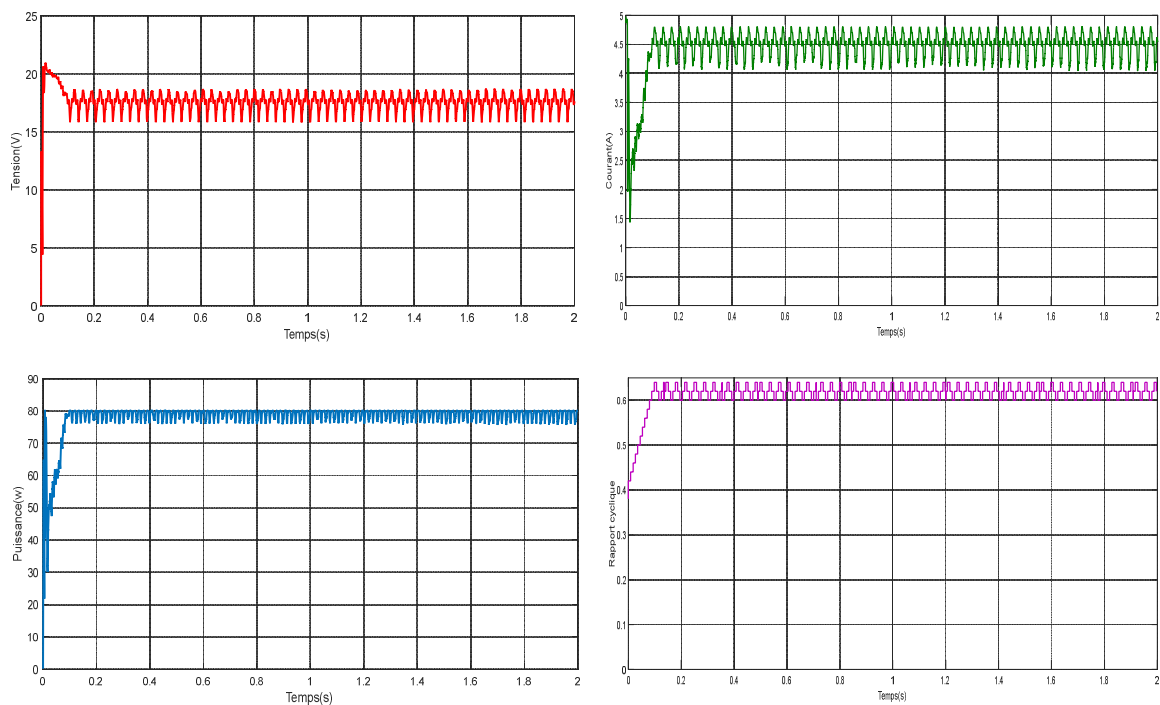


Figure III.5 : Résultats de simulation du PV à (T=25°C, E=1000W/m²)

C. Algorithme HC :

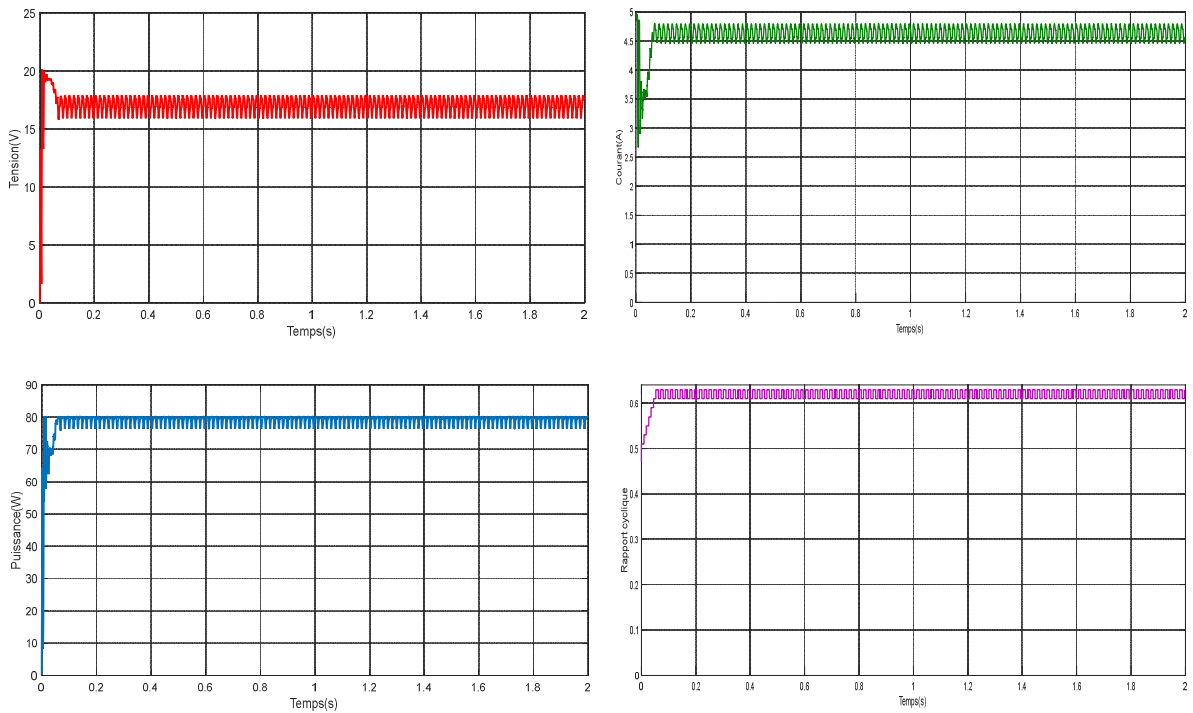


Figure III.6 : Résultats de simulation du PV à (T=25°C, E=1000W/m²)

III.3.2 Influence de la température

Nous avons testé le fonctionnement du système étudié sous un éclairage fixe (E=1000 W/m²) et une température variable comme illustré dans la figure suivante.

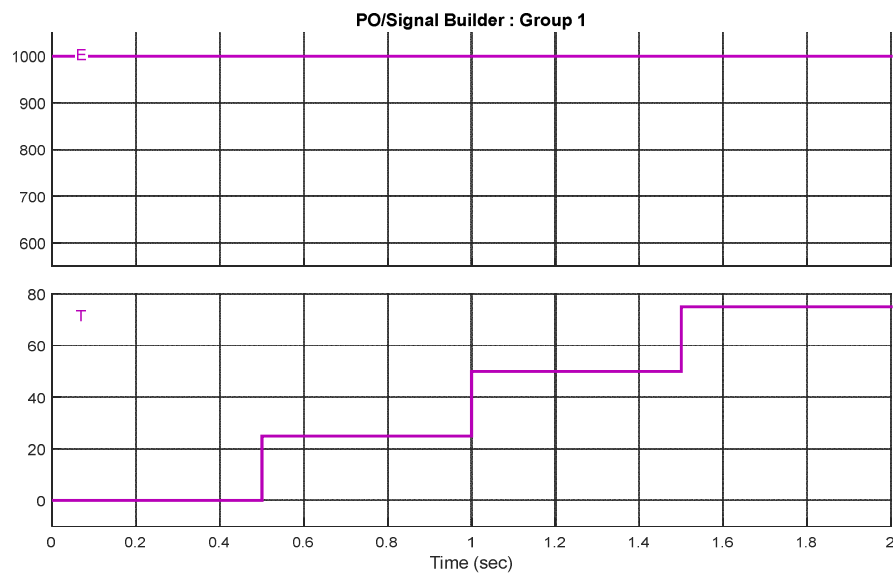


Figure III.6 : Signal Builder (T=0°C, T=25°C, T=50°C et T=75°C), (E=1000 W/m²).

A. Algorithme PO :

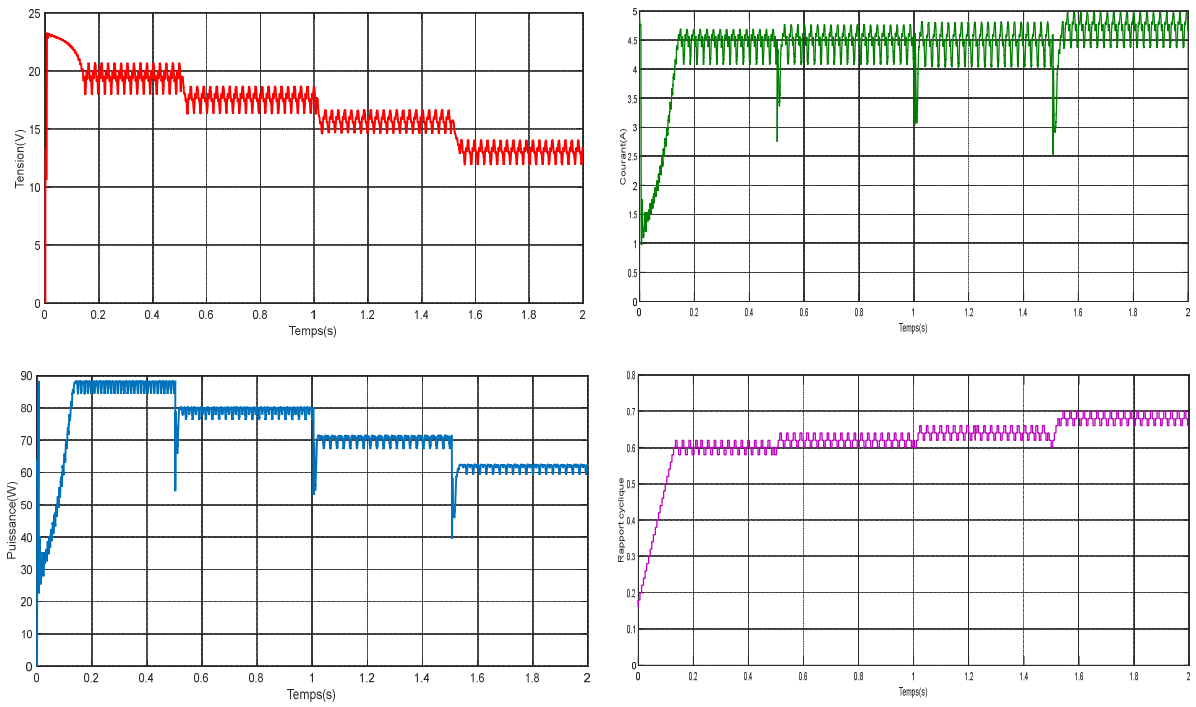


Figure III.7 : Résultats de simulation du PV pour T variables et ($E=1000W/m^2$).

B. Algorithme INC :

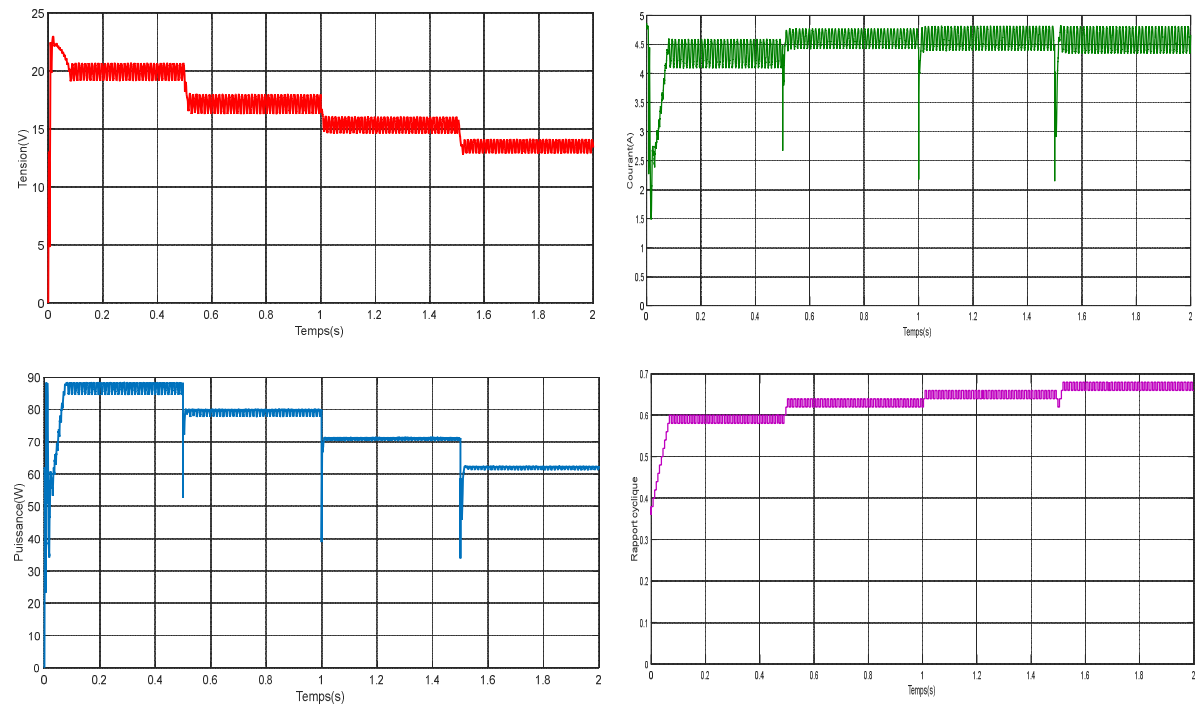


Figure III.8 : Résultats de simulation du PV pour T variables et ($E=1000W/m^2$)

C. Algorithme HC :

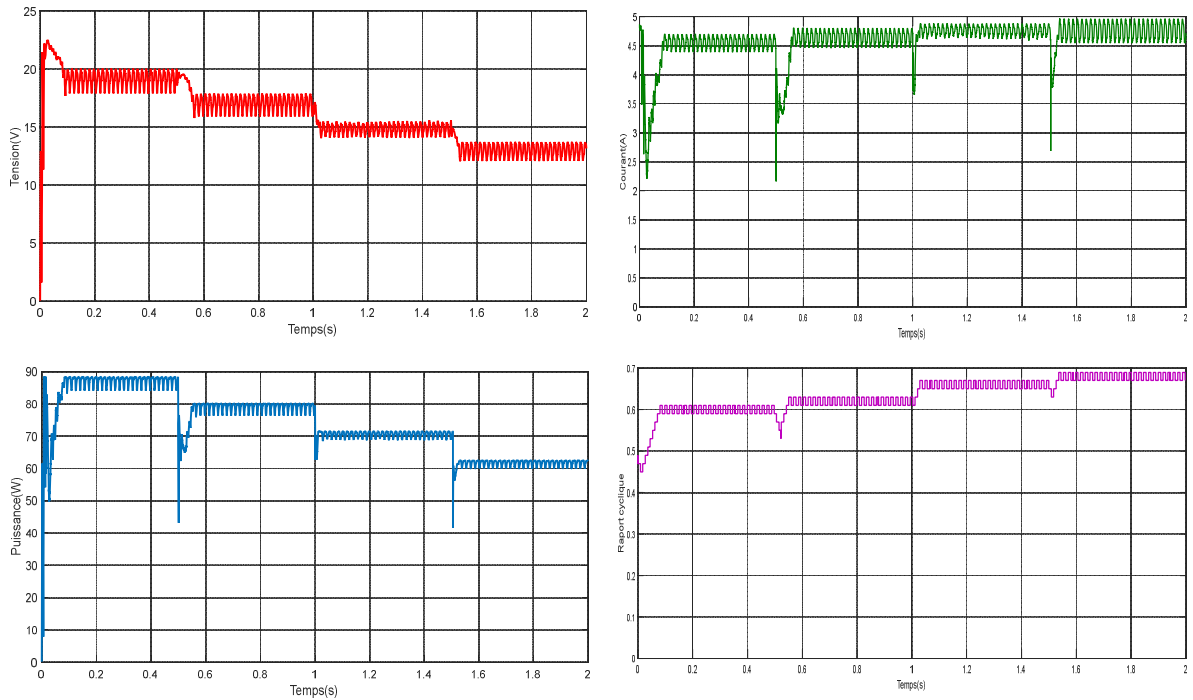


Figure III.9 : Résultats de simulation du PV pour T variables et (E=1000W/m²)

On remarque que l'intensité de la tension et de la puissance diminue lorsque la température augmente, tandis que l'intensité du courant augmente légèrement. Nous concluons que la température affecte négativement l'intensité de la tension et la valeur de la puissance. Enfin, nous concluons que le panneau photovoltaïque se comporte bien dans l'environnement froid.

III.3.3 Influence de l'éclairement et la température constante

Les figures suivantes représentent les résultats de panneau PV pour le contraste dans le cas d'un éclairage variables et température constants (T = 25°C) :

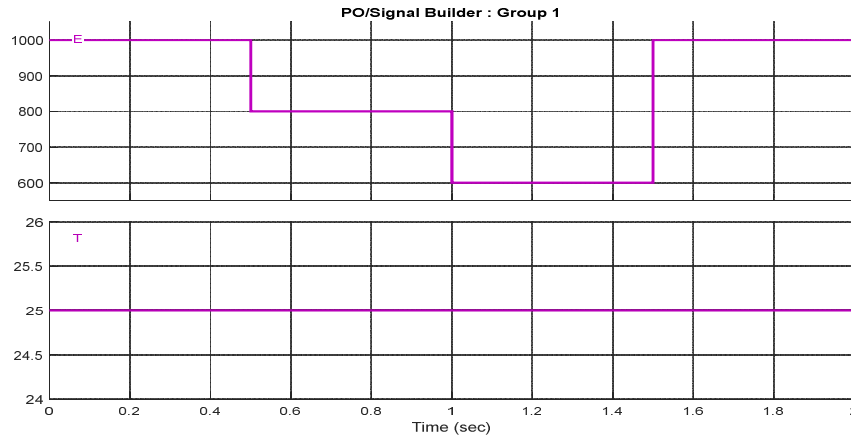


Figure III.10 : Signal Builder pour éclairement variables et température constants

A. Algorithme PO :

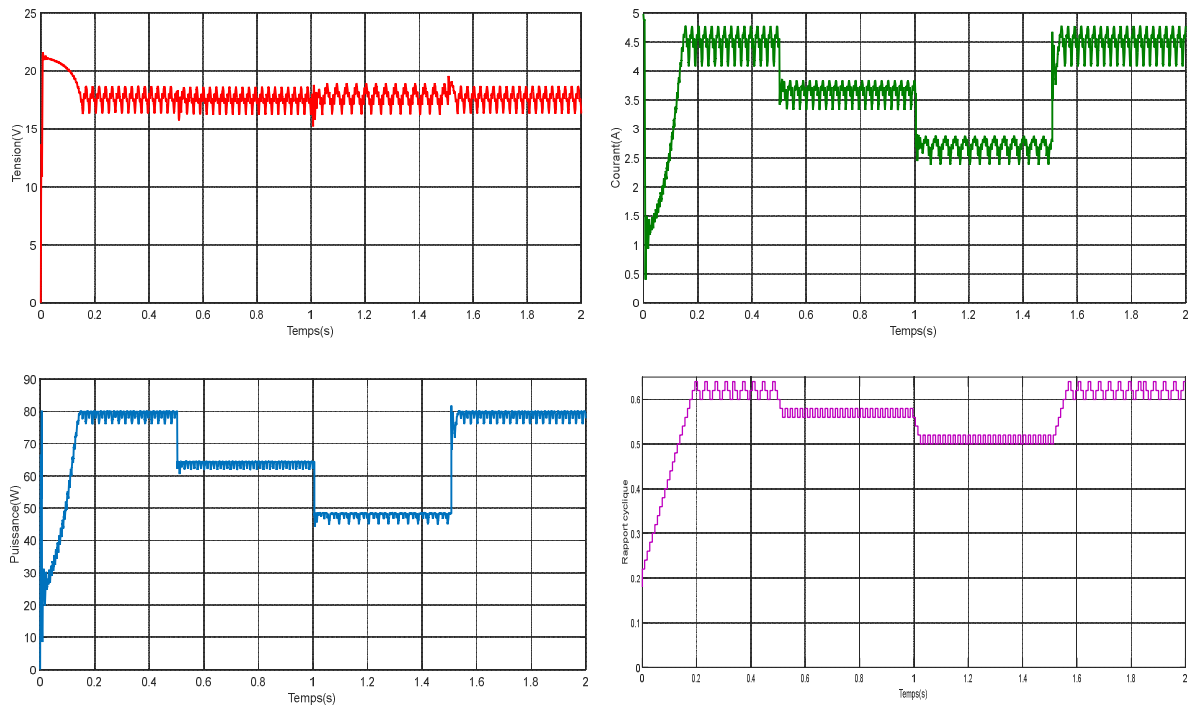


Figure III.11 : Résultats de simulation du PV pour E variables et (T=25°C)

B. Algorithme INC :

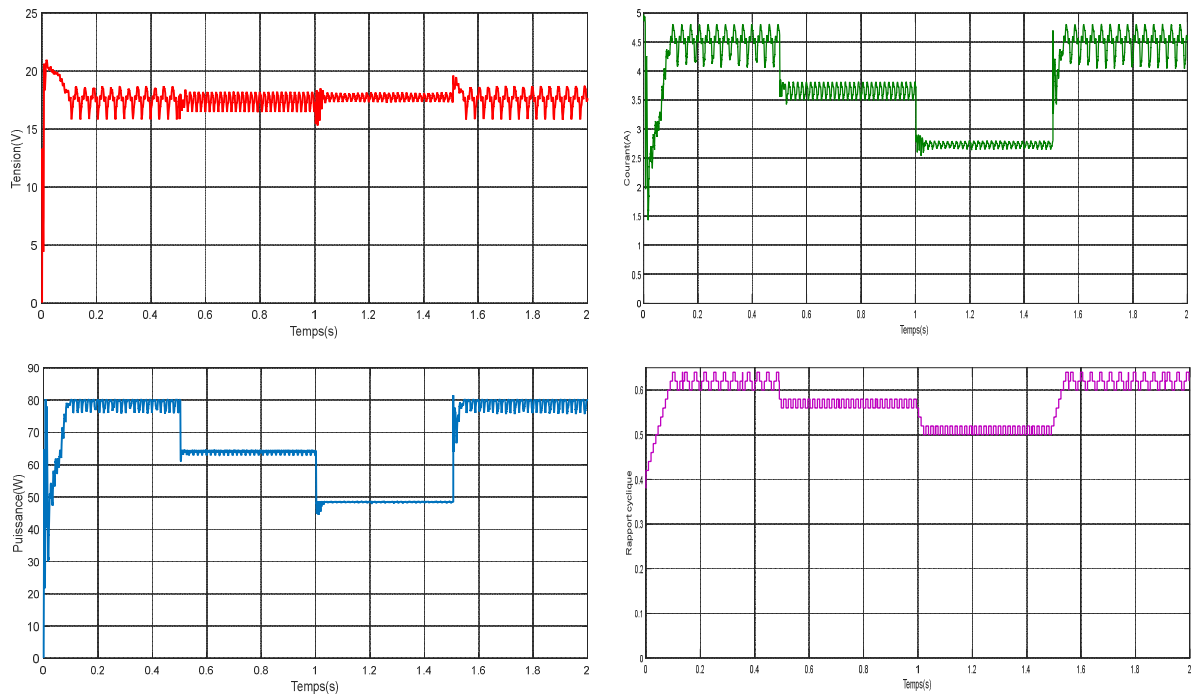


Figure III.12 : Résultats de simulation du PV pour E variables et (T=25°C)

C. Algorithme HC :

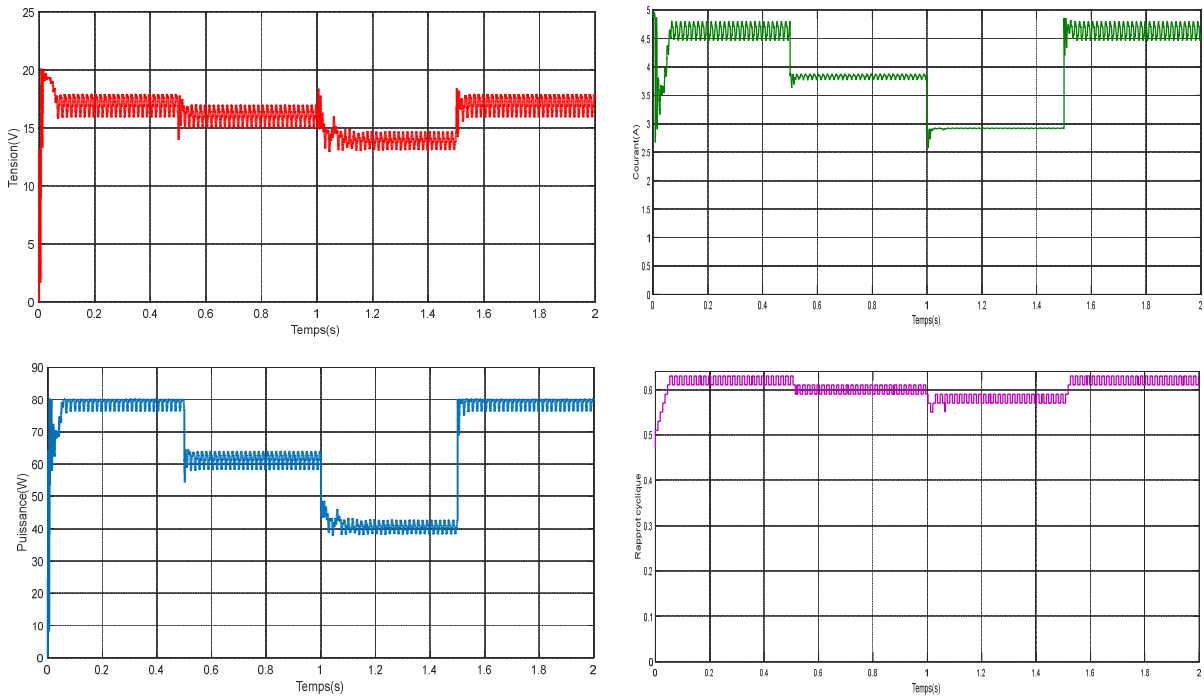


Figure III.13 : Résultats de simulation du PV pour E variables et (T=25°C)

On remarque que lorsque l'éclairage diminue, la puissance et l'intensité du courant diminuent également, tandis que l'intensité de la tension diminue légèrement. Enfin, nous concluons que les panneaux photovoltaïques fonctionnent bien dans un bon éclairage.

III.3.4 Comparaison des résultats de trois méthodes

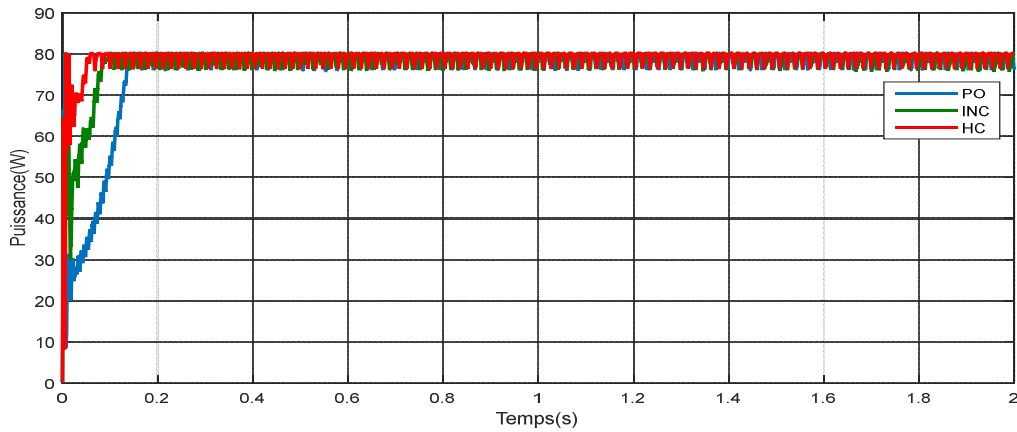


Figure III.14 : Résultats de puissance PV pour les trois algorithmes (PO, INC, HC) dans le cas idéal (E=1000W/m², T=25°C).

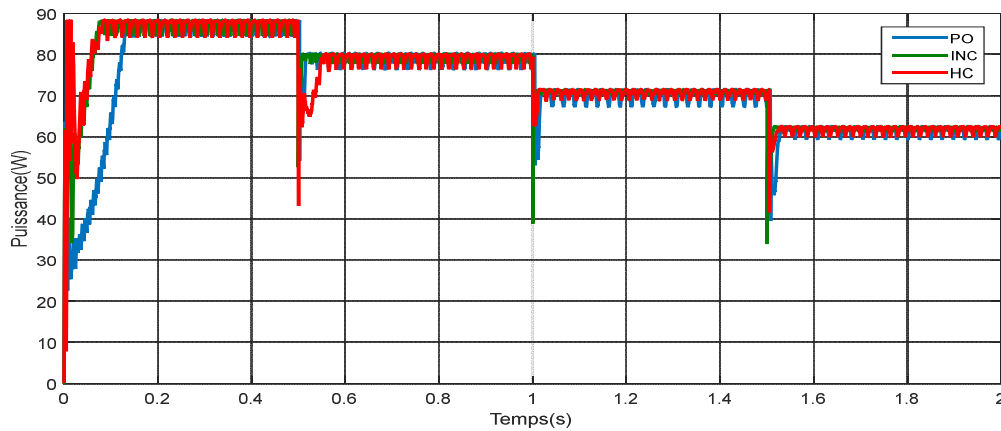


Figure III.15 : Résultats de puissance pour les trois algorithmes (PO, INC, HC) à $E=1000\text{W/m}^2$,
($T=0^\circ\text{C}$, $T=25^\circ\text{C}$, $T=50^\circ\text{C}$ et $T=75^\circ\text{C}$).

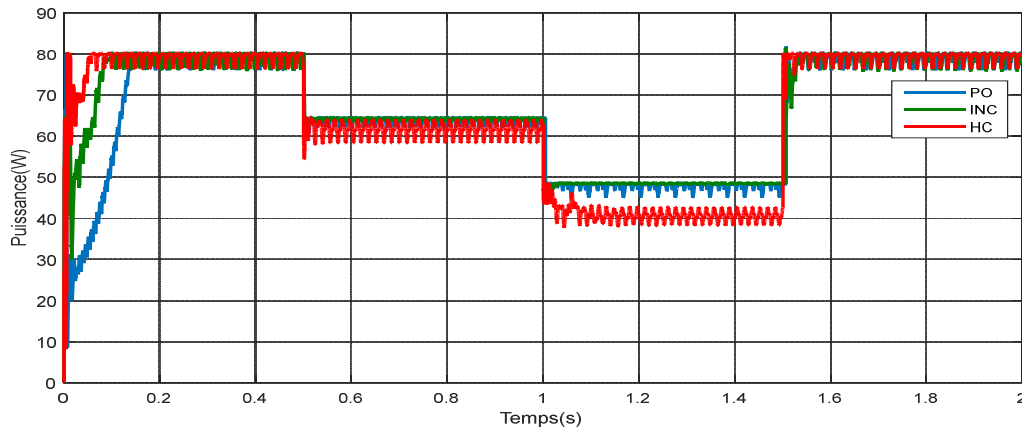


Figure III.16 : Résultats de puissance pour les trois algorithmes (PO, INC, HC) à $T=25^\circ\text{C}$,
($E= 1000\text{W/m}^2$, $E=800\text{ W/m}^2$, $E=600\text{ W/m}^2$, $E=1000\text{ W/m}^2$)

❖ Interprétation des resultants

L'analyse des résultats de simulation d'un système photovoltaïque pour le suivi du point de puissance maximale (MPPT) par trois méthodes P&O, INC et HC permet de mieux comprendre la performance de chaque algorithme.

- La méthode P&O, les résultats de simulation montrent que cet algorithme est relativement simple à implémenter, mais qu'il peut présenter des oscillations autour du point de puissance maximale en raison de sa nature de perturbation. Cela peut entraîner une instabilité du système et une efficacité réduite du MPPT.
- La méthode INC, quant à elle, utilise la dérivée de la puissance pour déterminer la direction du point de puissance maximale. Les résultats de simulation indiquent que cet algorithme est plus précis que P&O en termes de suivi du point de puissance maximale. Cependant, il peut

également présenter des oscillations et nécessite une surveillance continue pour garantir une performance optimale.

- En ce qui concerne la méthode HC, les résultats de simulation montrent qu'elle offre une bonne précision et une réactivité élevée dans la recherche du point de puissance maximale. Cependant, elle peut être plus complexe à mettre en œuvre et nécessiter un ajustement minutieux des paramètres pour obtenir les meilleurs résultats.

Il est important de noter que l'analyse des résultats de simulation à prendre en compte des facteurs tels que les conditions météorologiques, l'environnement du système photovoltaïque et la configuration spécifique du MPPT. Ces facteurs peuvent influencer les performances et les résultats des différentes méthodes.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, l'analyse des résultats de simulation des méthodes P&O, INC et HC pour le suivi du point de puissance maximale dans un système photovoltaïque permet de comprendre leurs avantages et leurs limites. Chaque méthode présente des caractéristiques spécifiques en termes de simplicité, de précision, de réactivité et de stabilité, ce qui doit être pris en compte lors du choix de l'algorithme MPPT le mieux adapté à un système photovoltaïque donné.

Chapitre IV.

Expérimentale d'un système photovoltaïque

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre qui consacré à la réalisation du système PV, nous présentons les étapes de réalisation d'un hacheur **BOOST** en commençant par le circuit imprimé et après, la soudure des composant électronique. Ensuite, nous présentons la carte **Arduino UNO** qui utilisée dans ce travail. Ainsi, on présente les différents composants du système, tel que le module **SOLARWORLD SW80**, le capteur de courant et le capteur de tension. Enfin, nous faisons et des tests pratiques du système PV.



Figure IV.1 : Banque d'essais de système photovoltaïque

IV.2 Réalisation d'un hacheur boost

IV.2.1 Soudure des composants électroniques

Avant la soudure, nous avons fait le perçage des trous qui serviront au passage des broches des composants. Les composants sont soudés aux pistes du circuit imprimé par un alliage à base d'étain. Le résultat final de la soudure est représenté par la figure IV.1.

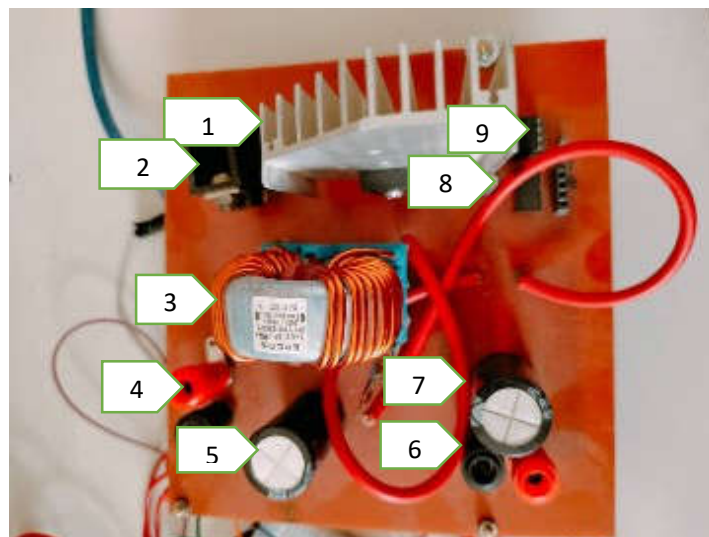


Figure IV.2 : Hacheur BOOST réalisé.

❖ Les composants d'un hacheur sont :

Tableau IV.1 : Différents composants d'un hacheur réalisé.

1	MOSFET (IRFP 260N)
2	Diode MBR20100 CT 20A/ 100V
3	L'inductance (3.3*2 / 12A)
4	La sortie d'hacheur
5	Condensateur de sortie
6	L'entrée d'hacheur
7	Condensateur d'entrée
8	BO5155-1W
9	HCPL3180

IV.3 Carte Arduino UNO

La carte Arduino UNO est un microcontrôleur ATmega328 programmable permettant de faire fonctionner des composants (moteur, LED...). Elle possède des «ports» permettant par exemple de se connecter à un ordinateur ou de s'alimenter.

C'est le cerveau de notre projet, le processeur, il contrôle tous les composants. Sans lui on ne peut rien faire [29].

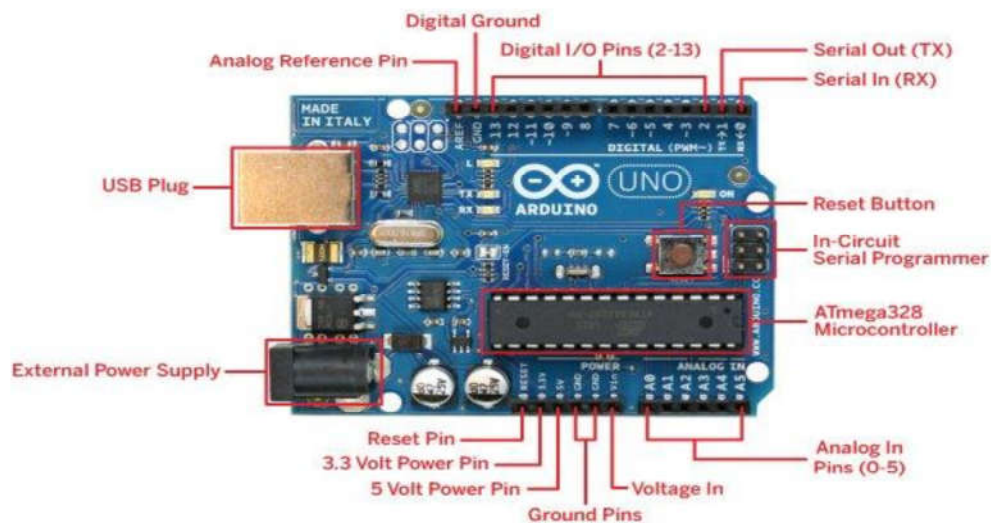


Figure IV.3 : Carte Arduino UNO.

IV.4 Différents composants du système

IV.4.1 Module SOLARWORLD



Figure IV.4 : Module SOLARWORLD.

IV.4.2 Capteur de courant ACS712

Le dispositif ACS712 allegro offre un moyen économique et précis de détection de courants AC et DC. Ce capteur de courant allegro ACS712 est basée sur le principe de l'effet Hall, qui a été découvert par le Dr Edwin Hall en 1879 selon ce principe, quand un conducteur de courant est placé dans un champ magnétique déposé, une tension est générée sur ses bords perpendiculaires à la direction à la fois du courant et du champ magnétique. La figure (IV-5) représente le schéma d'un capteur de courant ACS712 utilisé dans notre travail [30].

IV.4.3 Capteur de tension

Ce capteur (figure IV.6) est basé sur la division de tension par pont diviseur de rapport 1/5. Ce module possède 2 résistances, une de 7.5 k Ω et l'autre de 30 k Ω , ce qui équivalant à un rapport de 1/5 entre la tension d'entrée et la tension de sortie. La tension d'entrée supportée par une entrée analogique de l'Arduino ne peut pas dépasser 5V et donc la tension appliquée sur les bornes d'entrée ne peut pas dépasser 25V [15].

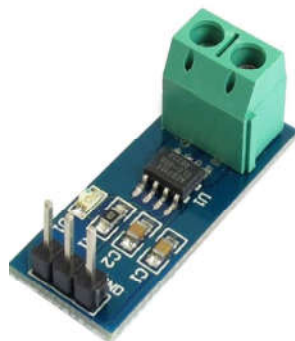


Figure IV.5 : Capteur de courant ACS712.

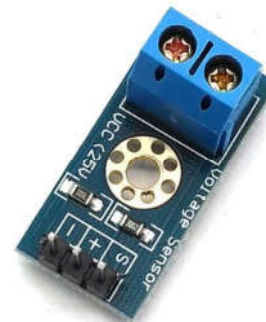


Figure IV.6 : Capteur de tension.

IV.5 Résultats expérimentales

IV.5.1 Résultats de méthode de perturbation et observation (P&O)

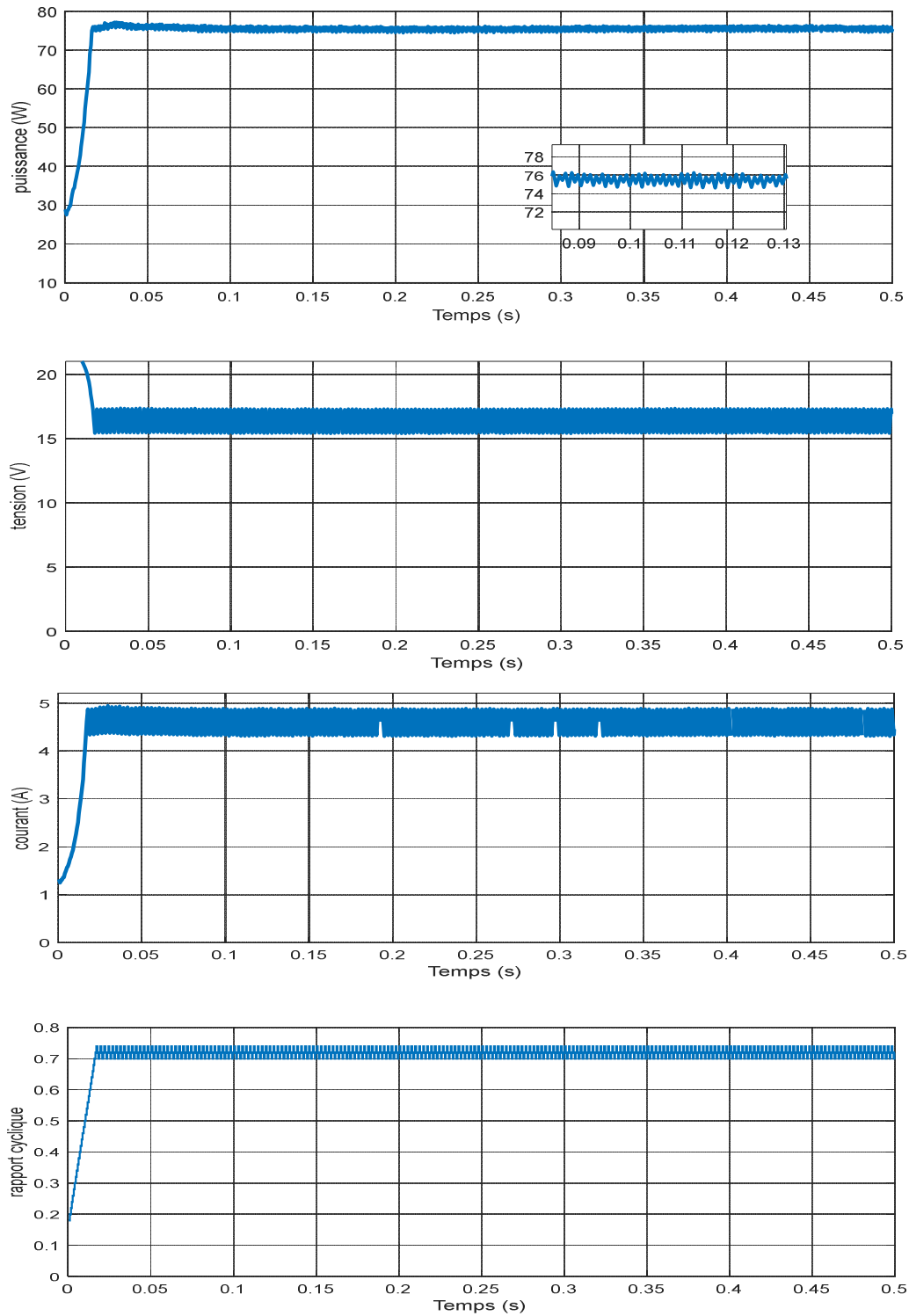


Figure IV.7 : Résultats expérimentales d’algorithme P&O

IV.5.2 Résultats de méthode de conductance incrémentale (INC)

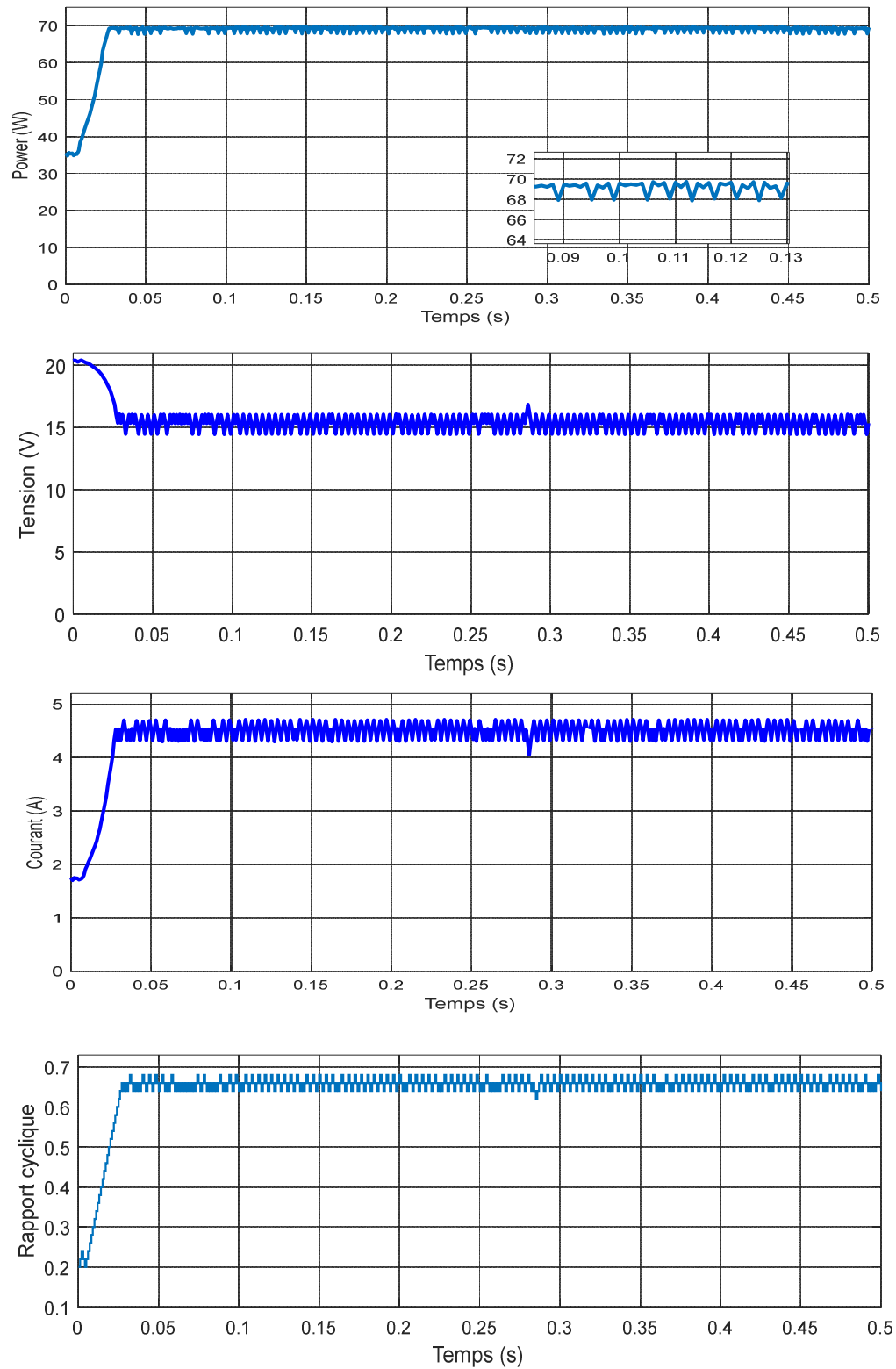


Figure IV.8 : Résultats expérimentales d'algorithme INC

IV.5.3 Résultats de méthode de Hill Climbing

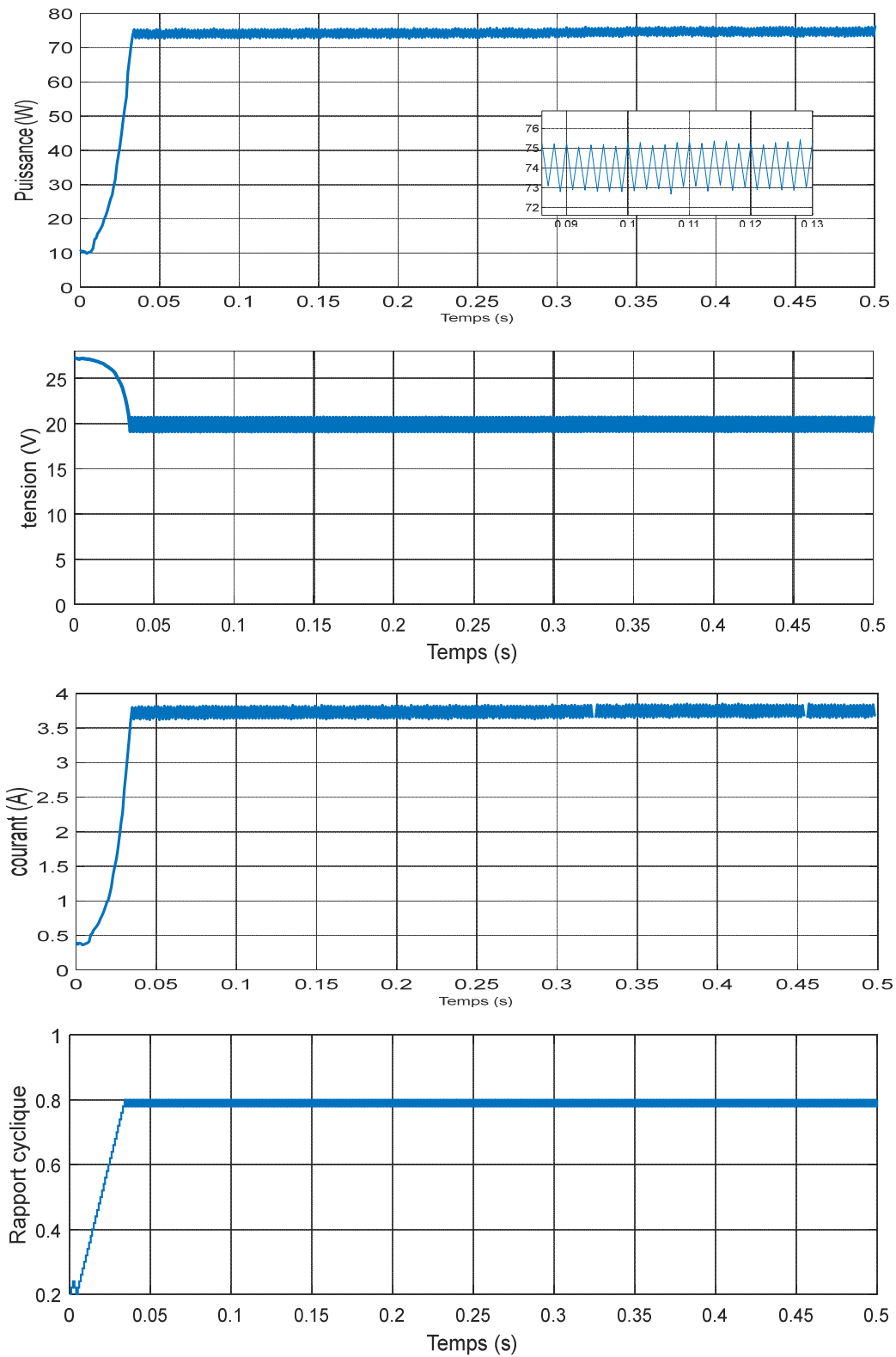


Figure IV.9 : Résultats expérimentales d’algorithme HC

Les figures obtenues de la partie pratique ont été présentées, et nous avons remarqué une convergence significative des résultats malgré les différentes conditions d'éclairage.

IV.6 conclusions :

Dans ce chapitre, nous avons entrepris plusieurs étapes. Tout d'abord, nous avons réalisé la conception d'un hacheur BOOST, un convertisseur de puissance utilisé dans le système photovoltaïque. Ce hacheur permet de convertir l'énergie produite par les panneaux solaires en une tension continue plus élevée.

Dans le cadre de notre travail, nous avons utilisé la carte Arduino UNO pour la mise en œuvre pratique du système. Cette carte joue un rôle crucial dans le contrôle et la gestion des différents composants du système photovoltaïque. En outre, nous avons mentionné les différents composants du système, tels que le module *solarworld*, ainsi que les capteurs de courant et de tension utilisés pour mesurer les paramètres électriques du système.

Enfin, nous avons réalisé des tests pratiques sur le système photovoltaïque en utilisant trois méthodes de commande MPPT : Perturbation et Observation (P&O), Incrément de Conductance (INC) et Hill Climbing (HC). Ces méthodes permettent de suivre le point de puissance maximale en ajustant les paramètres du système en fonction des variations d'éclairement et de température, il existe de légères différences entre elles.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le but de ce sujet est d'étudier le travail et la contribution des différentes commandes dans la mise en œuvre contrôle MPPT qui suit la puissance maximale à tout moment et dans toutes les conditions météorologiques.

Pour améliorer l'efficacité du système photovoltaïque, nous avons étudié différents algorithmes de contrôle MPPT pour suivre le point de puissance maximale.

Pour ce faire, nous avons commencé par donner un aperçu du système photovoltaïque, en présentant quelques énergies photovoltaïques et ses caractéristiques, les types de panneau solaires et de cellules photovoltaïques et leurs caractéristiques. Enfin, un aperçu de l'avenir de cette énergie en Algérie.

Dans un second temps, nous avons réalisé la modélisation mathématique du panneau solaire et du BOOST. Dans le but d'obtenir un modèle utilisable dans Simulink, les équations que nous avons développées ont été implémentées sous forme de schémas blocs.

La modélisation du panneau solaire a été réalisée en utilisant les équations mathématiques qui décrivent le comportement électrique du panneau solaire, telles que le modèle à une diode. En ce qui concerne le BOOST, nous avons également effectué une modélisation mathématique en utilisant les équations qui décrivent le comportement du convertisseur de puissance.

Nous avons aussi poursuivi en présentant différentes techniques pour la poursuite du point de fonctionnement à puissance maximale (MPPT). Ces techniques, P&O, INC et HC, permettent d'ajuster les paramètres du système afin de maintenir le panneau solaire au point de puissance maximale, même en présence de variations des conditions d'éclairage et de température.

Troisièmement, nous introduisons la simulation du système photovoltaïque contrôlé par MPPT et présentons les résultats obtenus, après avoir subi divers tests avec différentes conditions météorologiques à l'aide du logiciel *MATLAB*.

En conclusion, cette étude a présenté l'application du contrôle MPPT dans un système photovoltaïque utilisant un convertisseur Boost, avec l'utilisation de la carte Arduino et des capteurs de courant et de tension. Après avoir analysé et comparé les résultats expérimentaux, nous avons constaté que les algorithmes P&O, INC et HC offrent de meilleures performances dans la poursuite du point de puissance maximale. Nous avons observé une préférence pour les algorithmes HC et INC en termes de stabilité dans le temps.

Annexe

Annexe

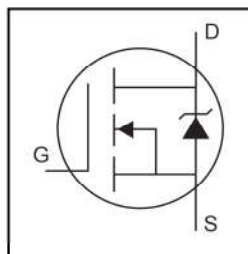
International
IR Rectifier

PD - 94004A

IRFP260N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements

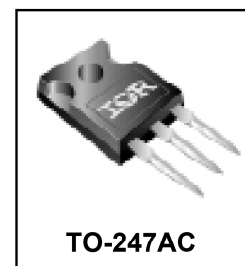


$V_{DS} = 200V$
 $R_{DS(on)} = 0.04\Omega$
 $I_D = 50A$

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	50	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	35	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	200	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	300	W
	Linear Derating Factor	2.0	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	560	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	50	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	30	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	10	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.50	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	40	

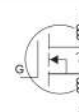
www.irf.com

1

IRFP260N

International
IOR RectifierElectrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	200	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.26	—	$V/^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.04	Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 28A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	27	—	—	S	$V_{DS} = 50V, I_D = 28A$ ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 200V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 160V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	234	nC	$I_D = 28A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	38		$V_{DS} = 160V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110		$V_{GS} = 10V$ ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	17	—		$V_{DD} = 100V$
t_r	Rise Time	—	60	—	ns	$I_D = 28A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	55	—		$R_G = 1.8\Omega$
t_f	Fall Time	—	48	—		$V_{GS} = 10V$ ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	4057	—	pF	$V_{GS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	603	—		$V_{DS} = 25V$
C_{rSS}	Reverse Transfer Capacitance	—	161	—		$f = 1.0\text{MHz}$



Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	50	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode)①	—	—	200		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 28A, V_{GS} = 0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	268	402	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 28A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	1.9	2.8	μC	$di/dt = 100A/\mu\text{s}$ ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature.

② Starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 1.5\text{mH}$
 $R_G = 25\Omega$, $I_{AS} = 28A$.③ $I_{SD} \leq 28A$, $di/dt \leq 486A/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$,
 $T_J \leq 175^\circ\text{C}$ ④ Pulse width $\leq 400\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.

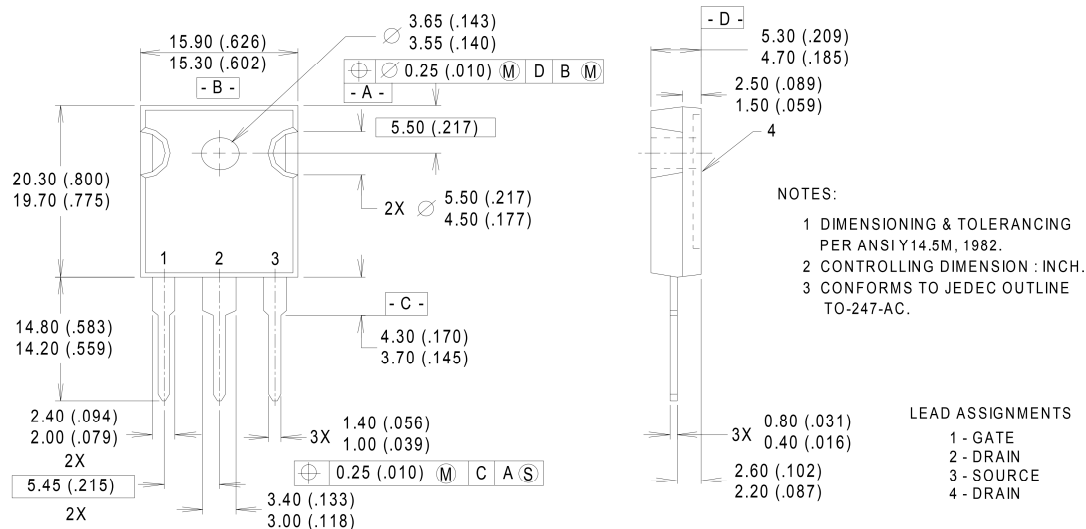
IRFP260N



Package Outline

TO-247AC Outline

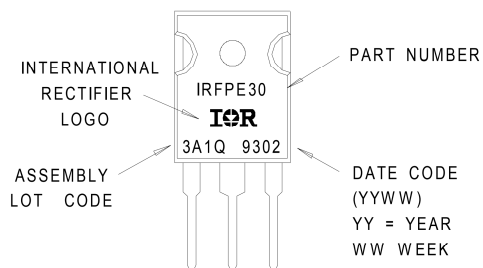
Dimensions are shown in millimeters (inches)



Part Marking Information

TO-247AC

EXAMPLE : THIS IS AN IRFPE30 WITH ASSEMBLY LOT CODE 3A1Q



IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
IR EUROPEAN REGIONAL CENTRE: 439/445 Godstone Rd, Whyteleafe, Surrey CR3 0BL, UK Tel: ++ 44 (0)20 8645 8000
IR CANADA: 15 Lincoln Court, Brampton, Ontario L6T3Z2, Tel: (905) 453 2200
IR GERMANY: Saalburgstrasse 157, 61350 Bad Homburg Tel: ++ 49 (0) 6172 96590
IR ITALY: Via Liguria 49, 10071 Borgaro, Torino Tel: ++ 39 011 451 0111
IR JAPAN: K&H Bldg., 2F, 30-4 Nishi-Ikebukuro 3-Chome, Toshima-Ku, Tokyo 171 Tel: 81 (0)3 3983 0086
IR SOUTHEAST ASIA: 1 Kim Seng Promenade, Great World City West Tower, 13-11, Singapore 237994 Tel: ++ 65 (0)838 4630
IR TAIWAN: 16 Fl. Suite D. 207, Sec. 2, Tun Haw South Road, Taipei, 10673 Tel: 886-(0)2 2377 9936
Data and specifications subject to change without notice. 10/00

Micro Commercial Components
21201 Itasca Street Chatsworth
CA 91311
Phone: (818) 701-4933
Fax: (818) 701-4939

Features

- Metal of silicon rectifier, majority carrier conduction
- Guard ring for transient protection
- Low power loss high efficiency
- High surge capacity, High current capability

Maximum Ratings

- Operating Temperature: -55°C to +150°C
- Storage Temperature: -55°C to +150°C

Microsemi Catalog Number	Device Marking	Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	Maximum RMS Voltage	Maximum DC Blocking Voltage
MBR2020	MBR2020	20V	14V	20V
MBR2030	MBR2030	30V	21V	30V
MBR2035	MBR2035	35V	24.5V	35V
MBR2040	MBR2040	40V	28V	40V
MBR2045	MBR2045	45V	31.5V	45V
MBR2060	MBR2060	60V	42V	60V
MBR2080	MBR2080	80V	56V	80V
MBR20100	MBR20100	100V	70V	100V

Electrical Characteristics @ 25°C Unless Otherwise Specified

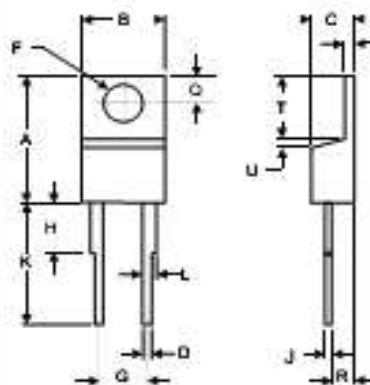
Average Forward Current	$I_{F(AV)}$	20A	$T_C = 135^\circ\text{C}$
Peak Forward Surge Current	I_{FSM}	150A	8.3ms, half sine
Maximum Forward Voltage Drop Per Element (MBR2020-2045, MBR2060, MBR2080-20100)	V_F	.63V .75V .84V	$I_{FM} = 20\text{A per element}; T_A = 25^\circ\text{C}^*$
Maximum DC Reverse Current At Rated DC Blocking Voltage	IR	0.1mA	$T_J = 25^\circ\text{C}$

*Pulse test: Pulse width 300 μsec , Duty cycle 1%

**MBR2020
THRU
MBR20100**

**20 Amp
Schottky Barrier
Rectifier
20 to 100 Volts**

TO-220AC



DESCRIPTION

DIM	INCHES				NOTE
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	.865	.910	15.11	15.75	
B	.300	.300	8.65	10.28	
C	1.00	.900	4.00	4.82	
D	.028	.028	0.84	0.89	
F	.112	.147	3.61	3.75	
G	1.90	2.10	4.80	5.33	
H	1.30	1.05	3.76	3.30	
J	.078	.028	0.00	0.00	
K	.865	.865	12.30	12.27	
L	.045	.050	1.14	1.27	
O	1.00	0.90	25.4	22.8	
R	.040	.110	2.00	2.75	
S	.075	.075	1.14	1.30	
T	.205	.205	5.17	5.16	
U	---	.030	---	1.27	

Bibliographies

Bibliographies

- [1] Bidi manel, "conception d'une centrale photovoltaïque pour recharge de voitures", mémoire de master, université de m'sila, 2018-2019.
- [2] Ameer ali elhabib, daoudi mustapha, "dimensionnement d'une installation photovoltaïque (application entreprise enava)", mémoire de master, université dr. tahar moulay de saïda, 2015-2016.
- [3] Chouikhi wassila faiza, "réalisation d'une commande buck-boost pv", mémoire de master, université abou bakr belkaid tlemcen, 2017-018.
- [4] Benadel faiza, "étude et simulation d'une commande mppt pour système pv", mémoire de master, université mohamed boudiaf-m'sila, 2015-2016.
- [5] Kharef fatima zohra, "commande mppt pour les panneaux photovoltaïques en ombrage", mémoire de master, université ahmed draïa-adrar, 2020-2021.
- [6] Alaat mahmoud, boucetta issam, "maximisation de a production d'un système photovoltaïque à base de mppt soumis à des éclairagements différents", mémoire de master, université badji mokhtar annaba, 2017.
- [7] Ketfi noujoud, dahmani rahma, "commande non linéaire d'un système d'énergie renouvelable", mémoire de master, université mohamed el bachir eli brahimi, bordj bou arréidj, 2020-2021.
- [8] Boulmares ikhlas, kadiri hanane, "etude comparative des performances de différentes commandes mppt", mémoire de master, université ahmed draïa-adrar, 2019-2020.
- [9] Haik ammar, "etude et simulation du diagnostic des défauts et anomalies d'un générateur photovoltaïque", mémoire de master, université abdelhamid ibn badis mostaganem, 2020.
- [10] Belkaid abdelhakim, "conception et implémentation d'une commande mppt de haute performance pour une chaine de conversion photovoltaïque autonome", doctorat en sciences, université ferhat abbas, satiflufas (algerie), 2015.
- [11] Tayebi nourredine, "implémentation des algorithmes de poursuite appliqués au système photovoltaïque par arduino", mémoire de master, université de gharadïa, 2019-2020.
- [12] Cylia tigrine, ouerdia ait ouali, "etude et simulation des techniques mppt d'un système photovoltaïque", mémoire de master, université a.mira-bejaia, 2018-2019.

- [13] Yehia lalili, "commande mppt d'un système photovoltaïque sous irradiation uniforme et non-uniforme", mémoire de master, université mohammed seddik benahia-jjel, 2020,2021.
- [14] Salim arab-dalila toudert, "etude d'un système photovoltaïque", mémoire de master, université mouloud mammeri de tizi-ouzou, 2017.
- [15] Ferdjani souleyma, maatallah omar, "etude et réalisation d'un hacheur boost commandé par le μ c arduino en vue d'implémenter des commandes mppt", mémoire de master, université ahmed draia adrar, 2018-2019.
- [16] O.gergaud, b.multon, h.ben ahmed, "analysis and experimental validation of various photovoltaic system models", 7 th international electrimacs congress, aout 2002, montreal (canada), pp.1-6.
- [17] A.ghassami, s.m.sadeghzadeh, a.soleimani, "ahigh performance maximum power point tracker for pv systems. electr. Power energy syst". 53 (2013), pp.237-243.
- [18] S. astier, b. dakyo, "les systèmes photovoltaïques autonomes non embarqués pour la production d'énergie électrique", journées électrotechniques du club eea, 28-29 janvier 1999, paris (france), pp1-19.
- [19] y.jiang, a.hassan, e.abdelkarem, "load current based analog mppt controller for pv solar systems", 27 th annual ieee applied power elctronics conference and exposition (apex), 2012, pp.911-914.
- [20] D. rekioua, e. matagne, "optimization of photovoltaic power systems: modelization, simulation and control", springer, british library, 2012, isbn 978-1-4471-2348-4.
- [21] C. cabal, "optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque", thèse doctorat de l'université toulouse 3 paul sabatier, france, 2008.
- [22] M. abdelmoula. "phénomènes non linéaires et chaos dans les systèmes d'énergie renouvelable – application à une installation photovoltaïque. phd thesis", université de reims champagne-ardenne, 2017.
- [23] Alain bilbao,"learreta réalisation de commandes mppt numériques ", diplôme ingénieur technique industriel, septembre 2006.
- [24] a.luque, s. hegedus: handbook of photovoltaic science and engineering ltd, 2003.
- [25] Bilel ben nasser, "etude et modelisation de la commande mppt avec matlab", université du québec à rimouski, 2021.
- [26] Aamarouayache mohamed, " contribution à l'optimisation d'une chaine de conversion d'énergie photovoltaïque ", doctorat en sciences en électrotechnique option ,2014.

- [27] J. ferrieux, f. forest, " alimentations a découpage convertisseurs a résonance : principes composants modélisation ". paris, france : dunod, 1999.
- [28] Atchoum safa, "réalisation d'un convertisseur buck-mppt", université larbi benm'hidi oum el-bouaghi, 2016-2017.
- [29] Nouioua maissoum, chikh imene, delhoum aicha, "système de parking automatique", universite badji mokhtar annaba, 2019.
- [30] Boudershem brahim, salhi younes, " conception et réalisation d'un hacheur boost mppt a base d'une carte arduino application pv ", mémoire de master, université kasdi merbah ouargla, 2017.
- [31] Ghassem meriem, ben halilou mayar, "simulation et modélisation d'une cellule photovoltaïque sous matlab", université de mohamed el-ibrahim, bordj bouarreridj, 2022.