



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université Ahmed Draia  
Faculté Science et de la Technologie  
Département Sciences et de la Technologies



MÉMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLOME DE MASTER

SPÉCIALITÉ : ÉLECTROTECHNIQUE

OPTION : COMMANDE ELECTRIQUE

*Thème :*

**Recherche Du Maximum De Puissance Sur Les Générateurs  
Photovoltaïques Organique Par La Technique MPPT  
(Perturbation and Observation)**

Présenté par :

-DRICI KHALIL

- MAJABRI ABDELHADI

Devant le jury composé de :

Encadreur : Mr. GHAITAOUI TOUHAMI	MCA	UNV D'ADRAR
Président : Mr.	.....	UNV D'ADRAR
Examineur : Mr.	.....	UNV D'ADRAR

Année Universitaire 2019/2020



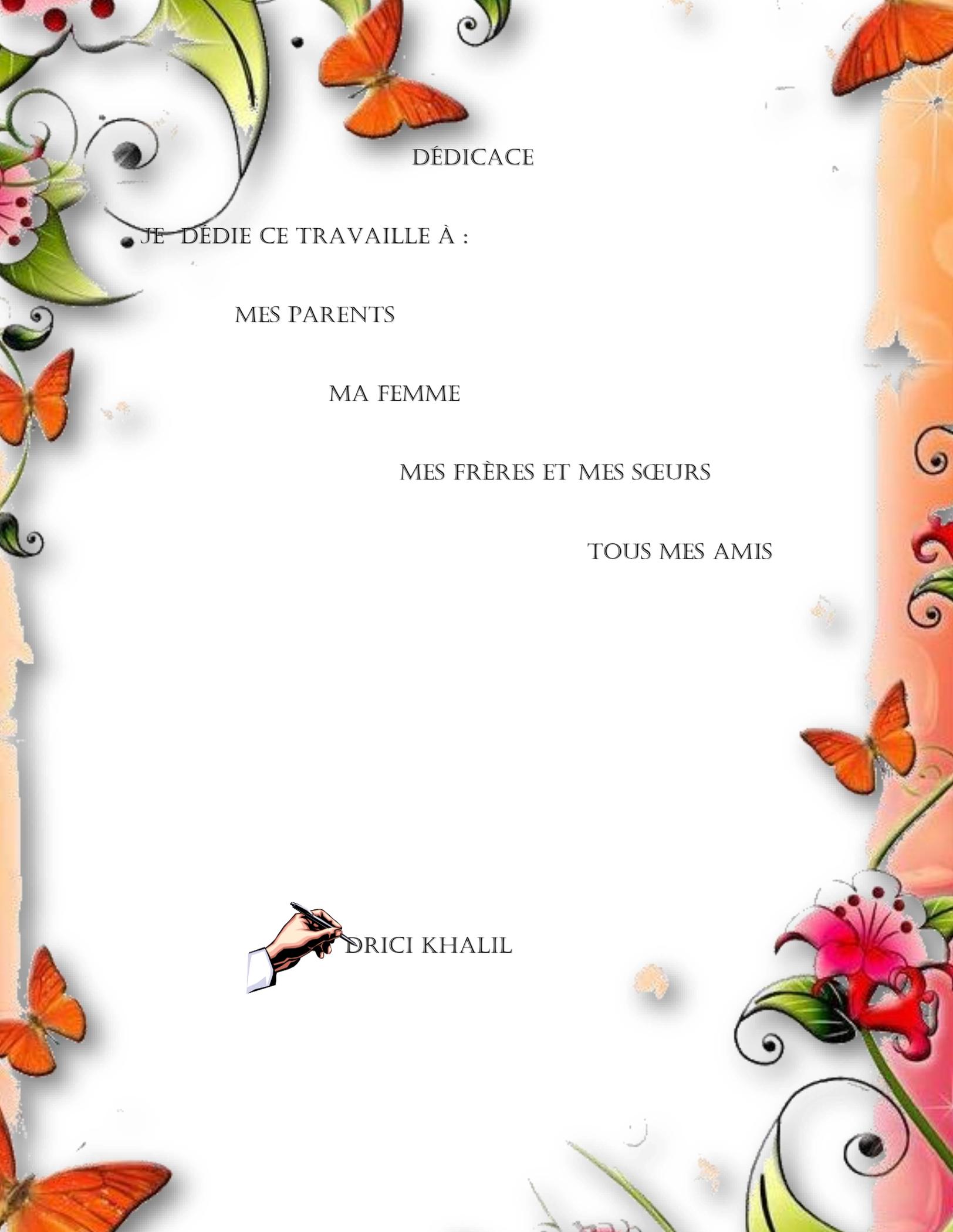
## REMERCIEMENT

Je voudrais dans un premier temps remercier mon directeur de mémoire Mr Ghaithaoui touhami De m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'université d'Adrar et les intervenants professionnels responsable de ma formation, pour voir assuré la partie théorique de celle-ci.

Ainsi que le laboratoire universitaire LDDI qui a contribué au succès de ce travail, Sans oublier ma famille qui m'a soutenu.





DÉDICACE

JE DÉDIE CE TRAVAILLE À :

MES PARENTS

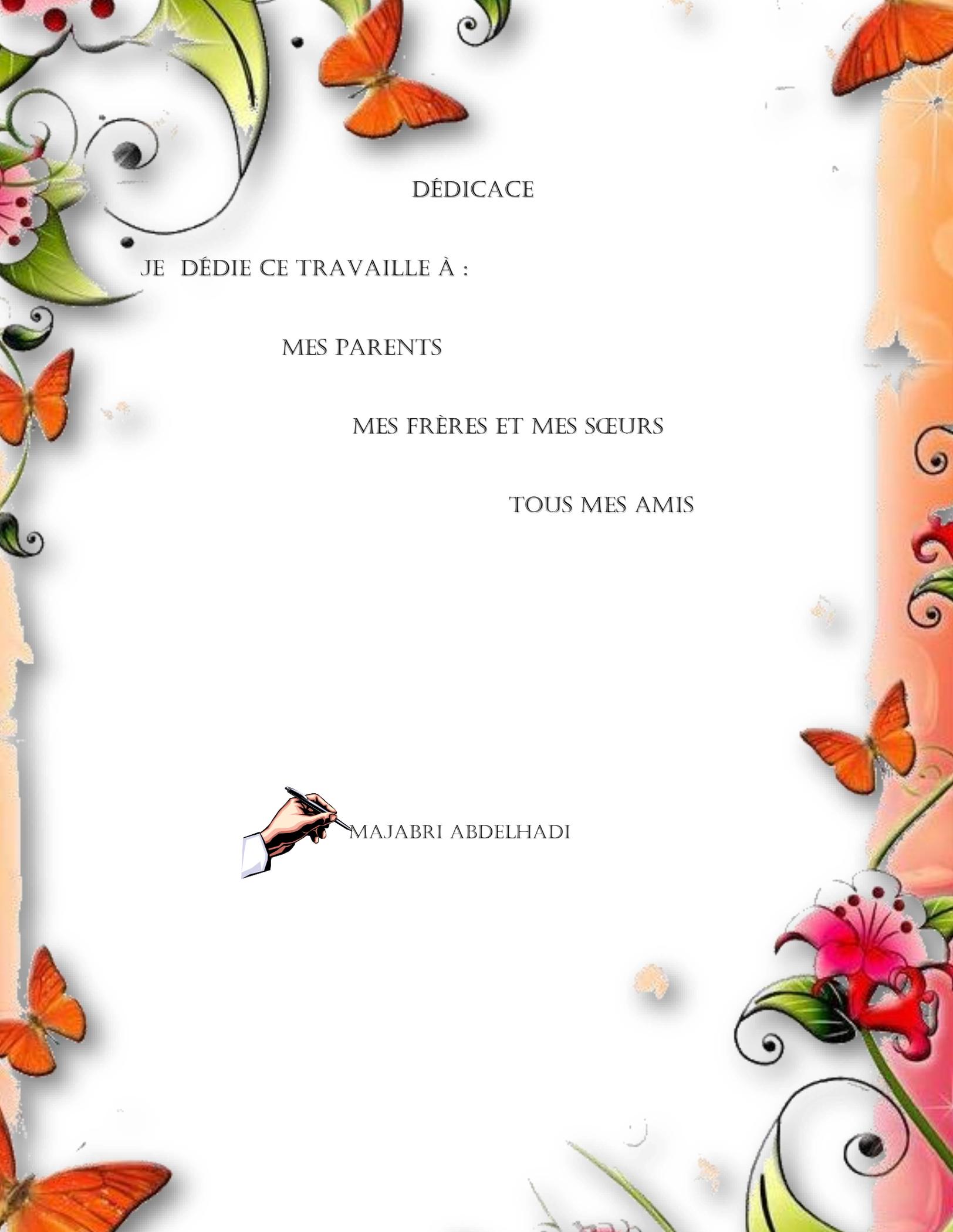
MA FEMME

MES FRÈRES ET MES SCEURS

TOUS MES AMIS



DRICI KHALIL



DÉDICACE

JE DÉDIE CE TRAVAILLE À :

MES PARENTS

MES FRÈRES ET MES SCEURS

TOUS MES AMIS



MAJABRI ABDELHADI

## المخلص:

تعتمد كمية الطاقة التي يولدها نظام الطاقة الكهروضوئية العضوية (PVO) بشكل أساسي على ما يلي: مثل درجات حرارة الشمس والإشعاع. اعتمادًا على التكلفة العالية والكفاءة المنخفضة للنظام الكهروضوئي العضوي يمكن تشغيله عند أقصى نقطة للطاقة (MPPT) والتي تتغير مع الإشعاع الشمسي أو درجة الحرارة أو تغيرات الحمل. تقدم هذه الأطروحة خوارزمية محسنة لتتبع أقصى نقطة للطاقة (MPPT) لنظام PVO في ظل ظروف مناخية حقيقية. يعتمد MPPT المقترح على إستراتيجية الاضطراب والمراقبة (P&O) وطريقة الملعب المتغيرة التي تتحكم في جهد الحمل لضمان نقاط التشغيل المثلى لنظام PVO.

## Résumé :

La quantité d'énergie générée par un Le système photovoltaïque organique (PVO) dépend principalement des éléments suivants:

Tels que les températures et les irradiations solaires. Selon au coût élevé et à la faible efficacité d'un système photovoltaïque organique, il être exploité au point de puissance maximale (MPPT) qui change avec des rayonnements solaires, température ou des variations de charge. Ce mémoire présente un algorithme amélioré de suivi du point de puissance maximale (MPPT) de un système PVO dans des conditions climatiques réelles. Le MPPT proposé est basé sur la stratégie de perturbation et d'observation (P&O) et la méthode à pas variable qui contrôle la tension de charge à assurer des points de fonctionnement optimaux d'un système PVO.

## Abstract:

The amount of energy generated by an Organic Photovoltaic (PVO) system depends mainly on the following:

Such as solar temperatures and irradiations. Depending on the high cost and low efficiency of an organic photovoltaic system, it can be operated at the maximum power point (MPPT) that changes with solar radiation, temperature or load variations. This thesis presents an improved algorithm for tracking the maximum power point (MPPT) of a PVO system under real climatic conditions. The proposed MPPT is based on the perturbation and observation (P&O) strategy and the variable pitch method which controls the load voltage to ensure optimum operating points of a PVO system.

## Liste Abréviation :

$V_{oc}$ : Tension de circuit ouvert.

$I_{cc}$  : Courant de court-circuit.

$N_s$  : Nombre de cellule en série.

$T$ :Température ambiante.

$I_{OP}$  : Le courant optimal.

$V_{OP}, V_{opt}$  : La tension optimale.

$E$  : l'ensoleillement en  $W/m^2$ .

$V_e$  : tension d'entrée.

$V_s$  : tension de sortie.

DC : continue.

MOSFET : Métal Oxyde Semi-conducteur Field Effet Transistor.

$P_{max}$  : La puissance optimale.

PV : Photovoltaïque.

PVO : Photovoltaïques Organique.

GPVO : Générateur Photovoltaïques Organique.

DC-DC : continu - continu.

MPPT: Maximum Power Point Tracking.

P&O: Perturb And Observe.

PPM : point de puissance maximale.

EQE : External Quantum Efficiency.

IQE : Internal Quantum Efficiency.

AM: Air Masse.

$e$  : la charge de l'électron

$E_{ph}$  : l'énergie du photon.

$c$  : la célérité de la lumière dans le vide

$\lambda$  : la longueur d'onde

D : Diode.

L : l'inductance d'une bobine.

R : Charge résistive.

R<sub>Sh</sub> : résistance shunt

R<sub>S</sub> : résistance série.

FF : Facteur de forme.

Q : transistor.

T<sub>on</sub>: Durée de conduction de l'interrupteur Q.

T<sub>OFF</sub>: Durée de blocage de l'interrupteur Q.

$\alpha$  : Rapport cyclique.

T : Période de découpage.

## Liste des figures :

<b>Figure I.1</b> : Définition du nombre d'air masse (AM) et spectre d'émission du rayonnement solaire homologué par la Société Américaine de Tests et Matériaux (ASTM G173-03) .....	8
<b>Figure I.2</b> : deux polymères semi conducteurs .....	9
<b>Figure I.3</b> : deux petites molécules semi conducteurs .....	9
<b>Figure I.4</b> : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque organique .....	10
<b>Figure I.5</b> : Conditions de dissociation de l'exciton ( $E_{ex} > PI - AE$ ) .....	12
<b>Figure I.6</b> : Principaux mécanismes mis en jeu lors de l'effet photovoltaïque .....	14
<b>Figure I.7</b> : Caractéristique courant-tension et paramètres physiques d'une cellule photovoltaïque .....	15
<b>Figure I.8</b> : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque organique .....	17
<b>Figure I.9</b> : Structure monocouche .....	19
<b>Figure I.10</b> : Trois types d'hétérojonctions rencontrées dans les cellules solaires organiques .....	20
<b>Figure I.11</b> : Schéma d'une structure conventionnelle de cellule Photovoltaïque (à gauche) et d'une structure inverse (à droite) .....	21
<b>Figure I.12</b> : Structure d'une cellule tandem .....	23
<b>Figure I.13</b> : Cellule photovoltaïque organique en architecture tandem .....	23
<b>Figure II.1</b> : Connexion directe entre un GPV et une charge .....	27
<b>Figure II.2</b> : Points de fonctionnement d'un GPV en connexion directe, en fonction de la charge .....	27
<b>Figure II.3</b> : Etage d'adaptation d'un GPV-charge .....	28
<b>Figure II.4</b> : Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque avec convertisseur Statique contrôlé par une commande MPPT sur charge quelconque .....	29
<b>Figure II.5</b> : Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant un panneau photovoltaïque, un convertisseur BOOST, une commande MPPT et une charge .....	30
<b>Figure II.6</b> : Principe de la commande MPPT .....	31
<b>Figure II.7</b> : Organigramme de la première commande MPPT .....	34

<b>Figure II.8 :</b> Application de l'algorithme P&O sur la caractéristiques $P_{PV}(V_{PV})$ .....	36
<b>Figure II.9 :</b> Organigramme de l'algorithme P&O .....	36
<b>Figure II.10 :</b> Méthode IncCond pour poursuivre le MPP .....	38
<b>Figure II.11 :</b> Organigramme de la méthode IncCond .....	38
<b>Figure II.12 :</b> Relation entre PPV et le rapport cyclique D du convertisseur statique ...	40
<b>Figure II.13 :</b> Algorithme de la méthode HC .....	40
<b>Figure II.14 :</b> Tensions $V_e$ et $V_s$ dans le convertisseur DC/DC .....	42
<b>Figure II.15 :</b> Schéma de convertisseur Boost .....	43
<b>Figure II.16 :</b> Circuit équivalent pour $T_{on}$ .....	44
<b>Figure II.17 :</b> Circuit équivalent pour $T_{off}$ .....	44
<b>Figure II.18 :</b> Forme du courant $i_1$ et $i_2$ .....	45
<b>Figure II.19 :</b> Formes d'onde des courants et des tensions d'un convertisseur Boost ....	47
<b>Figure II.20 :</b> Schéma électronique de convertisseur abaisseur Buck .....	48
<b>Figure II.21 :</b> Convertisseur Buck Durant l'état On .....	49
<b>Figure II.22 :</b> Convertisseur Buck Durant l'état Off .....	50
<b>Figure II.23 :</b> Formes d'onde des courants et des tensions d'un convertisseur Buck ....	51
<b>Figure II.24 :</b> Schéma de convertisseur inverseur Buck-Boost .....	52
<b>Figure II.25 :</b> Convertisseur Buck-Boost Durant l'état On .....	53
<b>Figure II.26 :</b> Convertisseur Buck-Boost Durant l'état Off .....	53
<b>Figure II.27 :</b> Formes d'onde des courants et des tensions d'un convertisseur Buck-Boost .....	54
<b>Figure III.1 :</b> groupe des modules photovoltaïques organique 0.527W .....	59
<b>Figure III.2 :</b> Schéma d'un système photovoltaïque avec convertisseur DC-DC commandé par la MPPT .....	60
<b>Figure III.3 :</b> Schéma de simulation d'un PV et un hacheur commandé en MPPT .....	61
<b>Figure III.4 :</b> Schéma block d'un convertisseur boost .....	62
<b>Figure III.5 :</b> programme l'algorithme de perturbation et de l'observation (P et O) ....	63
<b>Figure III.6 :</b> courbe I-V en STC .....	63
<b>Figure III.7 :</b> Caractéristique V-P en STC .....	64
<b>Figure III.8 :</b> Courbes I(V) d'un système PV à divers ensoleillements à $T=25^{\circ}C$ .....	65
<b>Figure III.9 :</b> Courbes P(V) d'un système PV à divers ensoleillements à $T=25^{\circ}C$ .....	65

<b>Figure III.10</b> : Courbes I(V) d'un champ PV pour différentes températures à $G=1000W/m^2$ .....	66
<b>Figure III.11</b> : Courbes P(V) d'un champ PV pour différentes températures à $G=1000W/m^2$ .....	66
<b>Figure III.12</b> : la puissance générée par le générateur Photovoltaïque et DC-DC boost pour $E=1000W/m^2$ et $T=25^{\circ}C$ .....	67
<b>Figure III.13</b> : la tension de sortie et entre DC-DC boost pour $E=1000W/m^2$ et $T=25^{\circ}C$ .....	67
<b>Figure III.14</b> : Les différentes grandeurs électriques de système PV .....	68
<b>Figure III.15</b> : variation de source d'éclairément .....	69
<b>Figure III.16</b> : Puissance du GPO et la Puissance de sortie du convertisseur avec une variation d'éclairément de $200 w/m^2$ jusqu'à $1000 w/m^2$ température $25^{\circ}C$ .....	69
<b>Figure III.17</b> : Tension du GPV et la tension de sortie du convertisseur avec une variation de éclairément de $200 w/m^2$ jusqu'a $1000 w/m^2$ température $25^{\circ}C$ .....	70
<b>Figure III.18</b> : la Tension générée par le générateur photovoltaïque organique pour $E=1000W/m^2$ et $T=25^{\circ}C$ .....	71
<b>Figure III.19</b> : la puissance générée par le générateur Photovoltaïque organique pour $E=1000W/m^2$ et $T=25^{\circ}C$ .....	71
<b>Figure III.20</b> : la puissance générée par le générateur photovoltaïque organique pour $E=1000W/m^2$ et $T=25^{\circ}C$ .....	72

**Liste des tableaux :**

<b>Tableau II.1</b> : Tableau comparatif entre les commandes MPPT [33] .....	41
<b>Tableau III.1</b> : Caractéristiques électriques du module Module PVO-Infinity .....	60
<b>Tableau III.2</b> : Les paramètres de convertisseur DC / DC .....	62

# Sommaire :

<b>Introduction générale</b> .....	2
------------------------------------	---

## **Chapitre 01**

### **Généralité sur les cellules solaire organiques**

I Introduction .....	6
I.1. Généralités .....	6
I.1.1. L'énergie solaire .....	6
a. Soleil .....	6
b. Structure .....	6
c. Le gisement solaire .....	7
I.2 semi conducteur organique .....	8
I.2.1 Principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques organiques .....	9
I.2.1.1 Absorption des photons – création des excitons .....	10
I.2.1.2 Diffusion des excitons .....	11
I.2.1.3. Dissociation des excitons .....	11
I.2.1.4 Transport des porteurs de charges .....	12
I.2.1.5.Collecte des porteurs de charge .....	13
a)-Collecte des électrons .....	13
b)-Collecte des trous .....	13
I.2.2. Caractéristique courant-tension et paramètres des cellules solaires organiques	
Caractéristique courant-tension I (V) .....	15
I.2.2.1.Courant de court-circuit $I_{cc}$ .....	15

I.2.2.2.Tension à circuit ouvert $V_{co}$ .....	16
I.2.2.3.Facteur de forme FF .....	16
I.2.2.4.Rendement quantique externe EQE .....	16
I.2.2.5.Rendement de conversion en puissance .....	17
I.2.3.Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque organique .....	17
I.2.4.Différentes structures des cellules photovoltaïque organiques .....	18
I.2.4.1.structure monocouche .....	18
I.2.4.2.structure bicouche .....	19
I.2.4.3.structure p-i-n .....	21
I.2.4.4. Structure inverse .....	21
I.2.4.5.structure des cellules tandem .....	22
Conclusion .....	24

## **CHAPITRE 02 :**

### La commande MPPT et les convertisseurs DC/DC

<b>II.1.1. Introduction</b> .....	26
II.1.2.Méthode de poursuite du point de puissance maximal .....	26
II.1.3.Connexion directe entre le GPV et la charge .....	26
II.1.4. Fonctionnement optimal du générateur photovoltaïque .....	28
II.1.5.Définition de l'MPPT d'un système solaire photovoltaïque .....	29
II.1.6.Principe De La Commande MPPT .....	30
II.1.7.Classification Des Commandes MPPT .....	31
II.1.7.1.Classification Des Commandes MPPT Selon Les Paramètres D'entrée .....	31
A. Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS .....	31
B. Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur .....	32
II.1.7.2.Classification Des Commandes MPPT Selon Le Type De Recherche .....	32
A.MPPT Indirect .....	32
B.MPPT Direct .....	32
II.1.8.Synthèse des différentes MPPT rencontrées dans la littérature .....	33

II.1.8.1.Premiers types de commande MPPT .....	33
II.1.8.2.Méthode basée sur la mesure de la tension en circuit ouvert .....	34
II.1.8.3.Algorithme de perturbation et observation P&O .....	35
II.1.8.4. Algorithme de “Incrément de Conductance (IncCond) .....	37
II.1.8.5. Algorithme “Escalade de la Colline (Hill Climbing) .....	39
II.1.9.Choix de l’algorithme MPPT .....	40
<b>II.2.Convertisseur Continu-Continu (DC/DC) (Hacheur) .....</b>	<b>42</b>
II.2.1. Convertisseur Boost .....	42
II.2.1. 1.Définition .....	42
II.2.1. 2.Schéma du convertisseur Boost .....	43
II.2.1. 3.Principe de fonctionnement .....	43
II.2.1. 3.1. Le fonctionnement d'un convertisseur Boost peut être divisé en deux phases distinctes selon l'état de l'interrupteur Q .....	43
Mode continu .....	43
Mode discontinu .....	43
II.2.2. Convertisseur Buck .....	48
II.2.2.1. Schéma du convertisseur Buck .....	48
II.2.2.2.Principe de fonctionnement .....	48
II.2.3.Convertisseur Buck-Boost .....	52
II.2.3.1.Schéma du convertisseur Buck-Boost .....	52
II.2.3.2.Principe de fonctionnement .....	52
II.2.4.Dimensionnement d’un convertisseur de type SEPIC .....	55
II.2.4.1.Rapport cyclique .....	55
II.2.4.2.Inductances .....	55
II.2.4.3.Condensateur de couplage .....	55
II.2.4.4.Condensateur de filtrage .....	56
Conclusion .....	57

## CHAPITRE 03:

### Résultats et simulations

<b>III.1. Introduction</b> .....	59
III.2. Modèle de Simulation .....	59
III.2 .1.Simulation du system photovoltaïque avec hacheur commandé en MPPT .....	60
A .Hacheur boost .....	61
B. Algorithme perturbation et observation (MPPT) .....	62
III.3. Résultats obtenus .....	63
III.3. 1. Comportement d'un générateur photovoltaïque .....	63
III.3. 1.1. Influence de la température et l'ensoleillement sur le rendeme .....	64
A. Influence de l'ensoleillement .....	64
B. Influence de la température .....	66
III.4. Résultats de simulation du système PV adapté par la commande MPPT .....	67
III.5. L'effet de l'éclairement sur le système PVO .....	69
III.6. pour un champ des panneaux pvo Systems .....	70
Conclusion .....	72
Conclusion générale .....	74
Références bibliographies .....	75

## *Introduction générale*

## **Introduction générale :**

La consommation mondiale d'électricité observée durant ces dernières décennies est fortement liée au développement de l'industrie, du transport et des moyens de communications. De nos jours, une grande partie de la production d'électricité est assurée par des ressources non renouvelables comme le charbon, le gaz naturel, le pétrole et l'uranium. Leur vitesse de régénération est extrêmement lente à l'échelle humaine. Ce qui entrainera à plus ou moins courte échéance un risque non nul d'épuisement de ces ressources. D'autant plus que la demande ne cesse de croître et tant dès à présent à être supérieure à l'offre, se traduisant par exemple par une forte fluctuation du prix mondial du pétrole [1].

D'autre part, ce type de consommation d'énergie n'est pas neutre sur l'impact environnemental. Pour les hydrocarbures et le charbon par exemple, d'importantes émissions de gaz à effet de serre sont générées quotidiennement jouant un rôle prépondérant au niveau du dérèglement climatique et de l'augmentation de la pollution. Ce constat pousse à rechercher de plus en plus de solutions innovantes palliant le déficit énergétique et limitant l'impact négatif sur l'environnement. Ainsi, le développement des sources non-polluantes à base d'énergie renouvelable est de plus en plus sollicité à la fois par les producteurs d'énergie et les pouvoirs publics [1].

La première cellule photovoltaïque a été réalisée en 1954, à base du silicium, aujourd'hui il reste encore le matériau le plus couramment utilisé, malgré la concurrence toujours plus rude des Tellurures de Cadmium, et l'Arséniure de Gallium. Cette filière technologique à base des semi-conducteurs inorganiques caractérisés par son prix élevé, par sa fabrication très compliqué, sa rigidité (fragile) ... [2].

Les premières cellules solaires organiques présentaient des rendements de conversion en énergie  $\eta$  très faibles, de l'ordre de 10-5%. Dès 1978, Meritt [3] prévoyait que les valeurs de  $\eta$  pourraient dépasser les 1%, mais ce n'est qu'en 1986 que ce rendement a été atteint par les travaux de Tang [4] ( $\eta=0.95\%$ ). Pendant des années, cette valeur a été reproduite avec différents matériaux [5], mais elle n'a jamais été améliorée. Ce n'est qu'au début du 21ème siècle que le rendement a recommencé de croître, en

atteignant 2.5% avec les travaux publiés par Shaheen [6], 3.6% avec ceux de Peumans [7] sous éclairage AM1.5, avec une puissance lumineuse de  $100\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$ , et enfin 4.2% avec une double.

Hétéro structure de C60 et de phtalocyanine de cuivre [8]. Actuellement, le record est atteint par les chercheurs de Konarak, une émanation de Siemens [9] en Allemagne, avec un rendement qui dépasse les 5%. Cette valeur reste encore faible comparée à celles qui ont été obtenues en laboratoires avec des cellules en silicium monocristallin (24,7%) [10], multi cristallin (19,8%) et amorphe (12,7%).

Les cellules photovoltaïques organiques les plus prometteuses sont conçues sur l'association des fullerènes et des polymères donneurs d'électrons dans des réseaux interpénétrés. Dans ces structures de réseaux interpénétrés, l'interface entre le semi-conducteur de type p et le semi-conducteur de type n est distribuée dans tout le volume de la couche active, ce qui permet d'obtenir une bonne efficacité de séparation des charges à partir d'excitons photo-générés, très peu mobiles dans les matériaux organiques. La dissociation des excitons est améliorée lorsque les sites de photo-génération sont distribués en volume. Une telle configuration n'est obtenue que si nous organisons les matériaux de type donneur/accepteur dans des réseaux interpénétrés qui augmentent la surface de la jonction [11].

En plus, du fait que les matériaux donneurs et accepteurs doivent posséder des mobilités de trous et d'électrons les plus grandes possibles, l'organisation des matériaux en réseaux interpénétrés facilite la conduction des charges vers les électrodes.

Le défi consiste donc à organiser les matériaux donneurs et accepteurs en réseaux interpénétrés afin d'optimiser la surface de dissociation des excitons et de favoriser la conduction des charges [11].

Un générateur photovoltaïque peut fonctionner dans une large gamme de tension et de courant de sortie mais il ne peut délivrer une puissance maximale que pour des valeurs particulières du courant et de la tension. En effet la caractéristique  $I(V)$  du générateur dépend de l'éclairage solaire et de la température. Ces variations

climatiques entraînent la fluctuation du point de puissance maximale. A cause de cette fluctuation, on intercale souvent entre le générateur et le récepteur un ou plusieurs convertisseurs statiques commandés permettant de poursuivre le point de puissance maximale [12].

Les scientifique ont développé plusieurs techniques, y compris la technologie de contrôle MPPT, et ont été essayées sur des cellules solaire a bas silicium nous avons pour cette mémoire cette technique est-elle valable pour les cellules solaire organique ?

Dans Le premier chapitre nous avons explique le principe de fonctionnement dans un cellule photovoltaïque type organique, nous détaillerons ensuit les mécanisme conduisant à la génération de courant en plus montrons les caractéristique, les paramètre et schéma équivalent d'une cellule solaires organiques.

Le deuxième chapitre, nous étudions la modélisation diffèrent technologies dans la commandes mppt et sa méthode pour trouve le point de puissance maximum des panneaux solaire, nous avons étudié pour les hacheurs et ses types Et comment ces transformateurs fonctionnent sur l'énergie électrique produite par les panneaux solaires.

Le chapitre trois est consacré à la simulation et caractérisation de panneau photovoltaïque organique raccordé avec un convertisseur BOOST commandé parla commandes mppt (P&O).Sous l'environnement MATLAB SIMULINK pour déterminer le point de puissance maximum de notre système photovoltaïque organique.

A la fin de mémoire, nous donnons une conclusion générale.

## **CHAPITRE 1 :**

### **Généralité sur les cellules solaire organique**

**I Introduction:**

La conversion directe de la lumière solaire en électricité par des cellules photovoltaïques est connue depuis le XXème siècle. Les dispositifs monocristallins de silicium et de l'arsenic de gallium dépassent des efficacités de 25% [13]. La technique de la couche mince devrait réduire la consommation du matériau et coûts de production, mais les coûts de production restent toujours élevés pour l'utilisation à grand publique. Généralement, les semi conducteurs inorganiques ont besoin des opérations à hautes températures dans leurs productions, qui sont très couteuses, et difficiles à produire [14].

La recherche scientifique a pu découvrir de nouveaux matériaux et semi-conducteurs organiques depuis le développement de cellules solaires à base de ces matériaux organiques ou polymères qui présentent plusieurs avantages dont le plus important est qu'ils sont peu coûteux et dépendent de leur composition sur des matières premières illimitées. C'est pourquoi nous avons consacré l'étude de ce premier chapitre à la définition de ces cellules organiques Système solaire en introduisant son principe de fonctionnement et ses différentes structures en plus des caractéristiques de tension actuelle et des paramètres des cellules solaires organiques[2] .

**I.1.Généralités :****I.1.1. L'énergie solaire :****a. Soleil :**

Le soleil est une petite étoile centrale du système solaire magnétiquement active, il est presque sphérique, c'est une boule de gaz et de plasma. Il a un diamètre d'environ 1 392 684 kilomètres, ce qui équivaut à 109 fois le diamètre de la Terre et une masse de  $2 \times 10^{30}$  kg ce qui équivaut à 330 000 fois la masse de la terre, il représente environ 99,86% de la masse de système solaire [15] .

**b. Structure :**

Le noyau du soleil s'étend du centre à environ 0,2 rayon solaire. Sa masse volumique est supérieure à 150 000 kg/m<sup>3</sup>, C'est là où se produit l'énergie solaire. La zone radiative s'étend de 0,2 à 0,7 rayon solaire environ, sa température est bien plus basse que celle du noyau, mais sa densité reste très forte. Cette zone joue un rôle important dans les transferts et le filtrage de l'énergie, du cœur vers la surface du Soleil. La zone de convection s'étend de 0,8 rayon solaire

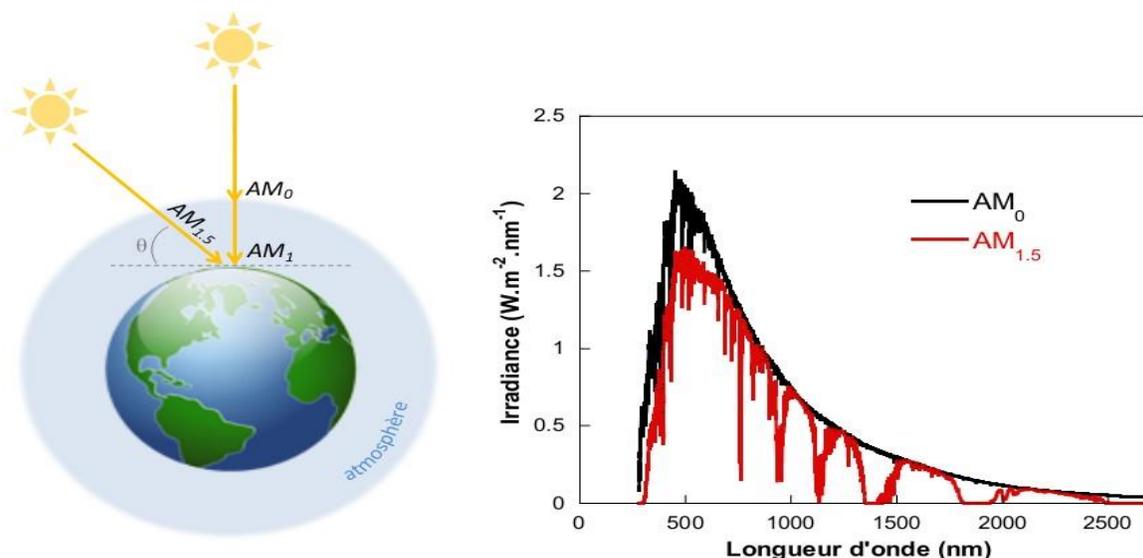
du centre à la surface visible, elle est séparée de la zone de radiation par une couche épaisse d'environ 3000 km appelée la tachocline, elle permet les échanges d'énergie entre la zone radiative et la photosphère. En raison de sa faible densité, les échanges dans cette zone se font par convection: les gaz chauds remontent à la surface, se refroidissent, puis redescendent, se réchauffent, remontent, et ainsi de suite. La photosphère a une épaisseur d'environ 400 km, c'est la partie externe de l'étoile, sa température moyenne est de 6000 K, 99% de la lumière émise par le Soleil provient de la photosphère. L'atmosphère solaire est la structure du soleil au-delà de la photosphère, elle comprend trois zones principales : la chromosphère, la couronne et l'héliosphère. La chromosphère est séparée de la photosphère par une zone de température minimale et de la couronne par une zone de transition [15].

### c. Le gisement solaire :

Contrairement aux autres énergies renouvelables, l'énergie solaire ne souffre pas de problème de gisement et est disponible partout sur notre planète. Le soleil est une étoile de 696000 km de rayon et de masse 1,99.1030 kg. Sa température intérieure, d'environ 15 millions de kelvins, lui permet à chaque seconde de transformer 700 millions de tonnes d'hydrogène, par réaction de fusion atomique, ce qui correspond à une énergie égale à 386 milliards de milliards de mégawatts [16]. Sous forme de rayonnement électromagnétique, une partie de cette énergie atteint la surface de la terre. Hors atmosphère, l'énergie moyenne reçue par la Terre est d'environ 5,5 kWh/m<sup>2</sup> par jour. En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire subit une atténuation et une modification de son spectre. Ainsi la couche d'ozone absorbe la majeure partie du rayonnement ultra-violet, tandis que la vapeur d'eau absorbe le rayonnement infrarouge. Le rayonnement solaire au sol dépend donc de l'épaisseur de l'atmosphère traversée par les rayons lumineux et n'est donc pas homogène sur toute la surface de la Terre. Pour tenir compte de ces différences, on introduit un coefficient x appelé masse atmosphérique ou nombre d'air masse (AMx) dont l'expression est :

$$X = \frac{1}{\sin \theta} \quad (\text{I.1})$$

$\theta$  : représente l'élévation du soleil sur l'horizon (90 ° au zénith) comme le montre la Figure I.1. Ainsi lorsque le Soleil est au zénith, on dit que l'on a les conditions AM1 car les rayons lumineux traversent une épaisseur d'atmosphère unité (7,8 km).



**Figure I.1** : Définition du nombre d'air masse (AM) et spectre d'émission du rayonnement solaire homologué par la Société Américaine de Tests et Matériaux (ASTM G173-03) [16].

## I.2 semi conducteur organique :

Un semi conducteur organique est un composé organique, sous la forme d'un film moléculaire ou polymère, qui montre des propriétés similaires aux semi conducteurs inorganiques [17]. Ces propriétés sont la conduction par les électrons et les trous, ainsi que la présence d'une bande HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) qui est l'homologue de la bande de valence pour les SC inorganiques, d'une bande LUMO

(Lowest Unoccupied Molecular Orbital), l'homologue de la bande de conduction des SC inorganiques, et d'une bande interdite. Ces matériaux ont donné naissance à l'électronique organique, ou électronique plastique. Par organique, on entend que les molécules utilisées sont à base de carbone. On dit organique par opposition aux semi conducteurs inorganiques comme le silicium ou l'arséniure de gallium par exemple. Les semi conducteurs organiques offrent plusieurs avantages comme: légèreté, flexibilité, facilité de fabrication et l'auto-assemblage et jetable, mais cette technologie présente cependant une limitation due au temps de vie cela est dû à la sensibilité des matériaux organiques vis à vis de l'humidité et de l'oxygène, et parfois à la durée de vie des matériaux eux même [2].

On peut classer les semi conducteurs organiques en deux catégories [2] : les molécules de faibles masses molaires appelées communément (petites) molécules conjuguées Figure I.3, ou bien les polymères conjugués Figure I.2.

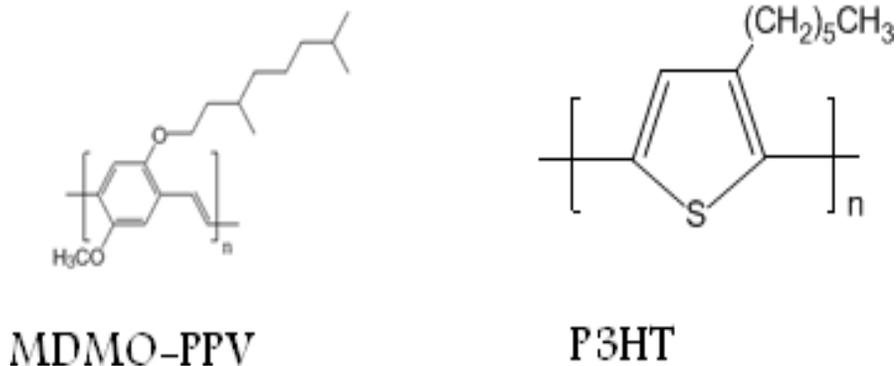


Figure I.2:deux polymères semi conducteurs

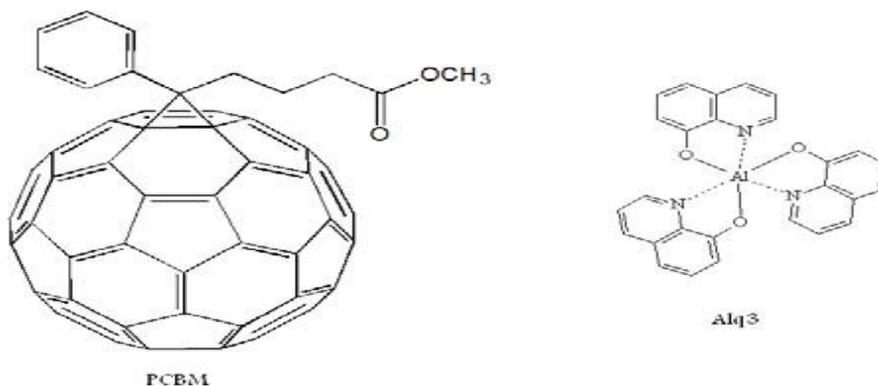


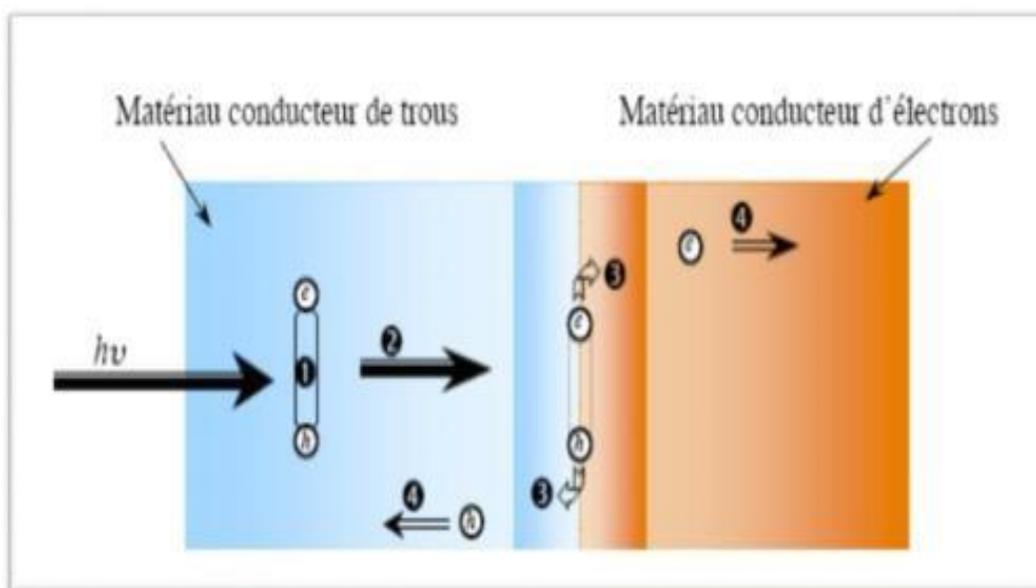
Figure I.3:deux petites molécules semi conducteurs

### I.2.1 Principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques organiques :

Entre l'étape initiale où la lumière pénètre dans une cellule photovoltaïque organique et l'étape finale où les charges sont collectées sur les électrodes, plusieurs processus physiques agissent successivement et qui déterminent l'efficacité de la photo conversion [18]. Ces différentes étapes sont détaillées ci-après et illustrées par La Figure I.4.

### I.2.1.1 Absorption des photons – création des excitons :

L'absorption de photons dans un solide se traduit par l'apport d'énergie aux électrons du niveau HOMO. La transition vers le niveau LUMO entraîne l'apparition d'un trou qui reste lié à l'électron par interaction électrostatique mutuelle. Le couple électron-trou, électriquement neutre, est alors appelée exciton (Figure I.4:1) Lorsque les deux charges sont localisées sur la même molécule ou sur la même unité monomère, il est appelé exciton de Fränkel ; au contraire si la distance entre l'électron et le trou correspond à plusieurs unités monomères, c'est un exciton de type Wannier. Dans les matériaux inorganiques, la valeur de l'énergie de liaison  $E_{Lex}$  est très faible (14,7 MeV pour le silicium) et l'énergie thermique est suffisante, à température ambiante, pour séparer les deux charges liées. Il n'en est pas de même dans les matériaux organiques puisque les valeurs d' $E_{Lex}$  sont de l'ordre de plusieurs centaines de MeV [51].



**Figure I.4 :** Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque organique [19]

Il en résulte une difficulté à dissocier les charges qui restent liées à température ambiante. La présence d'un champ électrique local, est requise pour que s'exerce une force capable de surpasser l'attraction coulombienne. Pour y parvenir, la présence de deux matériaux avec des niveaux énergétiques différents est nécessaire. L'un est appelé matériau « donneur » (ou de type p) pour la capacité qu'il a à donner un électron, l'autre matériau étant appelé « accepteur » (ou de type n) pour la capacité qu'il a à accepter un ou plusieurs électrons. En outre, la durée de vie d'un

exciton  $\tau_{ex}$  est de quelques nanosecondes. Faute de dissociation, l'électron rejoint le niveau HOMO en cédant son énergie de manière radiative (photoluminescence) ou non-radiative (chaleur) [19].

### I.2.1.2. Diffusion des excitons :

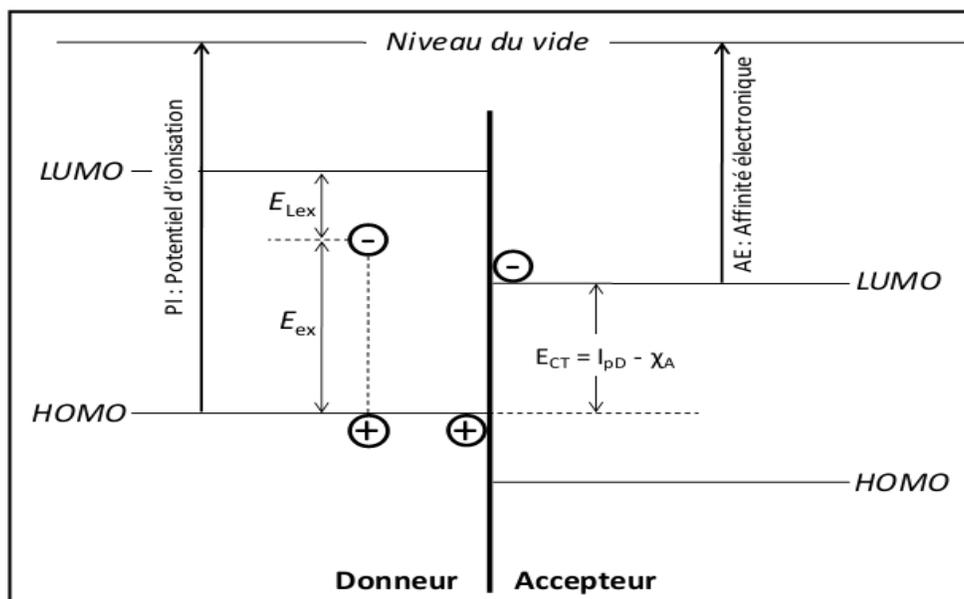
Les excitons ont une durée de vie  $\tau$  très courte, de l'ordre de la nanoseconde. Si rien ne se produit pendant ce temps  $\tau$ , l'électron et le trou se recombinent et l'énergie de l'exciton se transforme en un nouveau photon ou en chaleur. Il faut donc dissocier les charges liées avant leur recombinaison. Les excitons ne sont pas localisés sur une molécule. Pendant leur durée de vie, ils peuvent diffuser à travers le solide en transportant de l'énergie d'excitation sur une distance  $L_D$  plus ou moins grande selon le matériau considéré (Figure I.4:2) [51].

Si la valeur de  $L_D$  peut atteindre  $4\mu\text{m}$  dans certains matériaux inorganiques présentant des configurations particulières (des fils quantiques d'arséniure de gallium [19], elle est beaucoup plus courte dans les organiques avec une valeur de  $5,5\text{ nm}$  pour les poly thiophènes [20]. Pour que les excitons puissent atteindre un site de dissociation (la jonction donneur-accepteur), il faut qu'ils soient générés à une distance inférieure à  $L_D$  de cette interface [51].

### I.2.1.3 Dissociation des excitons :

Les conditions de dissociation peuvent être exprimées à partir du diagramme énergétique des matériaux mis en œuvre dans les cellules photovoltaïques. La Figure I.5 représente la jonction de type donneur-accepteur. La lumière est absorbée par les deux matériaux et des excitons sont créés des deux côtés de la jonction. Ceux qui apparaissent du côté donneur ont une énergie  $E_{ex}$  qui est inférieure à la différence entre l'énergie de la LUMO et celle de la HOMO d'une valeur égale à l'énergie de liaison  $E_{L_{ex}}$ . Après dissociation, l'électron passe dans l'accepteur tandis que le trou reste dans le donneur (Figure I.4:3). On obtient alors une paire de polarons : un polaron de charge positive dans le donneur et un polaron de charge négative dans l'accepteur. Puisqu'il n'y a pas d'apport d'énergie au moment du transfert, celui-ci ne peut s'effectuer que si l'énergie finale de la paire de polarons ECT est inférieure à l'énergie initiale de l'exciton  $E_{ex}$  [21]. Un raisonnement analogue montre que la même condition prévaut pour les excitons générés du côté accepteur de la jonction. Pour obtenir une dissociation des excitons efficace, il est donc

indispensable de contrôler les niveaux énergétiques des matériaux. L'ingénierie moléculaire, permet, dans certaines limites, de choisir ces valeurs par modification de la structure. [51]



**Figure I.5** : Conditions de dissociation de l'exciton ( $E_{ex} > PI - AE$ ) [21]

#### I.2.1.4 Transport des porteurs de charges :

Le transport des porteurs de charges jusqu'aux électrodes est assuré par le donneur d'électrons pour les trous et par l'accepteur d'électrons pour les électrons. Différencier ainsi les matrices de transports permet d'éviter les phénomènes de recombinaison. Dans le cas des diodes de type Schottky (Figure I.4:4), où un seul matériau sert de transporteur, ces phénomènes de recombinaison sont extrêmement importants et entraînent des performances médiocres. La mobilité des trous dans le matériau donneur d'électron et la mobilité des électrons dans le matériau accepteur d'électron doivent être les plus grandes possibles afin d'assurer le transport des porteurs de charge au mieux. Elles doivent également être proches afin d'assurer une bonne balance des charges. Une plus grande organisation moléculaire est souvent facteur de bonnes mobilités, mais les impuretés, en jouant le rôle de piège (centre de recombinaisons) peuvent aussi influencer sur ces valeurs de façon négative [22].

**I.2.1.5 Collecte des porteurs de charge :**

Le choix des électrodes chargées de collecter les porteurs de charges est primordial pour obtenir de bonnes performances photovoltaïques. En effet, les travaux de sortie de ces électrodes doivent permettre un contact ohmique pour l'électron sa l'interface accepteur/cathode et pour les trous à l'interface donneur/anode. [51]

Ces électrodes doivent de plus être bloquantes pour les porteurs de charges opposés à ceux qu'elles doivent collecter (électron pour l'anode et trou pour la cathode). [51]

La structure même des cellules photovoltaïques organiques impose qu'une des deux électrodes soit transparente pour pouvoir laisser passer la lumière jusqu'à la couche active [51].

Or les matériaux qui se prêtent le mieux à la collecte des charges sont les métaux : leur conductivité est élevée, ils sont faciles d'accès, facilement déposables par évaporation sous vide et donnent accès à toute une gamme de travaux de sortie. [51]

**a)-Collecte des électrons :**

L'Aluminium, l'argent ou encore le calcium ont des travaux de sortie faibles (4,28 ; 4,26 ; 2,87 eV respectivement) ce qui les désignent comme collecteurs d'électrons. Mais si les métaux sont les candidats tous désignés pour jouer le rôle de collecteurs de charges, ils présentent en outre l'inconvénient d'être opaques si l'on veut des conductivités suffisantes, rendant la réalisation d'électrodes transparentes efficaces très difficile à réaliser [51].

**b)-Collecte des trous :**

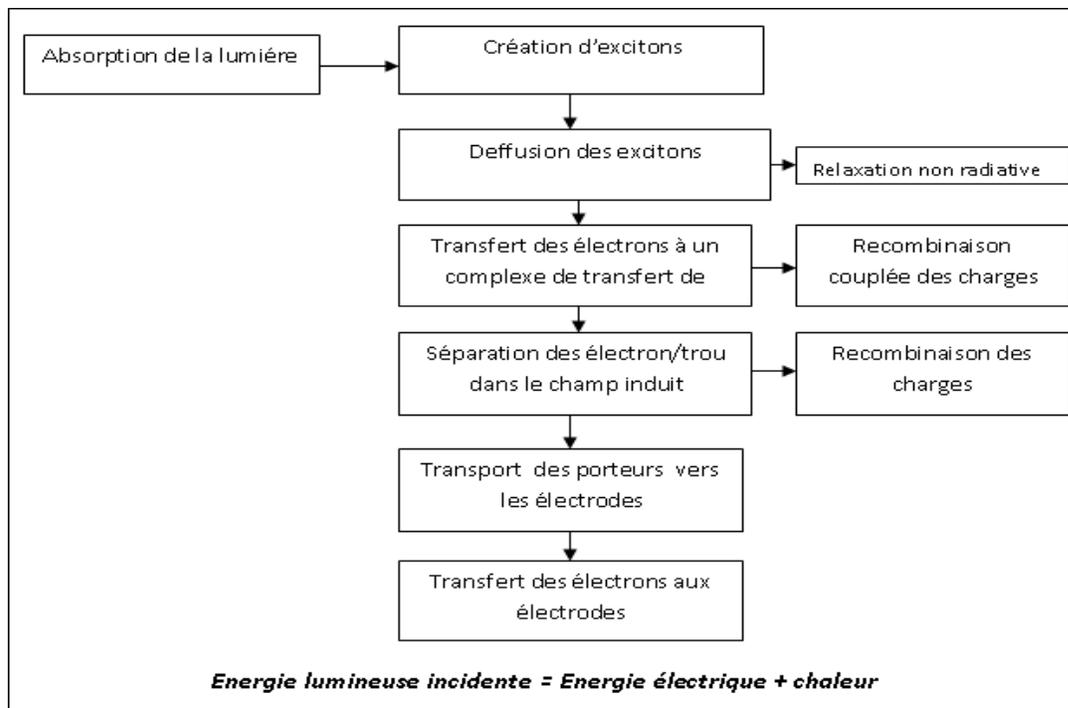
L'ITO (oxyde d'indium et d'étain) est un oxyde métallique qui, en plus de conduire le courant, offre la propriété d'être relativement transparente à partir de 350nm. Son travail de sortie (4,9eV) en fait, de plus, un excellent candidat pour collecter les trous [51].

Il est déposable par pulvérisation cathodique, et ce sur n'importe quel substrat, y compris souple. C'est le matériau le plus couramment utilisé pour collecter les trous dans le cas des cellules photovoltaïques organiques, ou pour les injecter dans le cas des diodes électroluminescentes organiques (OLED) [23]. Cependant l'ITO présente certains inconvénients. C'est un matériau cassant : utilisé dans les cellules organiques (réputées pour leurs possibles applications souples)

pour ses propriétés optiques et électriques avantageuses, il est ironiquement le facteur limitant la souplesse de ces cellules. Sa disponibilité est liée à celle du zinc : en effet la production d'indium dépend du minage de la sphalérite, elle même extraite de la terre, car minerai de zinc. Or la demande en indium ne cesse d'augmenter à cause de l'industrie des écrans plats [51].

D'autres oxydes métalliques comme les oxydes de zinc dopés à l'Aluminium sont en cours de développement et offrent des propriétés optiques et électriques similaires, mais en présentant l'avantage de ne plus utiliser d'indium. Les polymères conducteurs comme le poly (3,4-ethylenedioxythiophene) : poly (4-styrenesulfonate) plus communément appelé PEDOT: PSSou la polyaniline (PANI) offrent l'avantage de ne pas nécessiter de technologie du vide pour être déposés (on peut les déposer sous forme de solutions aqueuses ou en solvant organique), sont beaucoup moins chers mais moins conducteurs. On peut enf.in citer l'émergence d'électrode utilisant des nanotubes de carbone [24] qui offrent des performances prometteuses et de bas coûts de production, avec quelques incertitudes quant à leur sûreté sanitaire[51].

Ce diagramme de la Figure I.6. Servira de trame aux paragraphes suivants, consacrés à la présentation des différentes étapes prenant part à l'effet photovoltaïque.

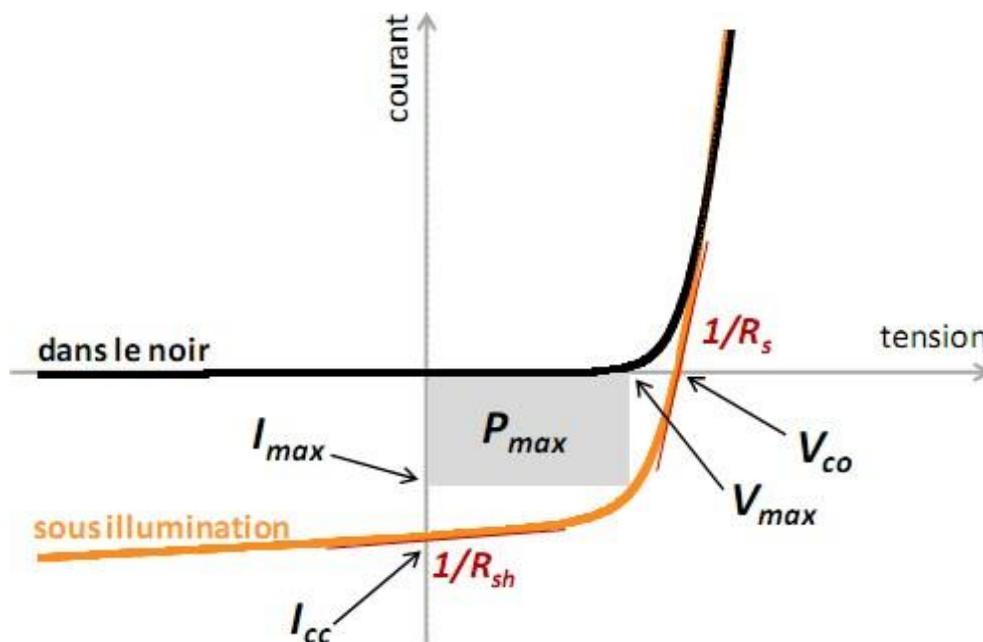


**Figure I.6 :** Principaux mécanismes mis en jeu lors de l'effet photovoltaïque [24]

### I.2.2. Caractéristique courant-tension et paramètres des cellules solaires organiques

#### Caractéristique courant-tension I(V) :

La Figure I.7 représente une caractéristique courant-tension I(V) dans le noir et sous illumination typique d'une cellule photovoltaïque à jonction PN. Le tracé de cette courbe permet d'accéder à bon nombre de paramètres physiques caractéristiques du composant. Les premiers paramètres qui apparaissent sur la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque sont le courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ), la tension à circuit ouvert ( $V_{co}$ ) et le facteur de forme (FF) du composant [51].



**Figure I.7:** Caractéristique courant-tension et paramètres physiques d'une cellule photovoltaïque [25].

#### I.2.2.1. Courant de court-circuit $I_{cc}$ :

Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule ( $V = 0$  dans le schéma équivalent). Il s'agit du courant le plus important que l'on puisse obtenir avec une cellule solaire. Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface solaire. Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement, de la mobilité des porteurs et de la température [25].

### I.2.2.2. Tension à circuit ouvert $V_{co}$ :

La tension à circuit ouvert est obtenue quand le courant qui traverse la cellule est nul. Dans le cas de cellules solaires organiques, la  $V_{co}$  est linéairement dépendante du niveau de la HOMO du matériau donneur et du niveau de la LUMO du matériau accepteur. De plus, les pertes de charges aux interfaces matériaux-électrodes peuvent également affecter la valeur de la  $V_{co}$  [21]. Enfin, cette valeur décroît avec la température et varie peu avec l'intensité lumineuse [25].

### I.2.2.3. Facteur de forme FF :

Le facteur de forme FF rend compte de la qualité de la forme des courbes  $I(V)$ . Il est déterminé par l'équation suivante :

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc}V_{co}} = \frac{I_{max}V_{max}}{I_{cc}V_{co}} \quad (I.2)$$

Où  $I_{max}$  et  $V_{max}$  représentent respectivement le courant et la tension du point de fonctionnement qui permet d'extraire le maximum de puissance ( $P_{max}$ ) de la cellule (Figure I.7). Plus la valeur de FF est grande, plus la caractéristique  $I(V)$  ressemble à celle d'une source idéale de courant  $I_{cc}$  tant que  $V < V_{co}$  et à une source idéale de tension pour  $I > I_{cc}$ . Dans le cas limite  $FF \rightarrow 1$ , la puissance extraite de la cellule est maximale [26].

### I.2.2.4. Rendement quantique externe EQE :

Le rendement quantique est le rapport entre le nombre d'électrons dans le circuit externe et le nombre de photons incidents. Lorsque les photons perdus par réflexion (à la fenêtre de la cellule) et les photons transmis (absorption incomplète) ne sont pas pris en compte, cette valeur s'appelle le rendement quantique interne, IQE (Internal Quantum Efficiency). Dans le cas contraire, ce paramètre s'appelle le rendement quantique externe, EQE (External Quantum Efficiency) et se définit comme suit :

$$\frac{J_{cc}(\lambda) * E_{ph}(\lambda)}{\varphi(\lambda) * e} = \frac{J_{cc}(\lambda) * hc}{\varphi(\lambda) * e\lambda} \quad (I.3)$$

Où  $J_{cc}$  est la densité de courant de court-circuit,  $\nu$  le flux lumineux incident,  $e$  la charge de l'électron et  $E_{ph}$  l'énergie du photon (avec  $E_{ph} = \frac{hc}{\lambda}$ ,  $h$  étant la constante de Planck,  $c$  la célérité de la lumière dans le vide et  $\lambda$  la longueur d'onde). Le rapport  $\frac{\varphi(\lambda)}{\varphi(\lambda)}$

est appelée «réponse spectrale » de la cellule, elle est notée  $SR(\lambda)$ . Elle représente la sensibilité de la cellule pour chaque longueur d'onde. On peut donc redéfinir le rendement quantique externe comme suit :

$$EQE = S(\lambda) \times hce\lambda \quad (\text{I.4})$$

Le rendement quantique dépend du coefficient d'absorption des matériaux utilisés, de l'énergie d'ionisation, et de l'efficacité de la collecte. Il est mesuré en fonction de la longueur d'onde émise par une source monochromatique. Le rendement de 100% dans le cas idéal correspond à la récolte par les électrodes d'une paire électron-trou par photon incident [51].

### I.2.2.5. Rendement de conversion en puissance :

$\eta$  Le rendement de conversion en puissance  $\eta$  des cellules photovoltaïques se définit comme le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente  $P_{in}$  [51].

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{FF \times I_{cc} \times V_{oc}}{P_{in}} \quad (\text{I.5})$$

### I.2.3. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque organique :

Si l'on considère le cas simple d'une cellule idéale à jonction donneur-accepteur soumise à un flux lumineux, celle-ci fonctionne comme un générateur de courant. Son schéma équivalent (Figure I.8) est représenté par une diode idéale montée en parallèle avec une source de courant [51].

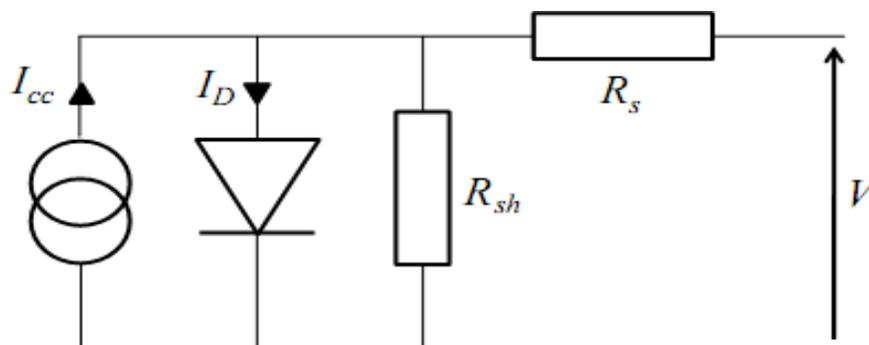


Figure I.8 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque organique [26]

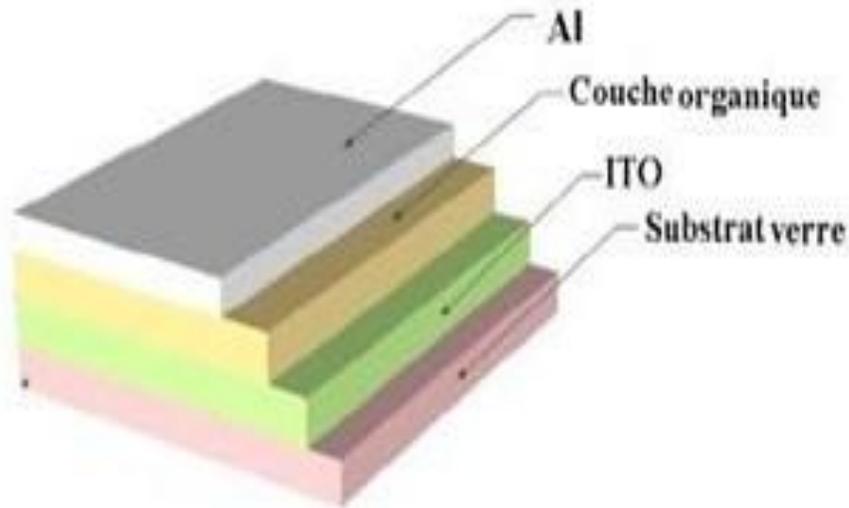
$R_S$  est une résistance série liée à la résistivité volumique et à l'impédance des électrodes et des matériaux. La pente de la courbe  $I(V)$  au point  $V_{oc}$  représente l'inverse de la résistance série ( $1/R_S$ ).  $R_{Sh}$  est une résistance shunt liée aux effets de bord et aux recombinaisons volumiques. La pente de la courbe  $I(V)$  au point  $I_{cc}$  représente l'inverse de la résistance shunt ( $1/R_{Sh}$ ). En général, la valeur de  $R_{Sh}$  est plus grande que celle de  $R_S$  d'au moins un ordre de grandeur. Pour minimiser les pertes, il faut diminuer  $R_S$  et augmenter  $R_{Sh}$ . Le cas idéal est représenté par  $R_{Sh}$  égale à l'infini et  $R_S$  égale à zéro [26].

#### **I.2.4. Différentes structures des cellules photovoltaïque organiques :**

##### **I.2.4.1. structure monocouche :**

Ce type des cellules à été décrit comme étant de type de Schottky, car une couche de matériau organique est prise en sandwich entre deux électrodes asymétriques, une seule présentant un contact ohmique et l'autre un contact redresseur Figure I.9 En générale, les cellules de type Schottky se présentent sous la forme de ITO/semi-conducteur[organique/métal][51]. La dissociation des porteurs photo-générés s'effectue à l'interface du semi-conducteur et de l'électrode métallique. Des travaux ont d'abord été menés sur le poly thiophène et ses dérivés [26], sans grand succès (rendements inférieurs à 0,001 %).

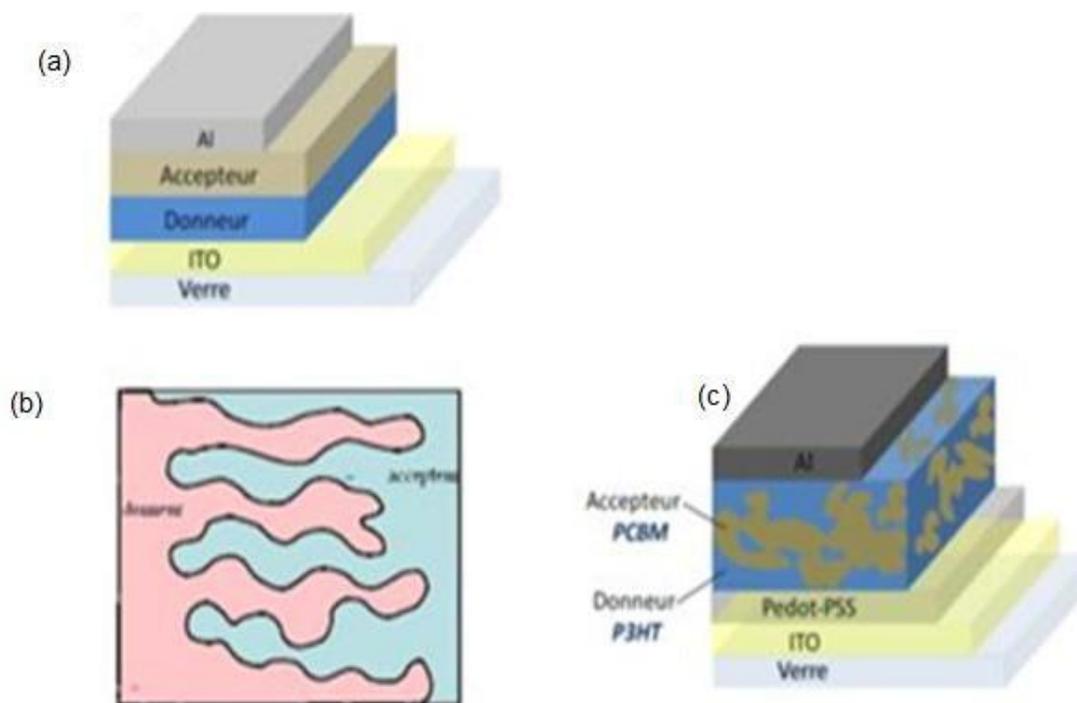
L'intérêt s'est ensuite orienté vers le poly (p-phenylènevinylène) [26], avec des structures ITO/PPV/Al présentant une tension de circuit ouvert de 1,3 V. Cependant, les performances de ce type de cellules restent très faibles. En effet, l'hétérogénéité de la distribution des dopants et leur accumulation à l'interface métal/polymère contribue à la décroissance du rendement De plus, le problème d'augmentation des résistances séries, causé par les faibles mobilités des porteurs, limite le courant de court-circuit et par la suite le rendement. Enfin, si l'exciton est créé près de l'interface ohmique, il doit traverser toute l'épaisseur du matériau pour atteindre le site de dissociation, or la longueur de diffusion exciton que est faible, de l'ordre de 5 à 20 nm [51].



**Figure I.9:**Structure monocouche [26]

#### I.2.4.2.structure bicouche :

Appelée aussi structure hétérojonction ou jonction PN, elle est composée de deux matériaux de natures différentes (donneur et accepteur d'électrons) mis en contact entre deux électrodes Figure I.10. Dans ce cas, la zone active pour la conversion photovoltaïque se trouve à l'interface entre le donneur et l'accepteur. Le champ électrique créé à cette interface est dû à la différence entre le potentiel d'ionisation du donneur et l'affinité électronique de l'accepteur. Il permet la dissociation des excitons qui atteignent ce site. Ainsi, les charges libres vont migrer séparément vers leurs électrodes respectives: les électrons par l'accepteur vers la cathode et les trous par le donneur vers l'anode. Les cellules en structure bicouche peuvent être séparées en deux groupes : les hétérojonctions planaires (Figure I.10. (a)) et les hétérojonctions en volume. Ces dernières peuvent s'arranger de deux manières différentes: elles peuvent former une jonction « inter digitée » (Figure I.10. (b)), ou une jonction « interpénétrée » (Figure I.10. (c))[51].



**Figure I.10.** Trois types d'hétérojonctions rencontrées dans les cellules solaires organiques [26]

Les hétérojonctions planaire D/A sont, quant à elles, principalement fabriquées par l'évaporation sous vide de matériaux moléculaires appelés aussi (petites molécules) comme le PTCDA, PTCBI, Mérocyanine Pour la Structure de type hétérojonction en volume, la couche active est constituée d'un mélange physique entre le donneur et l'accepteur d'électrons [51].

Ce type de cellules permet de multiplier les zones inter faciales entre le matériau donneur et le matériau accepteur et de réduire ainsi les problèmes de pertes par recombinaison des excitons générés loin de l'interface. Cette structure a été développée parallèlement par les équipes de A. Heeger et R. Friend, en 1995, [27], qui ont utilisé comme couche active un mélange de MEH-PPV comme donneur et du CN-PPV comme accepteur, avec un rendement énergétique de 0,9%. Par la suite, des études récentes sur le même système ont montré des rendements de conversion énergétique de 1,7 % après optimisation par recuit thermique [28]. En 2001 l'équipe de N. Sariciftci a utilisé le MDMO-PPV comme matériau donneur et le PCBM en matériau accepteur, qui a permis d'obtenir un rendement de 2,5%. En 2003 ce rendement atteint 3% après optimisation [29]. En 2007, et grâce à nouveaux polymères, le rendement atteint 7.9% [51].

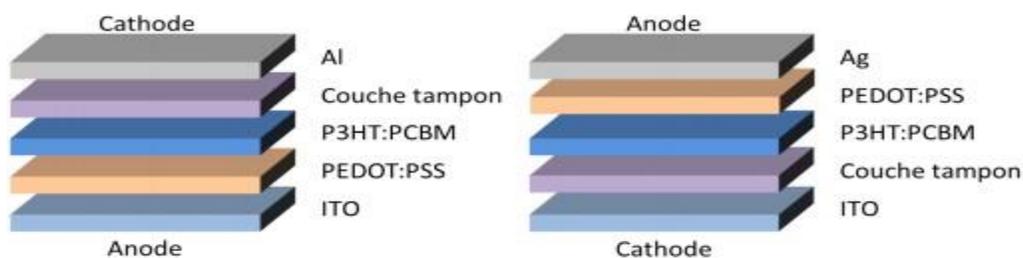
### I.2.4.3. structure p-i-n :

Un des problèmes associés aux cellules hétérojonctions (interpénétré) est qu'il est difficile de contrôler la façon dont le donneur et l'accepteur s'organisent. Une solution consiste à associer les avantages de la structure bicouche à l'hétérojonction volumique en jouant à la fois sur la dissociation des excitons et le transport des charges aux électrodes tout limitant les mécanismes de recombinaisons. Une solution consiste donc à utiliser les techniques développées dans le cadre des OLE DS et des semi-conducteurs inorganiques à savoir l'architecture PIN. Une zone active non dopée (I) est prise en sandwich entre deux zones dopées qui assurent un transport des charges vers les électrodes de façon sélective et avec très peu de pertes ohmiques dues aux fortes conductivités des zones P et N. Cette architecture est élaborée par différentes façons. La couche intrinsèque peut être définie par un mélange de matériaux donneur et accepteur d'électrons. À l'origine, ce type de structure a été réalisé par Hiramoto [48]. Il a co-sublimé un donneur et un accepteur. Ce mélange déposé est mis en sandwich entre une couche de type p et une et une couche de type n [51].

On peut également déposer la deuxième couche de polymère par spin-coating. Grâce à la solubilisation partielle de la première couche [29], il est ainsi possible d'obtenir une couche inter-faciale de mélange donneur/accepteur par inter-diffusion des deux matériaux [51].

### I.2.4.4. Structure inverse :

Les cellules photovoltaïques à architecture classique intégrant une couche active sous forme d'hétérojonction en volume (comme par exemple le P3HT:PCBM) sont composées par une succession de couches : substrat de verre (ou PET)/ ITO/ PEDOT:PSS/ P3HT:PCBM/ Al (Figure I.11) [51].



**Figure I.11** : Schéma d'une structure conventionnelle de cellule photovoltaïque (à gauche) et d'une structure inverse (à droite) [48]

Cependant, ce type d'architecture présente plusieurs inconvénients. Tout d'abord, la couche de PEDOT:PSS, qui permet le transport de trous, possède une acidité élevée et mène à la dégradation de l'interface avec l'ITO et donc à une perte de performances. Hains et al. ont utilisé d'autres couches tampons pour remplacer le PEDOT:PSS, mais ils n'ont pas réussi à maintenir un rendement élevé à cause d'une grande résistance ohmique de la couche active. D'autre part, le dépôt de la couche d'aluminium doit se faire sous un vide poussé ce qui augmente les prix de fabrication des dispositifs à grande échelle. C'est pour pallier ces inconvénients que les cellules photovoltaïques à structure inverse se sont développées. Contrairement à une structure classique, dans cette architecture, les polarités sont inversées. Les cellules sont illuminées par la cathode, qui est constituée d'un substrat recouvert d'une électrode transparente, d'où sont collectées et extraites les charges négatives. L'ITO reste le principal matériau utilisé pour la cathode dans la structure inverse et le PEDOT:PSS reste une couche tampon. L'électrode anodique est constituée par un métal opaque, tel que l'argent, l'or ou encore le cuivre dont le travail d'extraction est relativement important. Ces métaux présentent une stabilité à l'ambiante plus élevée que l'aluminium, ainsi la fabrication de cellules est moins complexe [51].

#### **I.2.4.5. structure des cellules tandem :**

Des améliorations peuvent encore être apportées en empilant les cellules les unes sur les autres. L'objectif étant d'absorber la plus grande partie du spectre solaire tout en limitant les pertes par thermalisation pour dépasser la limite de Shockley-Queisser. Ce concept, largement employé, a permis d'atteindre des rendements de plus de 40 % dans le domaine du photovoltaïque inorganique et 6,7 % pour les cellules solaires organiques. [26] Pour réaliser une cellule tandem, le plus simple consiste à empiler deux cellules réalisées sur deux substrats différents. Cependant, pour des raisons de coûts évidentes, cette solution n'est pas viable. Il faut donc envisager de réaliser ces cellules de façon monolithique [51]. La première structure «tandem» monolithique dans le domaine photovoltaïque organique a été développée par Hiramoto et al. en 1990. Il s'agit d'une structure qui consiste en empilement de deux cellules (sub-cellules) espacé par une couche métallique (Au). Chaque cellule est une bicouche jonction composée de 50 nm de H<sub>2</sub>Pc (Phthanocyanine) et 70 nm d'un dérivé de perylene tetracarboxylic (Me-PTC) figure I.12 [51].



Figure I.12 : structure d'une cellule tandem [50]

En 2007 le groupe de Kim, a obtenu, avec une structure composée d'une cellule P3HT : PCBM et d'une cellule PCPDTBT (low band gap): PCBM séparées par une couche de TiO<sub>x</sub>, une cellule présentant un rendement de conversion énergétique de 6,7 % sous un éclairnement de 20mW/cm<sup>2</sup>. Cette structure est présentée à la figure I.13.

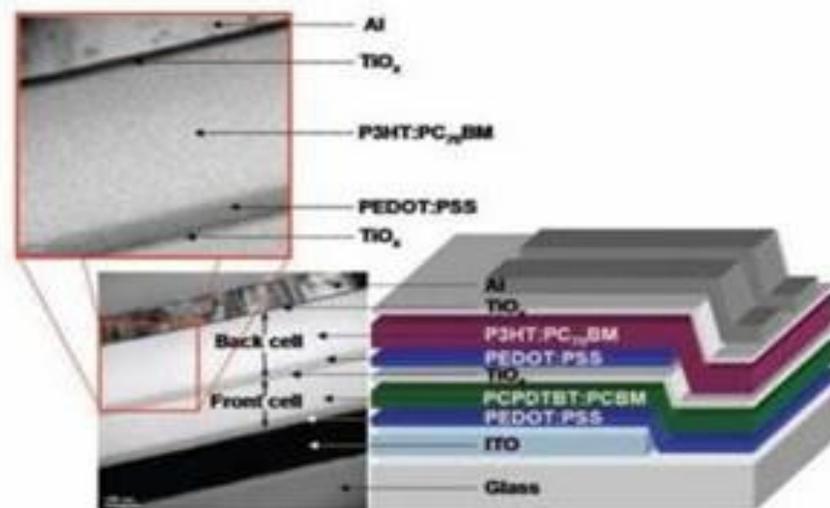


Figure I.13 : cellule photovoltaïque organique en architecture tandem [50]

**Conclusion :**

En résumé, dans ce premier chapitre, nous avons fait une étude générale sur les cellules solaires organiques à travers le principe de leur travail et les mécanismes conduisant à la production d'électricité en plus de développer un modèle mathématique pour trouver et calculer les propriétés et les réglages de ces cellules.

## **CHAPITRE 2**

Commande MPPT et les convertisseurs

DC/DC

### **II.1.1.Introduction :**

L'énergie électrique que produit d'un panneau photovoltaïque instable car la puissance varie directement et dépendant des conditions de travail d'un panneau tel que l'éclairement du soleil et la température ambiante donc il existe un seul point de puissance maximale (mpp).

La position (mpp) liée avec l'intensité d'éclairage du soleil et la température des panneaux photovoltaïque.

La technique de la commande mppt pour utilisant cherche et extraire le point de puissance max d'un générateur photovoltaïque non linéaire.

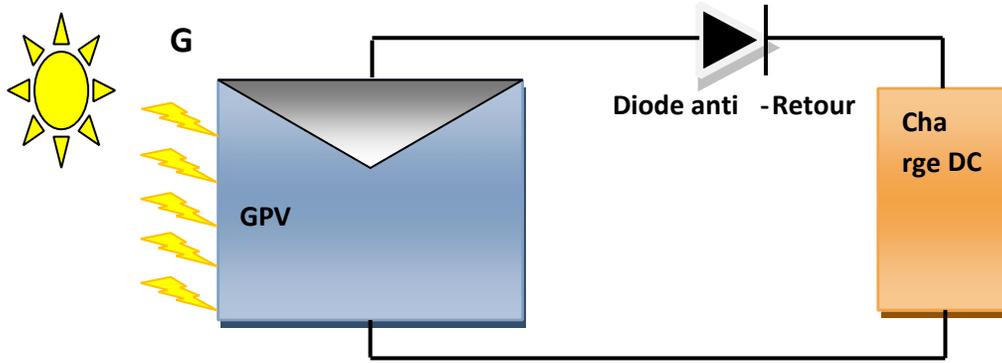
Le convertisseur DC/DC commande permettent de poursuivre le point de puissance maximale. Ces convertisseurs connus sous le nom de MPPT (maximum power point tracking). Assurent le couplage entre le générateur PV et le récepteur en forçant le premier à délivrer sa puissance maximale.

### **II .1.2.Méthode de poursuite du point de puissance maximal :**

Pour obtenir un meilleur rendement dans le fonctionnement des générateurs photovoltaïques, la technique appelée la poursuite de la puissance maximale (MPPT) qui consiste à transférer de façon optimale toute la puissance électrique à extraire de cette source de l'énergie photovoltaïque vers la charge à alimenter. Elle doit être utilisée dans toute application utilisant ces générateurs, et deviendra nécessaire et même indispensable selon la théorie du transfert optimal de puissance [30].

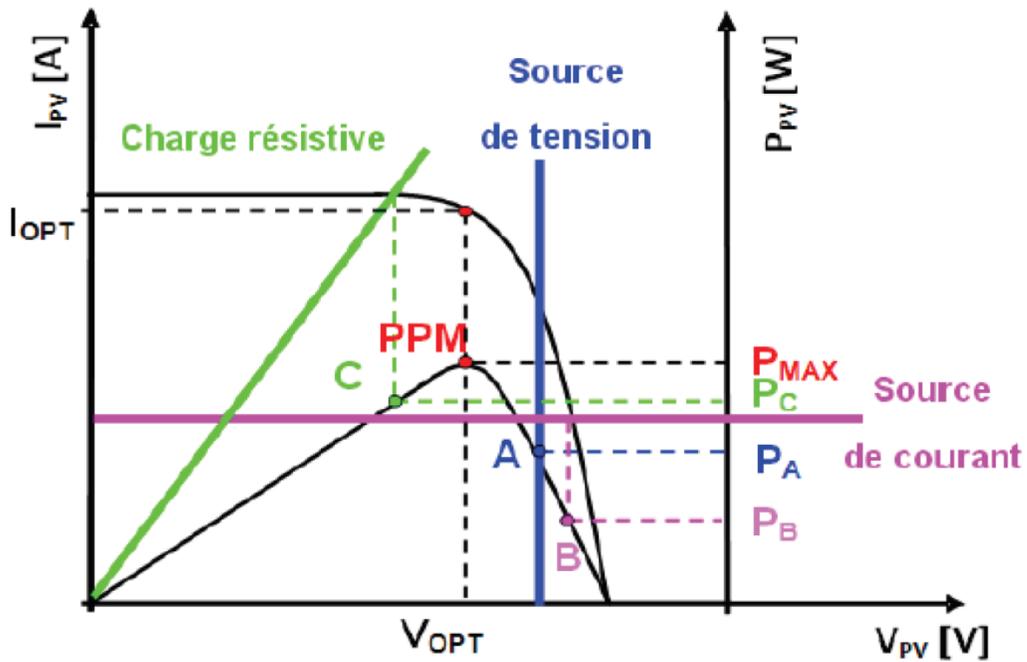
### **II.1.3.Connexion directe entre le GPV et la charge :**

La connexion directe du panneau solaire photovoltaïque à une charge reste actuellement le principe de fonctionnement le moins cher et le plus répandu. Son application peut se résumer à un champ photovoltaïque ayant une tension  $V$  fixée par la tension nominale de la charge à alimenter. Ce choix est principalement lié à la simplicité, la fiabilité et le faible coût de l'opération. La présence de la diode anti-retour est indispensable pour empêcher la circulation d'un courant négatif vers le module PV Fig. (II.1) [31].



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

L'inconvénient pour ce type d'utilisation, la puissance extraite d'un GPV connectée directement à une application est souvent très éloignée du maximum de puissance que peut délivrer le GPV.



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

Comme il est montré dans la figure II.2, un GPV peut être connecté directement à trois types de charges :

- Une charge de type source de tension continue,
- Une charge de type source de courant continue,
- Une charge purement résistive.

Il y a trois points de fonctionnement A, B, C respectifs qui peuvent être identifiés fournissant une puissance  $P_A$ ,  $P_B$  et  $P_C$ . Ces cas de figures montrent que le GPV est mal exploité et ne fournit pas la puissance maximale [32].

#### II.1.4. Fonctionnement optimal du générateur photovoltaïque :

La conception d'un système PV optimisé est par nature difficile. En effet, du côté source pour le générateur PV, la production de puissance varie fortement en fonction de l'éclairement de la température mais aussi du vieillissement global du système. Pour le côté charge, que ce soit de nature continue (DC) ou bien alternative (AC), comme pour le réseau électrique, chacun a son comportement propre qui peut être aléatoire. Pour que le générateur fonctionne le plus souvent possible dans son régime optimal, la solution communément adoptée est alors d'introduire un convertisseur statique qui jouera le rôle d'adaptateur source – charge [32].

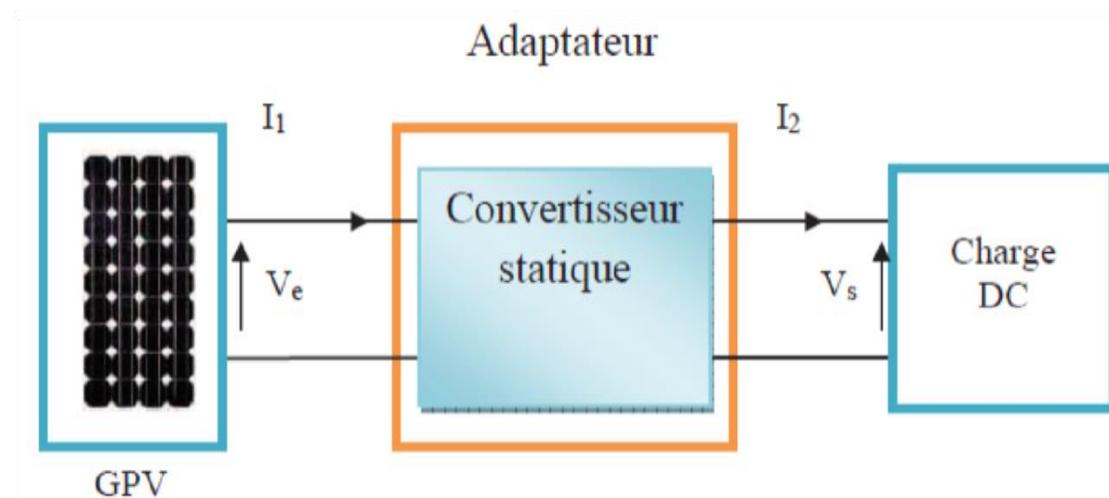
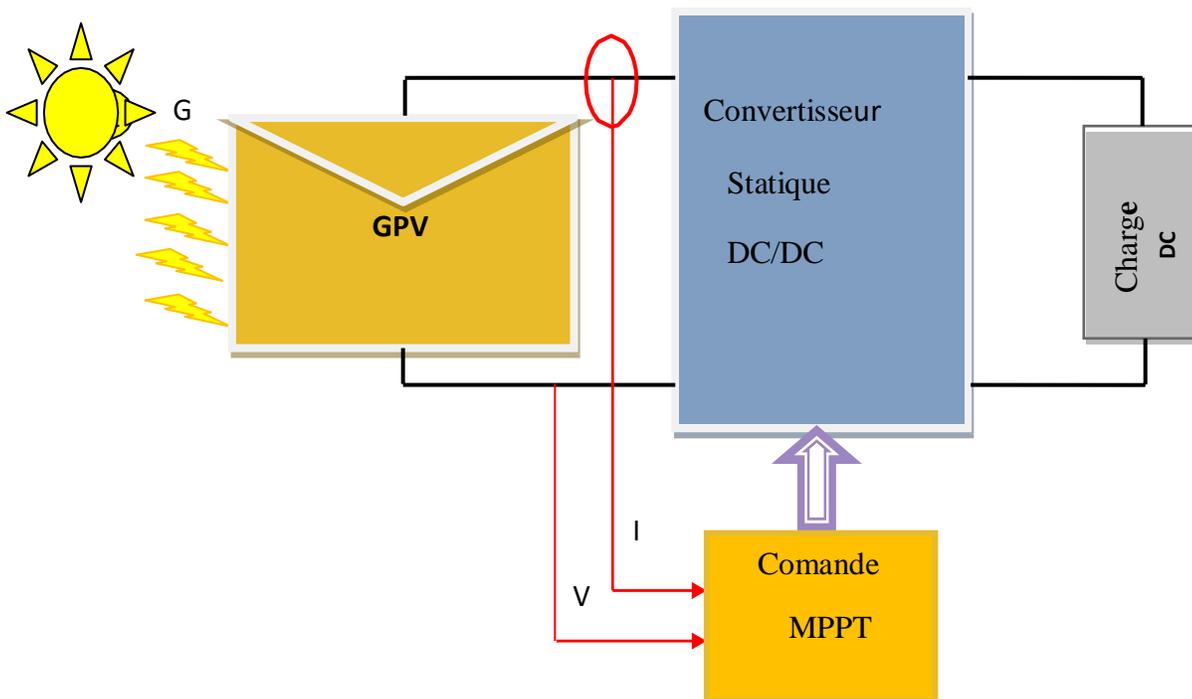


Figure II.3: Etage d'adaptation d'un GPV-charge

### II.1.5. Définition de l'MPPT d'un système solaire photovoltaïque

La technique MPPT est une commande associée à un étage d'adaptation permettant de faire fonctionner un générateur électrique non linéaire de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Les systèmes MPPT sont généralement associés avec le générateur photovoltaïque ou encore avec les générateurs éoliens. Un contrôleur MPPT permet alors de piloter le convertisseur statique reliant la charge et le panneau photovoltaïque, de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge [33].

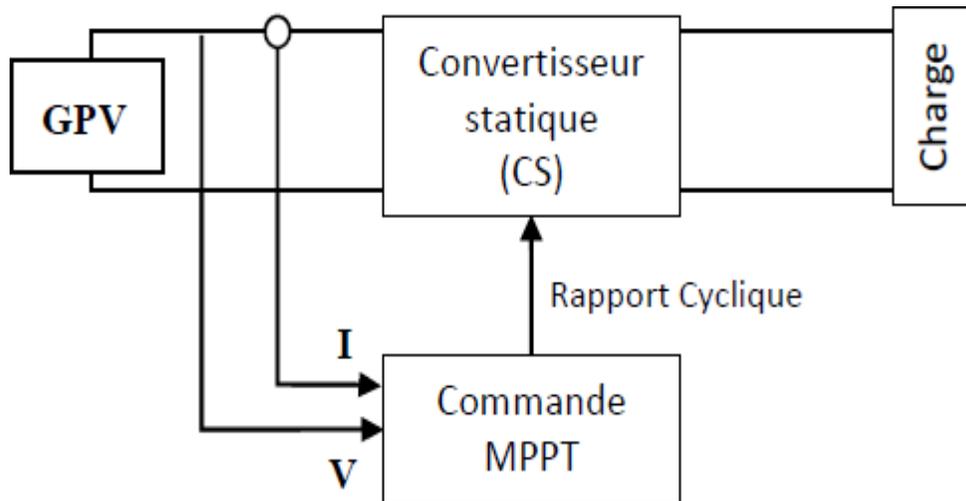
La Figure. (II.4) représente une chaîne de conversion photovoltaïque avec convertisseur statique contrôlé par une commande MPPT et une charge quelconque.



**Figure. II.4 :** Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque avec convertisseur Statique contrôlé par une commande MPPT sur charge quelconque [34].

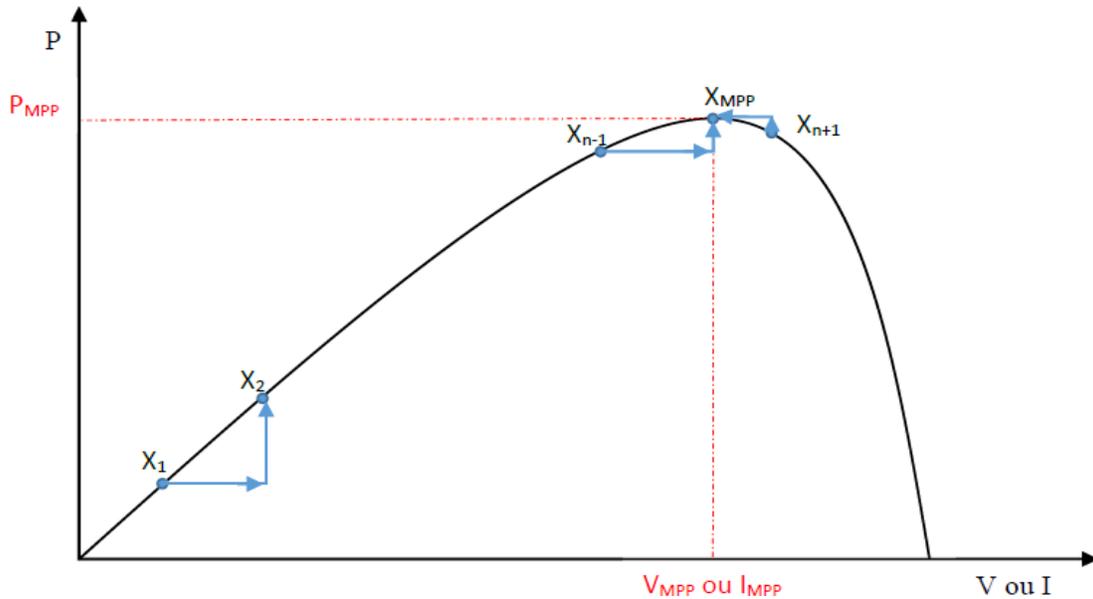
### II.1.6.Principe De La Commande MPPT :

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 [35]. Il peut être représenté par le schéma de la Figure II.5.



**Figure II.5 :** Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant un panneau photovoltaïque, un convertisseur BOOST, une commande MPPT et une charge.

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique (CS), à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le MPP. En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du CS en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le MPP figure II.5 [36].



**Figure II.6 :** Principe de la commande MPPT

### II.1.7. Classification Des Commandes MPPT :

Nous pouvons classer d'une manière générale les commandes MPPT selon le type d'implémentation électronique : analogique, numérique ou mixte. Il est cependant plus intéressant de les classer selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande MPPT [37].

#### II.1.7.1. Classification Des Commandes MPPT Selon Les Paramètres D'entrée :

##### A. Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS :

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

fait appel à des systèmes à mémoires informatiques importantes ayant stocké tous les cas possibles, soit les commandes sont encore une fois de plus approximatives. Toutes ces commandes ont comme avantages leurs précisions et leur rapidité de réaction [37].

### **B. Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur :**

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

Dans tous les systèmes utilisant les paramètres de sortie, une approximation de  $P_{\max}$  est faite à travers le rendement du convertisseur. En somme, plus l'étage de conversion est bon, plus cette approximation est valable. Par contre, en général, tous les systèmes avec un seul capteur sont par essence, non précis. La plupart de ces systèmes ont été conçus à l'origine pour le spatial [37].

### **II.1.7.2. Classification Des Commandes MPPT Selon Le Type De Recherche :**

#### **A. MPPT Indirect :**

Ce type de commandes MPPT utilise le lien existant entre les variables mesurées ( $I_{sc}$  ou  $V_{oc}$ ), qui peuvent être facilement déterminées, et la position approximative du MPP. Il compte aussi les commandes se basant sur une estimation du point de fonctionnement du GPV réalisée à partir d'un modèle paramétrique défini au préalable. Il existe aussi des commandes qui établissent une poursuite de la tension optimale en prenant en compte uniquement les variations de la température des cellules donnée par un capteur. Ces commandes ont l'avantage d'être simples à réaliser. Elles sont plutôt destinées à des systèmes peu coûteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où il y a peu de changements climatiques [38-39].

#### **B. MPPT Direct :**

Ce type de commande MPPT détermine le point de fonctionnement optimal (MPP) à partir des courants, tensions ou puissances mesurés dans le système. Il peut donc réagir à des changements imprévisibles du fonctionnement du GPV. Généralement, ces

procédures sont basées sur un algorithme de recherche, avec lequel le maximum de la courbe de puissance est déterminé sans interruption du fonctionnement. Pour cela, la tension du point de fonctionnement est incrémentée dans des intervalles réguliers. Si la puissance de sortie est plus grande, alors la direction de recherche est maintenue pour l'étape suivante, si non elle sera inversée. Le point de fonctionnement réel oscille alors autour du MPP. Ce principe de base peut être préservé par d'autres algorithmes contre des erreurs d'interprétation. Ces erreurs peuvent survenir, par exemple, à cause d'une mauvaise direction de recherche, résultant d'une hausse de puissance qui est due à une augmentation rapide du niveau de rayonnement. La détermination de la valeur de la puissance du générateur PV, indispensable pour la recherche du MPP, nécessite la mesure de la tension et du courant du générateur, ainsi que la multiplication de ces deux variables. D'autres algorithmes se basent sur l'introduction de variations sinusoïdales en petit signal sur la fréquence de découpage du convertisseur pour comparer la composante alternative et la composante continue de la tension du GPV et pour ainsi placer le point de fonctionnement du GPV le plus près possible du MPP. L'avantage de ce type de commandes est leurs précisions et leur rapidité de réaction. [38-39]

### **II.1.8.Synthèse des différentes MPPT rencontrées dans la littérature :**

Diverses publications sur le fonctionnement des commandes de type MPPT apparaissent régulièrement dans la littérature depuis 1968, date de publication de la première loi de commande de ce genre, adaptée à une source d'énergie renouvelable de type photovoltaïque. Etant donné le grand nombre de publications dans ce domaine, nous avons fait une classification des différentes techniques MPPT existantes en les regroupant selon leur principe de base.

La classification, en plus du principe, s'est effectuée selon des critères comme la précision de la recherche ou sa rapidité pour en faire une évaluation comparative [34].

#### **II.1.8.1.Premiers types de commande MPPT :**

BOEHRINGER a appliqué la première commande MPPT au PV en 1968 [40]. C'est un algorithme simple pouvant être implanté numériquement (**Figure II.7**). Il est destiné aux applications spatiales qui avaient beaucoup moins de contraintes en variation

de température et d'éclairement que les applications terrestres.

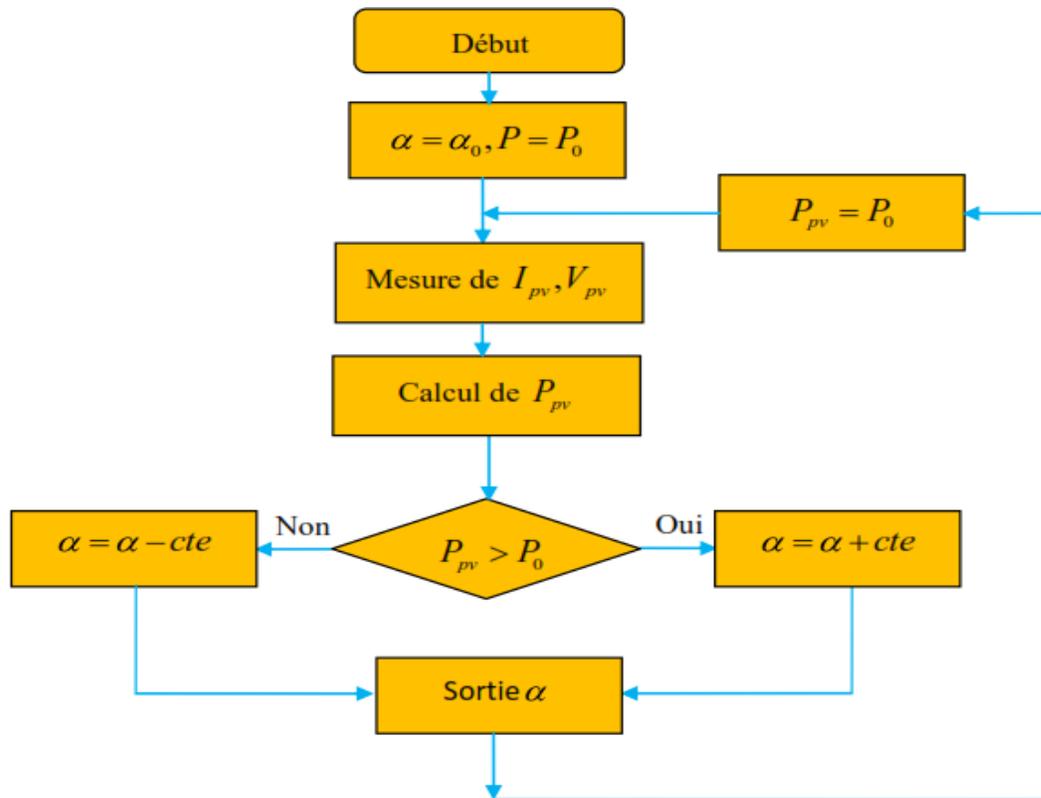


Figure II.7. Organigramme de la première commande MPPT

### II.1.8.2.Méthode basée sur la mesure de la tension en circuit ouvert :

Cette méthode se base sur l'utilisation d'une cellule PV comme consigne étalon. Cette cellule étalon, non chargée, placée à côté des modules PV, mesure en temps réel la valeur de la tension en circuit ouvert qui permettra de déterminer la tension de référence.

Pour déterminer le point de fonctionnement correspondant au point de puissance maximale en fonction de la tension  $V_o$ , on trace le graphe  $V_{opt} = f(V_{oc})$ . Cette fonction obtenue n'est pas linéaire. Pour faciliter le calcul, on doit la rendre linéaire. Ce qui donne [41]:

$$V_{opt} = 0.7V_{oc} + 0.328 \quad (\text{II.1})$$

Avec  $opt$  la tension PV correspondant au PPM

Malgré que le point de fonctionnement soit proche de la puissance maximale, quelques reproches à cette méthode sont soulevés:

- Dépendance totale de la cellule étalon qui peut subir des modifications et des Anomalies ;
- Non prise en compte des dérives de caractéristiques des modules photovoltaïques ;
- La tension  $V_{opt}$  représente 75 à 95% de la  $V_O$  , donc la linéarisation réduit la précision

### II.1.8.3. Algorithme de perturbation et observation P&O :

La méthode P&O fonctionne en perturbant périodiquement la tension du panneau  $V_{PV}$ , avec une faible amplitude autour de sa valeur initiale ( $\Delta V$ ), et on observe la variation de la puissance  $P_{PV}$  qui en résulte [31]...

Ainsi, on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension  $V_{PV}$  engendre un accroissement de la puissance  $P_{PV}$  c'est-à-dire  $\Delta P > 0$ , comme illustré dans la Figure(II.8), la perturbation de la tension déplace le point de fonctionnement vers un point plus proche du MPP, et on continue à perturber la tension dans la même direction. Ceci va déplacer le point de fonctionnement jusqu'à atteindre le MPP [31]..

Si au contraire, la puissance décroît,  $\Delta P < 0$ , le point de fonctionnement s'éloigne du MPP. Alors, on doit perturber la tension avec un signe algébrique contraire au signe précédent pour déplacer le point de fonctionnement jusqu'à atteindre le MPP [31].

A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique ( $V_{PV}$ ), il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié [31].

En résumé, si suite à une perturbation de tension, la puissance PV augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour reprendre la convergence vers le nouveau MPP [33].

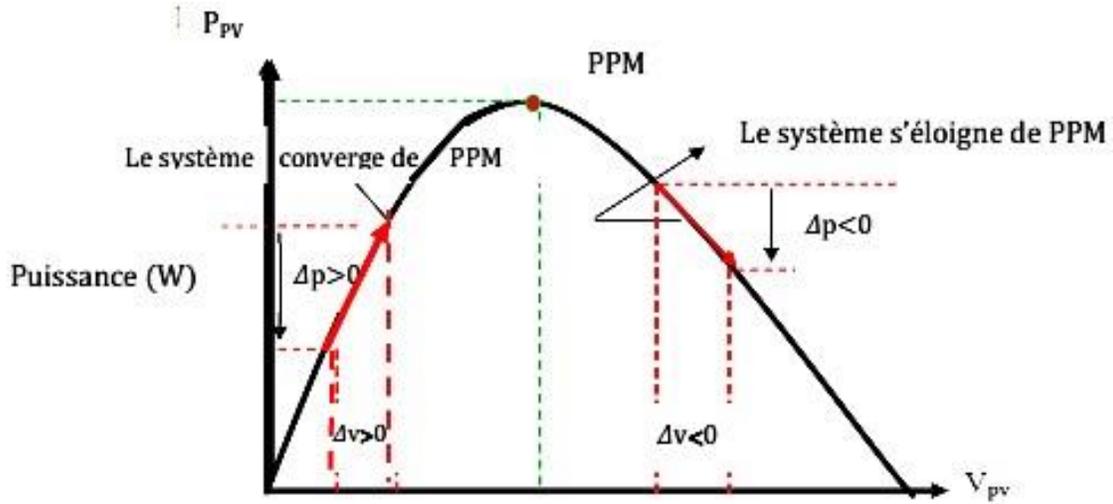


Figure. II.8 : Application de l’algorithme P&O sur la caractéristiques  $P_{pv}(V_{pv})$  [33].

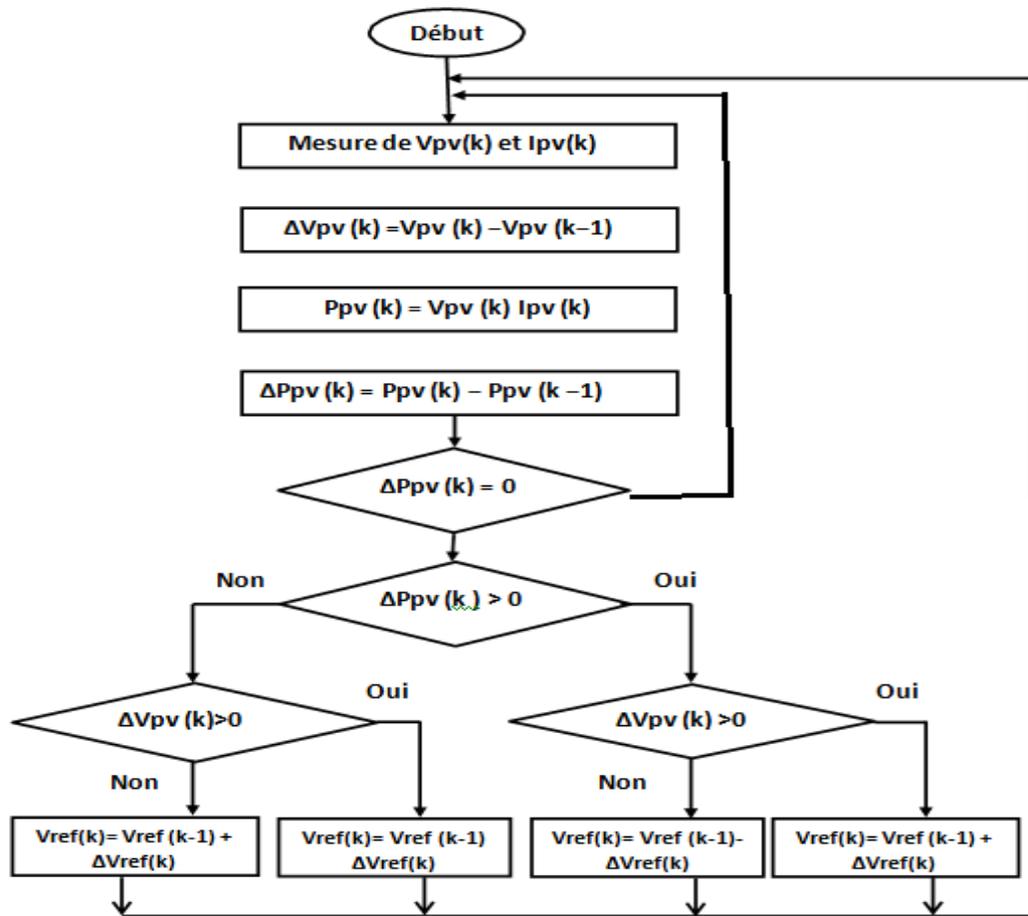


Figure. II.9 : Organigramme de l’algorithme P&O [33].

#### II.1.8.4. Algorithme de “Incrément de Conductance (IncCond) :

C'est une méthode basée sur la dérivée de la puissance de sortie du GPV par rapport à la tension  $V_{PV}$  du GPV qui doit être égale à 0 au point de puissance maximale (MPP) [34,33].

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (\text{II.1.2})$$

Au PPM ces deux membres doivent être égaux. Si le point de fonctionnement n'est pas sur le PPM, alors une inégalité apparaît dans l'équation (II.1.2). Ceci indique que la tension de fonctionnement est au dessus ou au dessous de la tension optimale comme montré dans la Figure.(II.10). Cette situation nous conduit aux équations suivantes [31].

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} > 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \text{ \AA gauche du PPM} \quad \left. \vphantom{\frac{dP}{dV}} \right\}$$

(II.1.3)

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} < 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V} \text{ \AA droite du PPM}$$

- Si  $\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V}$ , le point de fonctionnement est à gauche de MPP, donc il faut augmenter la tension pour atteindre le MPP.
- Si  $\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V}$ , le point de fonctionnement est à droite de MPP, donc il faut diminuer la tension pour atteindre le MPP.
- Si  $\Delta V = 0$  et  $\Delta I = 0$  on a les conditions atmosphériques qui n'ont pas changées et le MPPT fonctionne toujours au MPP.
- Si  $\Delta V = 0$  et  $\Delta I > 0$ , alors c'est l'ensoleillement qui a augmenté, ceci exige au INC-MPPT d'augmenter la tension de fonctionnement pour retrouver le MPP.
- Si  $\Delta V = 0$  et  $\Delta I < 0$  c'est l'ensoleillement qui a diminué, ceci exige au INC-MPPT de diminuer la tension de fonctionnement pour retrouver le PPM.

Le maximum de puissance peut être alors traqué en effectuant des comparaisons à chaque instant de la valeur de la conductance ( $I_{PV}/V_{PV}$ ) avec celle de l'incrément de conductance ( $\Delta I_{PV}/\Delta V_{PV}$ ).

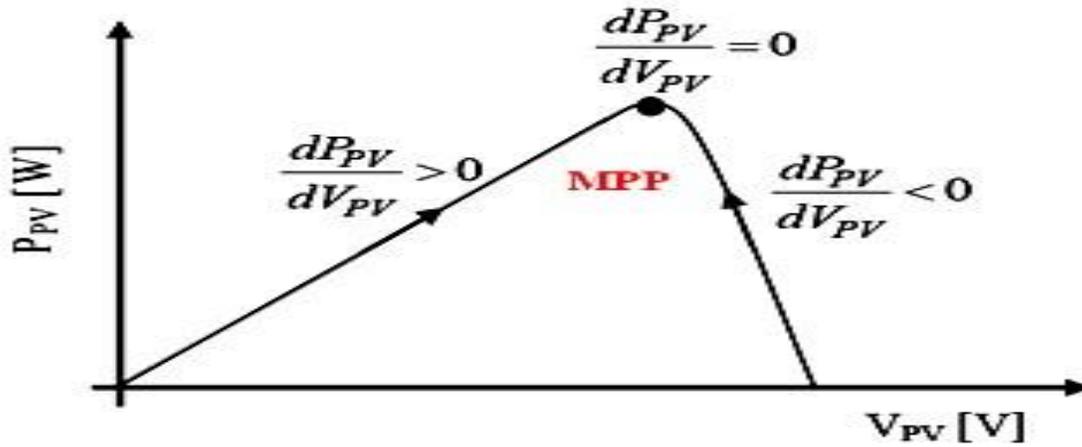


Figure. II.10 : Méthode IncCond pour poursuivre le MPP [33].

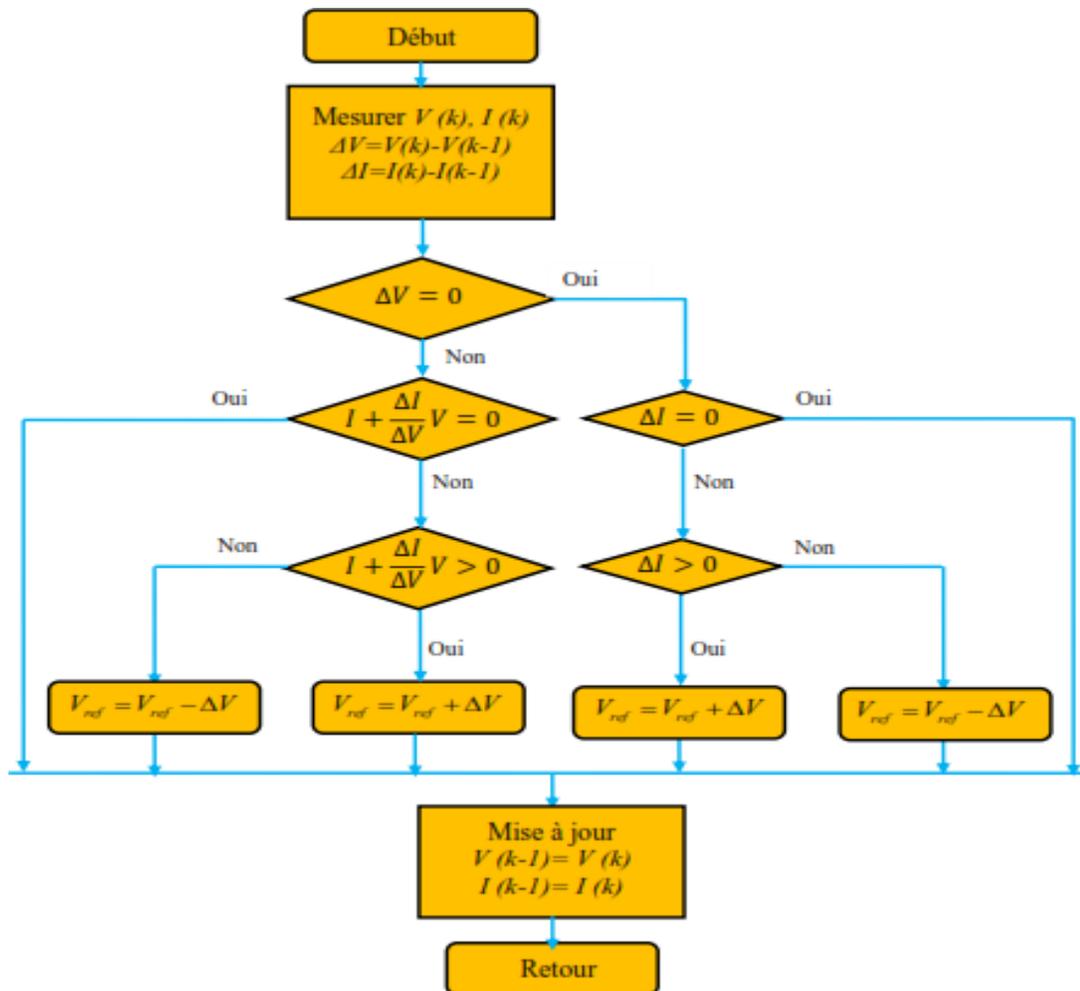


Figure. II.11. Organigramme de la méthode IncCond

### II.1.8.5. Algorithme “Escalade de la Colline (Hill Climbing) :

La technique de contrôle nommée Escalade de la Colline ou *Hill Climbing* consiste à faire monter le point de fonctionnement le long de la caractéristique du générateur présentant un maximum [31]...

Pour cela, deux pentes sont possibles. La recherche s’arrête théoriquement quand le point de puissance maximale est atteint. Cette méthode est basée sur la relation entre la puissance du panneau et la valeur du rapport cyclique  $D$  appliqué au convertisseur statique. Mathématiquement, le MPP est atteint lorsque  $dP_{PV}/dD$  est forcée à zéro par la commande, comme la montre la Figure. (II.12) [31]...

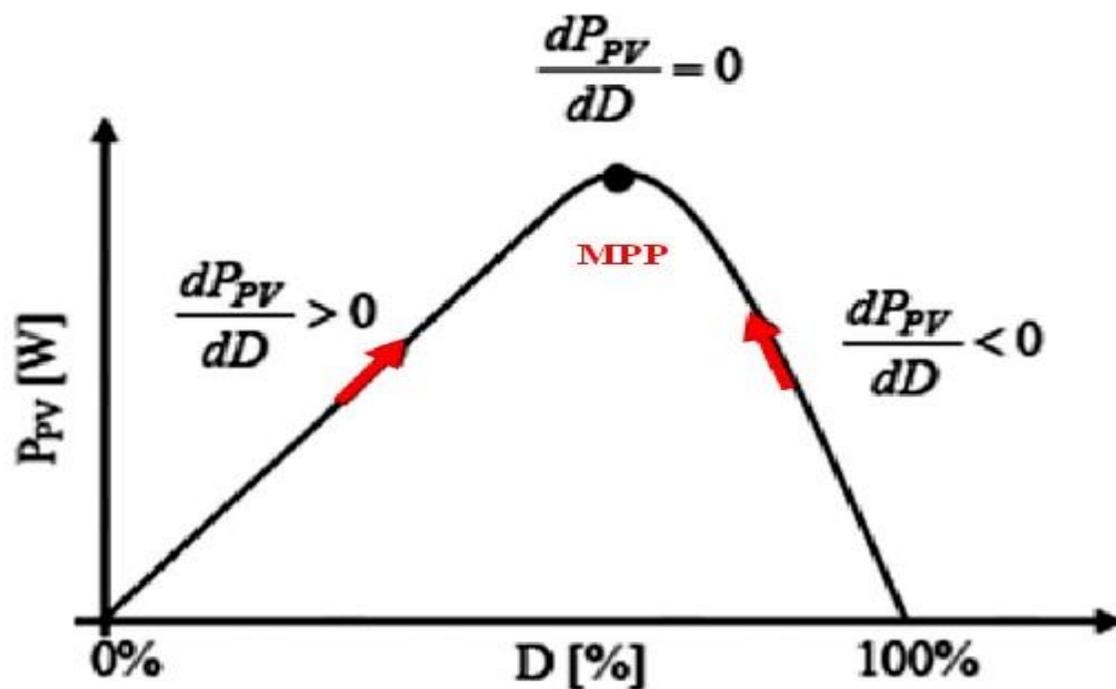
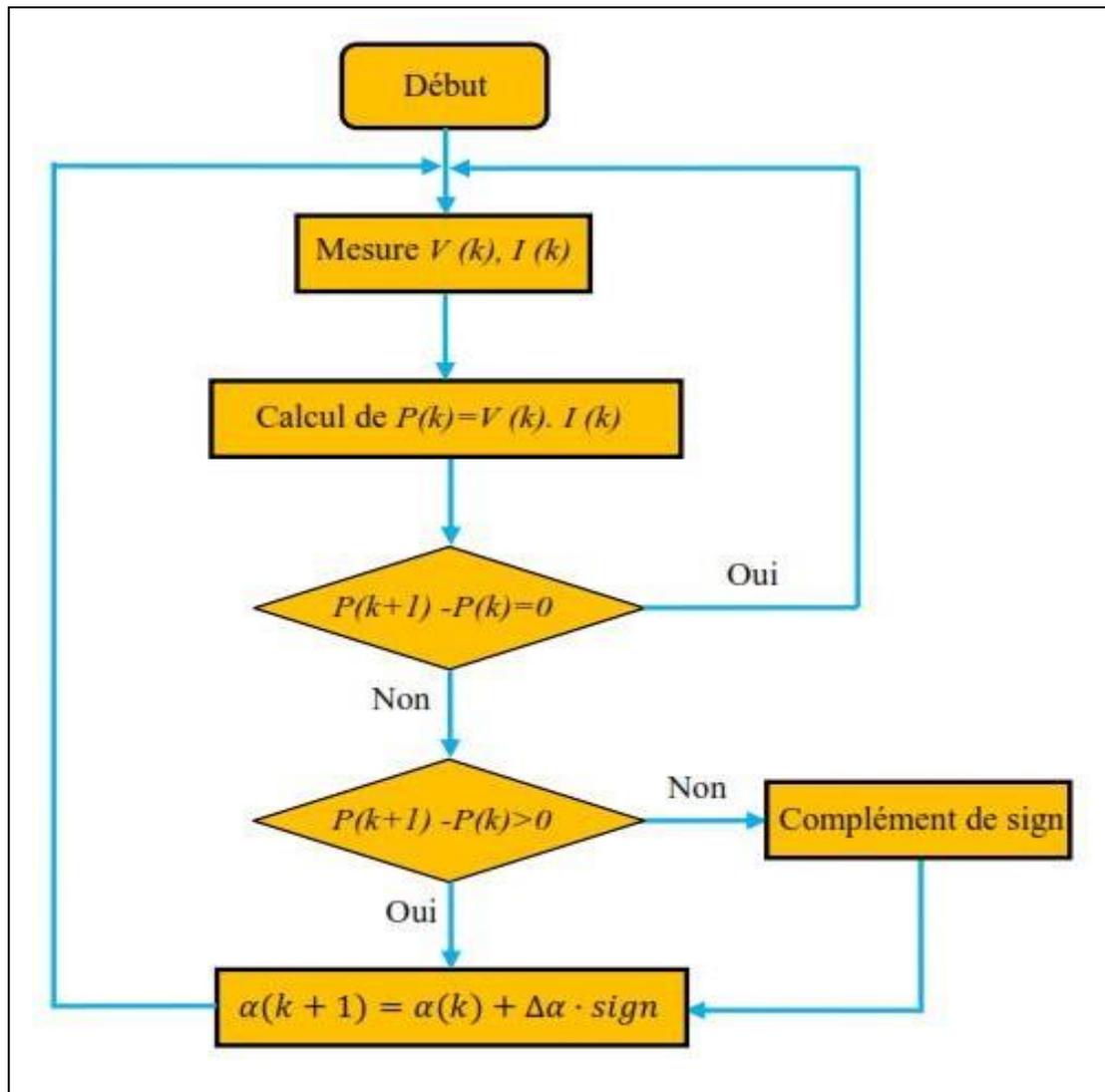


Figure. II.12 : Relation entre  $P_{PV}$  et le rapport cyclique  $D$  du convertisseur statique [33].



**Figure. II.13.** Algorithme de la méthode HC

### II.1.9. Choix de l'algorithme MPPT :

Le Tableau (II.1) montre la comparaison entre les différentes techniques MPPT dont nous avons rappelé les principes ci-dessus [31]...

L'analyse de ces différentes méthodes de recherche montre que les performances d'une commande MPPT ne se résument pas à un seul paramètre  $\eta_{MPPT}$  qui est défini comme le rendement du MPPT [31]...

**Tableau II.1** Tableau comparatif entre les commandes MPPT [33]

<b>MPPT</b>	<b>Rendement <math>\eta_{MPPT}</math></b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>P&amp;O</b>	81.5%-96.5%	-Une structure simple. -Implémentation facile. - Peu de paramètres de mesure.	-Présente des oscillations autour du MPP. -Perte occasionnelle de la recherche du MPP lors du Changement rapide des conditions climatiques.
<b>IncCond</b>	89.9%-98.2%	- Il n'y a pas de pertes par rapport au MPP. -Ne présente pas de risques de divergence par rapport au MPP.	-Le temps d'exécution de l'algorithme est plus long car il est plus complexe.
<b>Hill Climbing</b>	95.5%-99.1%	-Simple à mettre en œuvre.	- Des oscillations autour du MPP en régime établi. -Perte occasionnelle de la recherche du MPP lors du changement rapide des conditions climatiques.

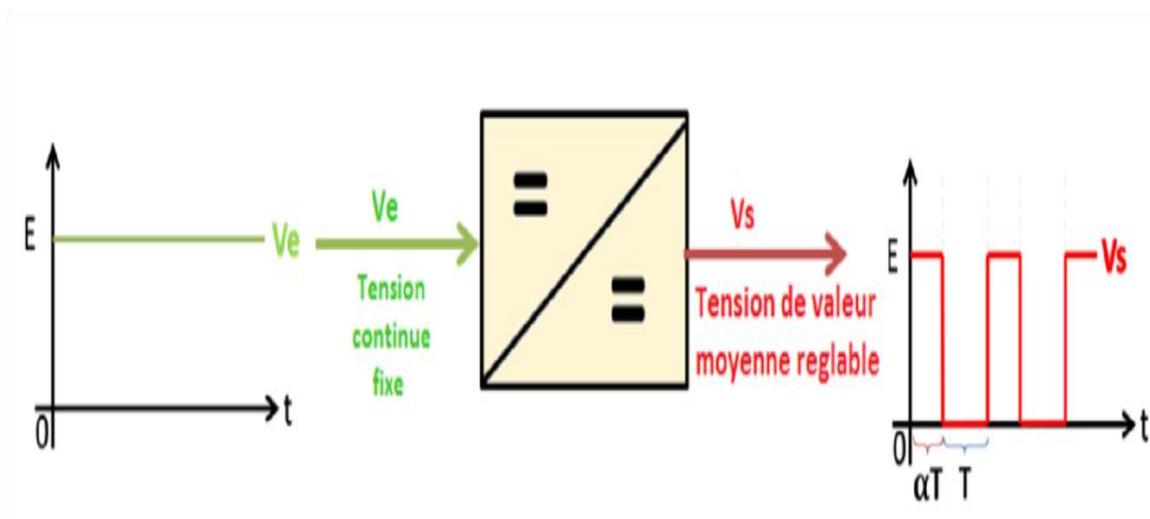
D'autres critères tels que le temps de réponse et son aptitude à fonctionner sur une large gamme de puissance, sont importants pour évaluer les qualités de ce type de commande. Les divers essais extraits de la littérature selon [33] montrent que ce type de commande peut être performant dans certaines conditions mais ne permettent pas de dire que tel mode de recherche est plus performant qu'un autre, en revanche, ils donnent une estimation d'un rendement qui peut être élevé.

Notre choix s'est porté vers l'algorithme P&O pour extraire la puissance maximale du

panneau BP-SX150S due à sa simplicité et à sa fiabilité par rapport aux autres méthodes Tableau (II.1).

## II.2. Convertisseur Continu-Continu (DC/DC) (Hacheur) :

Les hacheurs sont les convertisseurs statiques continu-continu permettant de générer une source de tension continue variable à partir d'une source de tension continue fixe. L'hacheur se compose de condensateurs, d'inductances et de commutateurs. Tous ces dispositifs dans le cas idéal ne consomment pas de puissance, c'est la raison pour laquelle les hacheurs ont de bons rendements. Généralement le commutateur est un transistor MOSFET qui est un dispositif semi-conducteur fonctionnant en mode bloqué ou saturé. [42].



**Figure II.14:** Tensions  $V_e$  et  $V_s$  dans le convertisseur DC/DC

### II.2.1. Convertisseur Boost :

#### II.2.1. 1. Définition :

Un convertisseur Boost, ou hacheur parallèle, est une alimentation à découpage permettant d'augmenter la tension fournie et diminuer ainsi, le nombre d'éléments nécessaires pour atteindre le niveau de tension désiré. Donc les systèmes de production de l'énergie emploient un convertisseur Boost pour augmenter la tension de sortie au niveau du service avant l'étage de l'onduleur [45].

### II.2.1. 2.Schéma du convertisseur Boost :

Le convertisseur survolteur est le plus populaire des convertisseurs pour les régulateurs de correction du facteur de puissance, il est caractérisé par le fait que de la tension de sortie est supérieure à la tension d'entrée [47].

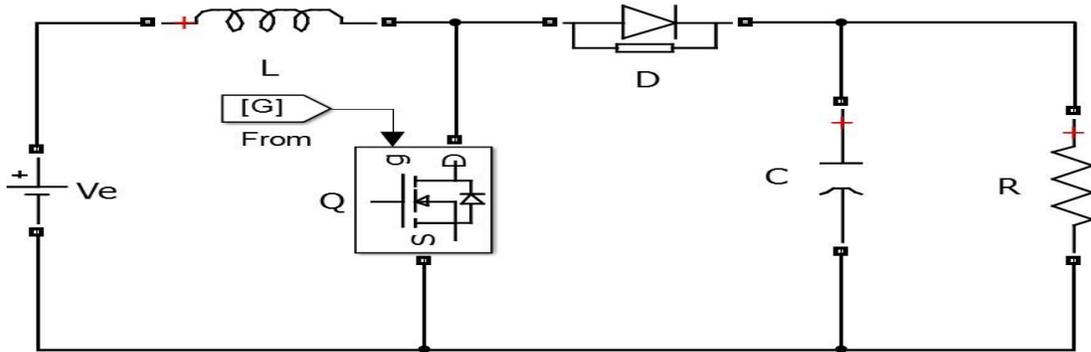


Figure II.15: Schéma de convertisseur Boost

### II.2.1. 3.Principe de fonctionnement :

#### II.2.1. 3.1.Le fonctionnement d'un convertisseur Boost peut être divisé en deux phases distinctes selon l'état de l'interrupteur Q :

**Mode continu :** (Une phase d'accumulation d'énergie) :

Lors de l'état passant (l'interrupteur  $Q$  est fermé ( $Q=1$ )), cela entraîne l'augmentation du courant dans l'inductance, donc le stockage d'une quantité d'énergie sous forme d'énergie magnétique. La diode  $D$  est alors bloquée et la charge est alors déconnectée de l'alimentation [47].

**Mode discontinu :** Lorsque l'interrupteur  $Q$  est ouvert, l'inductance se trouve alors en série avec le générateur et sa f.é.m. s'additionne à celle du générateur (effet survolteur). Le courant traversant l'inductance traverse ensuite la diode, le condensateur et la charge. Il en résulte un transfert de l'énergie accumulée dans l'inductance vers la capacité [45].

Alors, le fonctionnement du circuit peut se diviser en deux parties selon l'intervalle de commutation ( $T_{On}$ ,  $T_{Off}$ ) [47].

- **Pour  $T_{On}$  ( $Q$  fermé) :** À  $t = 0$ , quand le transistor  $Q$  est fermé, l'intervalle  $T_{On}$  commence.

Le courant d'entrée, qui s'élève, traverse l'inductance  $L$  et le transistor.

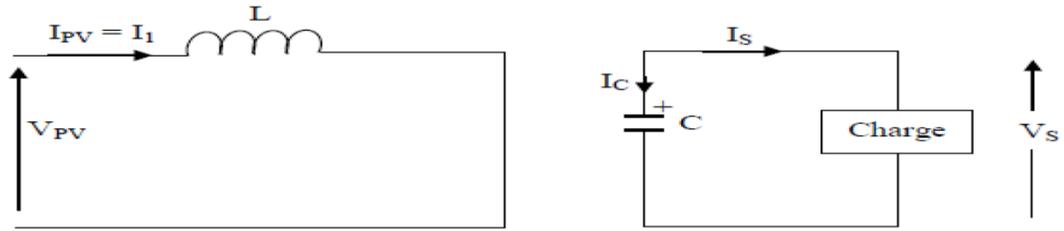


Figure II.16: Circuit équivalent pour TOn

**L'équation de la tension :** Durant l'état passant, l'interrupteur Q est fermé, entraînant l'augmentation du courant suivant la relation :

$$V_e = L \frac{di}{dt} \tag{II.2.1}$$

Avec :  $V_e = V_{pv}$

**L'équation du courant :** à la fin de l'état passant, le courant  $i_L$  a augmenté selon l'équation :

$$i_L = \int \frac{V_e}{L} dt \tag{II.2.2}$$

$$i_{1L} = \frac{\alpha V_e}{L} t \tag{II.2.3}$$

Où  $i_{1L}$  est le courant à l'instant initial. Pendant cet intervalle le courant traversant l'inductance augmente [47].

$\alpha$  étant le rapport cyclique. Il représente la durée de la période T pendant laquelle l'interrupteur Q conduit.  $\alpha$  est compris entre 0 (Q ne conduit jamais) et 1 (Q conduit tout le temps) [47].

- **Pour TOff (Q ouvert) :** l'intervalle TOff commence quand on ouvre le transistor Q à  $t = t1$ . Le courant de l'inductance diminue car l'énergie emmagasinée dans l'inductance L est transférée à la charge [47].

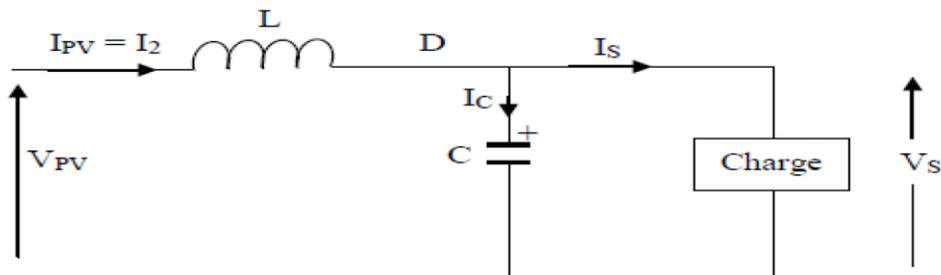


Figure II.17: Circuit équivalent pour TOff

**L'équation de la tension :** Pendant l'état bloqué, l'interrupteur Q est ouvert, le courant traversant l'inductance circule à travers la charge. On considère une chute de tension nulle aux bornes de la diode et un condensateur suffisamment grand pour garder sa tension constante [47].

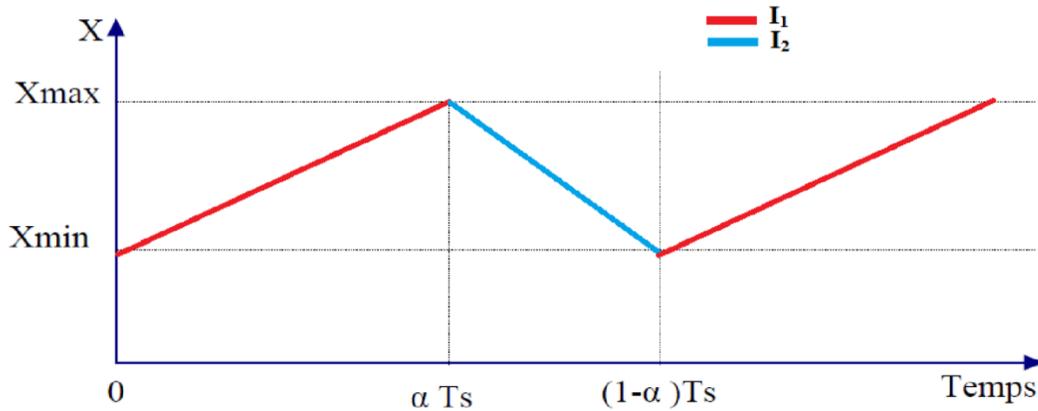
$$V_e - V_s = L \frac{di}{dt} \quad (\text{II.2.4})$$

**L'équation du courant :**

$$i_{2L} = \int \frac{V_e - V_s}{L} dt \quad (\text{II.2.5})$$

$$i_{2L} = \frac{(\alpha - 1)(V_e - V_s)}{L} t \quad (\text{II.2.6})$$

Les deux équations des courants  $i_{1L}$  et  $i_{2L}$  sont interprétées ci-dessous :



**Figure II.18:** Forme du courant  $i_1$  et  $i_2$

Si on considère que le convertisseur a atteint son régime permanent, la quantité d'énergie stockée dans chacun de ces composants est la même au début et à la fin d'un cycle de fonctionnement. En particulier, l'énergie stockée dans l'inductance est donnée par [47]:

$$E = \frac{1}{2} L i^2 \quad (\text{II.2.7})$$

En conséquence, la variation du courant traversant l'inductance est le même au début et à la fin de chaque cycle de commutation. Ce qui peut s'écrire de la façon suivante [47]:

$$i_{\text{On}} + i_{\text{Off}} = 0 \quad (\text{II.2.8})$$

En remplaçant  $i_{On}$  et  $i_{Off}$  par leurs expressions, on obtient :

$$\frac{\alpha V_e}{L} t + \frac{(1-\alpha)(V_e - V_s)}{L} t = 0 \quad (\text{II.2.9})$$

Ce qui peut se réécrire de la façon suivante :

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{(1-\alpha)} \quad (\text{II.2.10})$$

En mode de conduction continue, la période de commutation est  $T = T_{On} + T_{Off}$  et le rapport cyclique est :

$$\alpha = \frac{T_{On}}{T} \quad (\text{II.2.11})$$

On peut faire varier la tension de sortie du convertisseur en changeant la valeur du rapport cyclique  $\alpha$ . La tension de sortie est minimale quand  $\alpha=0$ . On ne peut pas avoir  $\alpha=1$  qui correspondrait à un Q toujours fermé ; pour  $\alpha$  proche de 1, la tension de sortie devient très grande et très sensible au changement du rapport cyclique  $\alpha$ . De plus l'influence des pertes dans le circuit limite la tension maximale de sortie du convertisseur [43].

Le gain en tension tend théoriquement vers l'infini pour un rapport cyclique unitaire si nous considérons le circuit sans pertes. Ainsi, en résumé nous pouvons exprimer la tension et courant de sortie en régime établi selon [47] :

$$V_s = \frac{V_e}{(1-\alpha)} \quad (\text{II.2.12})$$

$$I_s = (1 - \alpha)I_e \quad (\text{II.2.13})$$

Grâce à l'expression II.2.12, on peut voir que la tension de sortie est toujours supérieure à celle d'entrée (le rapport cyclique variant entre 0 et 1), et que théoriquement elle peut être infinie lorsque  $\alpha$  se rapproche de 1. C'est pour cela que l'on parle de survolteur [46].

Pour la fréquence de découpage  $f$ , on en déduit l'ondulation de courant dans l'inductance et l'ondulation de la tension de sortie [47] :

$$\Delta I_L = \frac{\alpha \times V_s}{L \times f} \quad (\text{II.2.14})$$

$$\Delta V_s = \frac{\alpha \times I_s}{C \times f} = \frac{\alpha \times V_e}{(1-\alpha) \times R \times C \times f} \quad (\text{II.2.15})$$

Le courant dans l'inductance est fonction de la puissance débitée par la source. On peut exprimer sa valeur moyenne en fonction du courant moyen dans la charge et du rapport cyclique [47] :

$$I_L = \frac{I_s}{(1-\alpha)} \tag{II.2.16}$$

Les contraintes sur l'interrupteur commandé et la diode sont les mêmes. En tension, on a :

$$V_{s.max}=|V_{d.max}| = \frac{V_e}{(1-\alpha)} + \frac{\Delta V_s}{2} \tag{II.2.17}$$

Et en courant :

$$I_{s.max}=|I_{d.max}| = \frac{I_e}{(1-\alpha)} + \frac{\Delta I_s}{2} \tag{II.2.18}$$

Les caractéristiques de tension et du courant du convertisseur Boost sont décrites par la figure suivante :

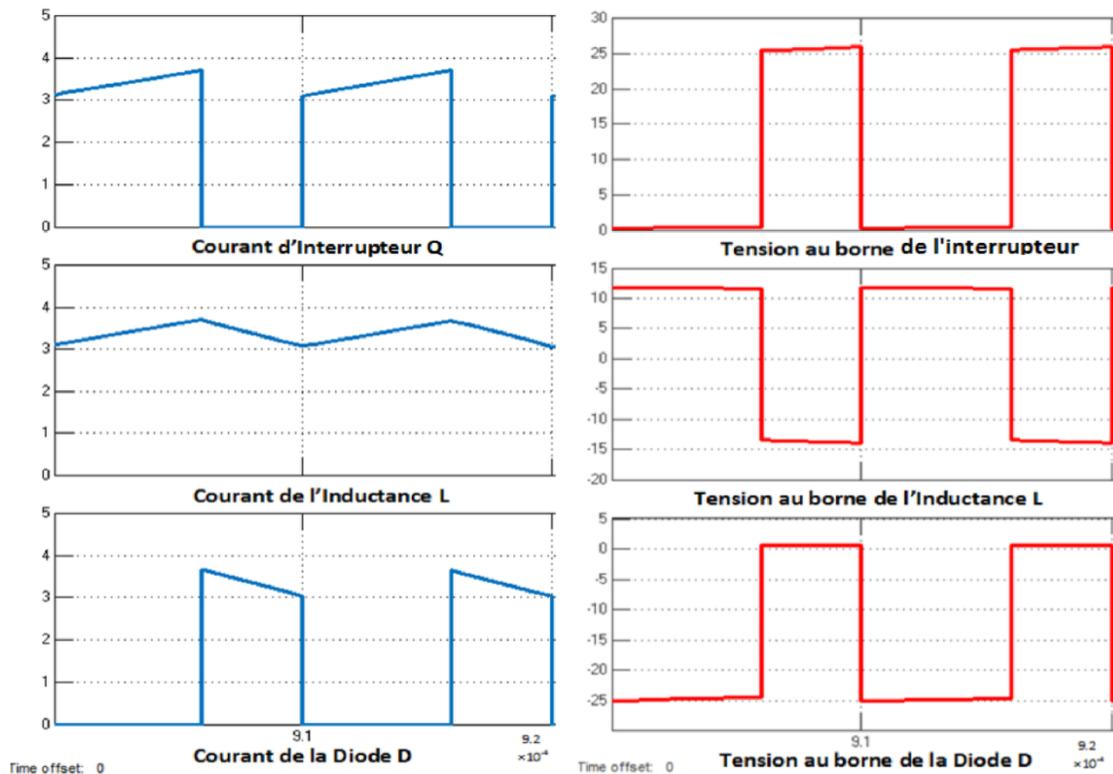


Figure II.19: Formes d'onde des courants et des tensions d'un convertisseur Boost

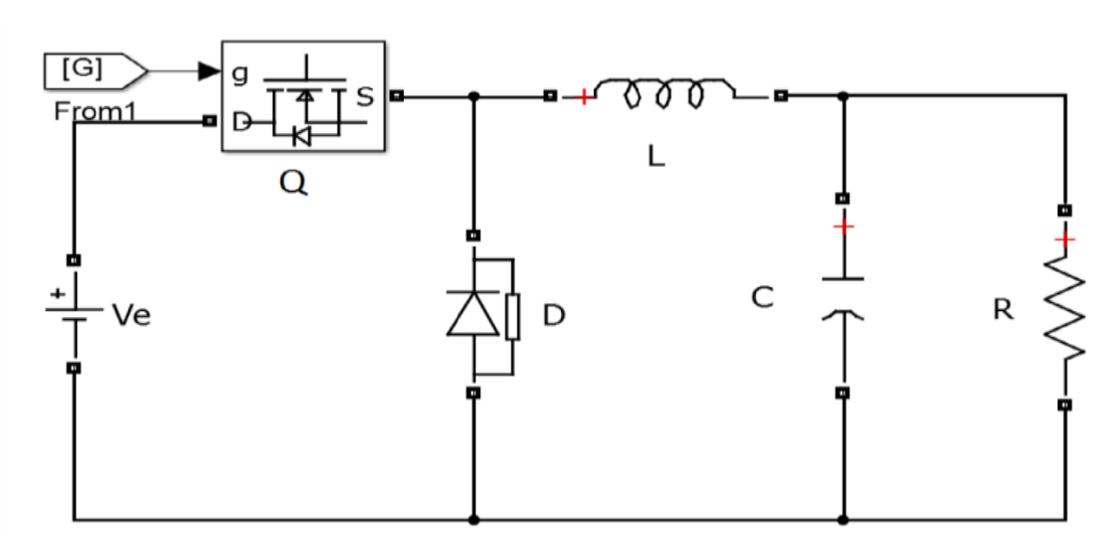
### II.2.2. Convertisseur Buck :

Un convertisseur Buck, ou hacheur série, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur [47].

#### II.2.2.1. Schéma du convertisseur Buck :

L'hacheur dévolteur, sous sa forme de base est présenté par la figure II.20. Il présente les mêmes composants clés que pour le convertisseur Boost [47].

Le commutateur peut être un transistor MOSFET ou un IGBT qui peut se commuter sur deux positions, marche ou arrêt rapidement. La tension de la source, par définition, doit être alors plus grande que la tension aux bornes de la charge [47].

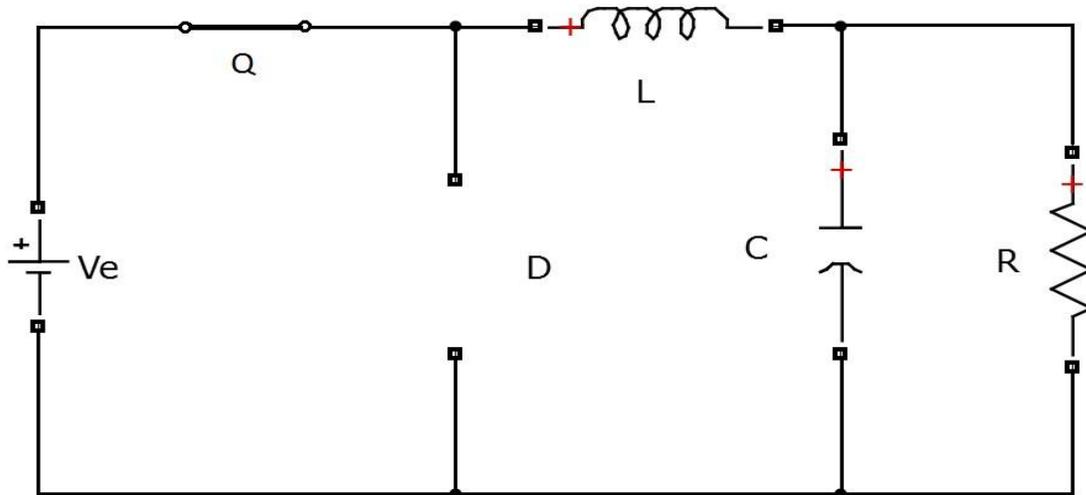


**Figure II.20:** Schéma électronique de convertisseur abaisseur Buck

#### II.2.2.2.Principe de fonctionnement :

Ce type de convertisseur peut être utilisé comme adaptateur source charge, lorsque le point de fonctionnement en couplage direct est à gauche du PPM. Alors, pour les deux modes de fonctionnement on a [47]:

- **Pour TOn (Q fermé) :** Si le commutateur  $Q$  est activé à  $t_0$ , un courant circule dans le circuit, mais ne passe pas par la diode  $D$  puisqu'elle est inversement polarisée. Le courant  $i_L$  n'augmente pas immédiatement, mais plutôt linéairement avec un taux d'accroissement imposé par l'inductance  $L$  [47].



**Figure II.21:** Convertisseur Buck Durant l'état On

**L'équation de la Tension :** Pour Q fermé, on a les équations des tensions  $V_T = 0$  et  $V_D = -V_e$ , Alors la tension aux bornes de l'inductance sera [47] :

$$V_L = V_e - V_S = L \frac{di}{dt} > 0 \quad (\text{II.2.19})$$

**L'équation du courant :** A partir de l'intégration de l'équation II.2.19, on peut faire sortir l'équation du courant  $I_L$  qui sera [47] :

$$I_L = \frac{V_e - V_S}{L} t + I_{min} \quad (\text{II.2.20})$$

L'inductance alors emmagasine de l'énergie sous forme magnétique

- **Pour TOff (Q ouvert) :** Si Q est désactivé après  $t = t_1$ , la charge est déconnectée de son alimentation. Le courant est toutefois maintenu par l'énergie stockée dans l'inductance L et circule à travers la diode D appelée diode de roue libre. Cette dernière permet d'évacuer l'énergie emmagasinée dans l'inductance à l'ouverture du commutateur sans créer de surtension [47].

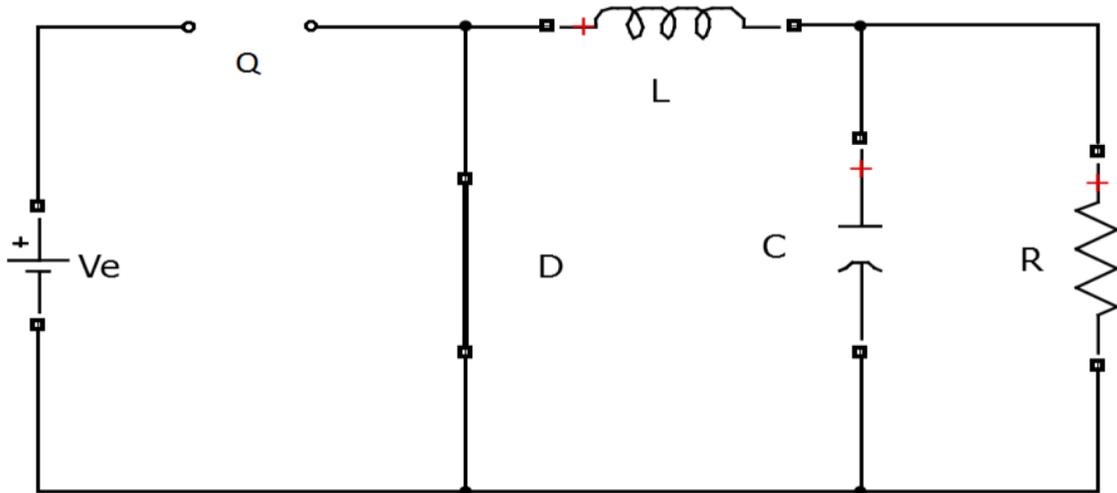


Figure II.22: Convertisseur Buck Durant l'état Off

**L'équation de la Tension** : Pour Q ouvert, les équations des tensions sont  $V_D = 0$  et  $V_T = V_e$ , Alors la tension  $V_L$  sera :

$$V_L = -V_s = L \frac{di}{dt} < 0 \quad (\text{II.2.21})$$

**L'équation du courant** :

$$I_L = \frac{-V_s}{L} t + I_{max} \quad (\text{II.2.22})$$

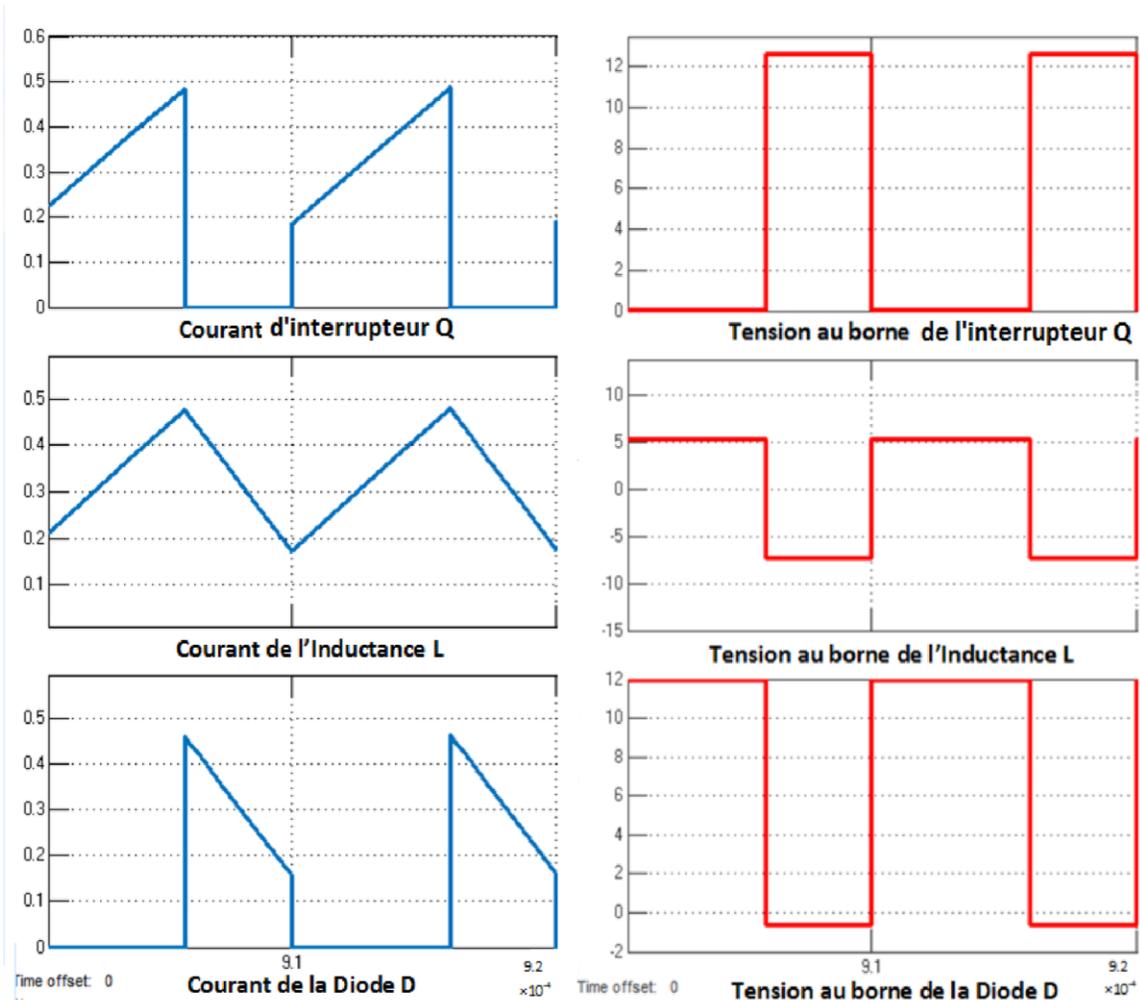
**Remarque** : les composants du convertisseur sont dimensionnés pour que les tensions et courants à la sortie présentent de faibles ondulations lors du passage de l'interrupteur de la fermeture à l'ouverture et inversement [44].

Quoi qu'il en soit, la valeur moyenne  $V_s$  est inférieure à  $V_e$ . Dans le cas où la fréquence est augmentée, par exemple jusqu'aux kHz, l'inductance nécessaire peut être réduite considérablement. La tension aux bornes de la charge est donnée par [47] :

$$V_s = \frac{T_{On}}{T} V_e = \alpha V_e \quad (\text{II.2.23})$$

Grâce à cette équation, on peut voir que la tension de sortie varie linéairement avec le rapport cyclique  $\alpha$ . On considère ici uniquement le comportement du circuit en mode de conduction continue (MCC). Il est à noter que l'interrupteur utilisé est un dispositif à semi-conducteur en commutation. Généralement, un transistor MOSFET est utilisé pour son faible temps de commutation afin de minimiser les pertes de puissance [43].

Les caractéristiques des tensions et des courants du convertisseur Buck dans le cas de la conduction continue sont décrites par la Figure II.23.



**Figure II.23:** Formes d'onde des courants et des tensions d'un convertisseur Buck

### II.2.3. Convertisseur Buck-Boost :

Un convertisseur Buck-Boost est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible ou plus grande valeur mais de polarité inverse [47].

#### II.2.3.1. Schéma du convertisseur Buck-Boost :

Dans ce dispositif, la tension peut être augmentée ou diminuée selon le mode de commutation.

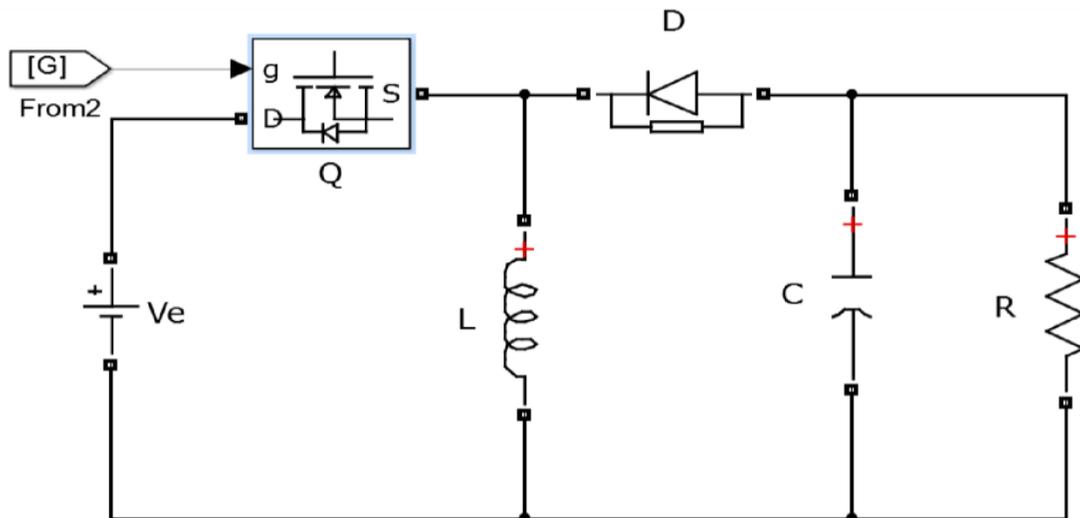


Figure II.24: Schéma de convertisseur inverseur Buck-Boost

#### II.2.3.2. Principe de fonctionnement:

Durant l'état On, l'énergie apportée par la source (GPV) est stockée dans l'inductance. L'énergie stockée dans l'inductance L est livrée ensuite à la charge pendant l'état Off [47].

**Pour TOn (Q fermé) :** l'interrupteur Q est conducteur pendant le temps  $\alpha T$ , l'énergie est stockée dans L et la tension de sortie est négative par rapport au point commun : la diode D est alors bloquée.

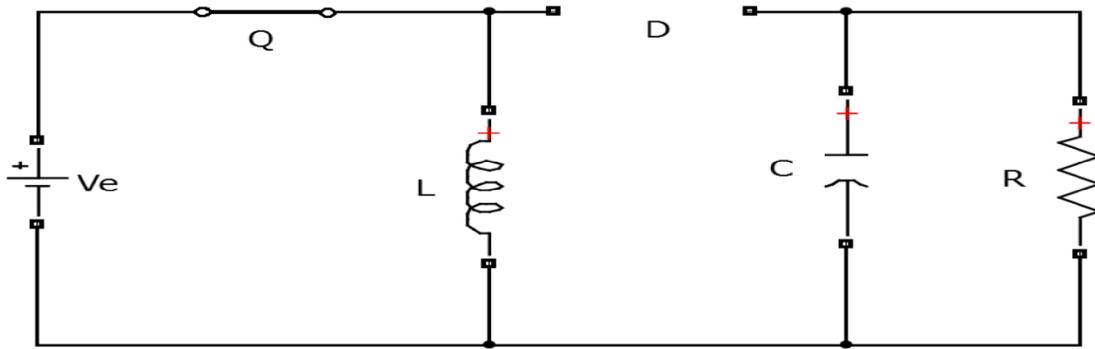


Figure II.25: Convertisseur Buck-Boost Durant l'état On

**L'équation de la Tension :** Pour Q fermé on a les équations des tensions  $V_T = 0$  et

$V_D = V_e - V_s$ , Alors la tension aux bornes de l'inductance sera :

$$V_L = V_e = L \frac{di}{dt} > 0 \quad (\text{II.2.24})$$

**L'équation du courant :**

$$I_L = \frac{V_e}{L} t + I_{min}$$

- **Pour TOff (Q ouvert) :** le blocage de l'interrupteur Q provoque la décharge de l'inductance dans la charge R et le condensateur C. Cette décharge peut être totale ou partielle.

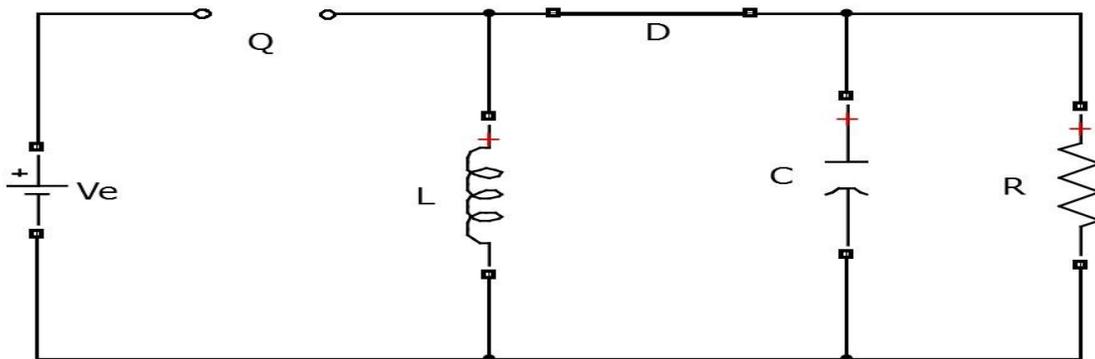


Figure II.26: Convertisseur Buck-Boost Durant l'état Off

**L'équation de la Tension :** Pour Q ouvert, les équations des tensions sont  $V_D = 0$  et

$V_T = V_e + V_s$ , Alors la tension  $V_L$  sera :

$$V_L = -V_s = L \frac{di}{dt} < 0 \quad (\text{II.2.25})$$

L'équation du courant :

$$I_L = \frac{-V_s}{L} t + I_{max} \tag{II.2.26}$$

En raison de la présence de la diode D, le courant circule à travers l'inductance L seulement dans une direction durant les deux états. Par conséquent,  $V_s$  a une polarité opposée à  $V_e$ . Pour cette raison, ce circuit est aussi appelé convertisseur inverseur. Les équations décrivant ce circuit peuvent être obtenues de la même manière qu'auparavant.

En conclusion, l'amplitude de  $V_s$  peut être inférieure ou supérieure à  $V_e$  suivant la valeur de  $T_{On}$  et  $T_{off}$  :

$$V_s = \frac{T_{on}}{T_{off}} V_e = \frac{\alpha}{1-\alpha} V_e \tag{II.2.27}$$

Les caractéristiques des tensions et des courants du convertisseur Buck-Boost dans le cas de la conduction continue sont décrites comme suit :

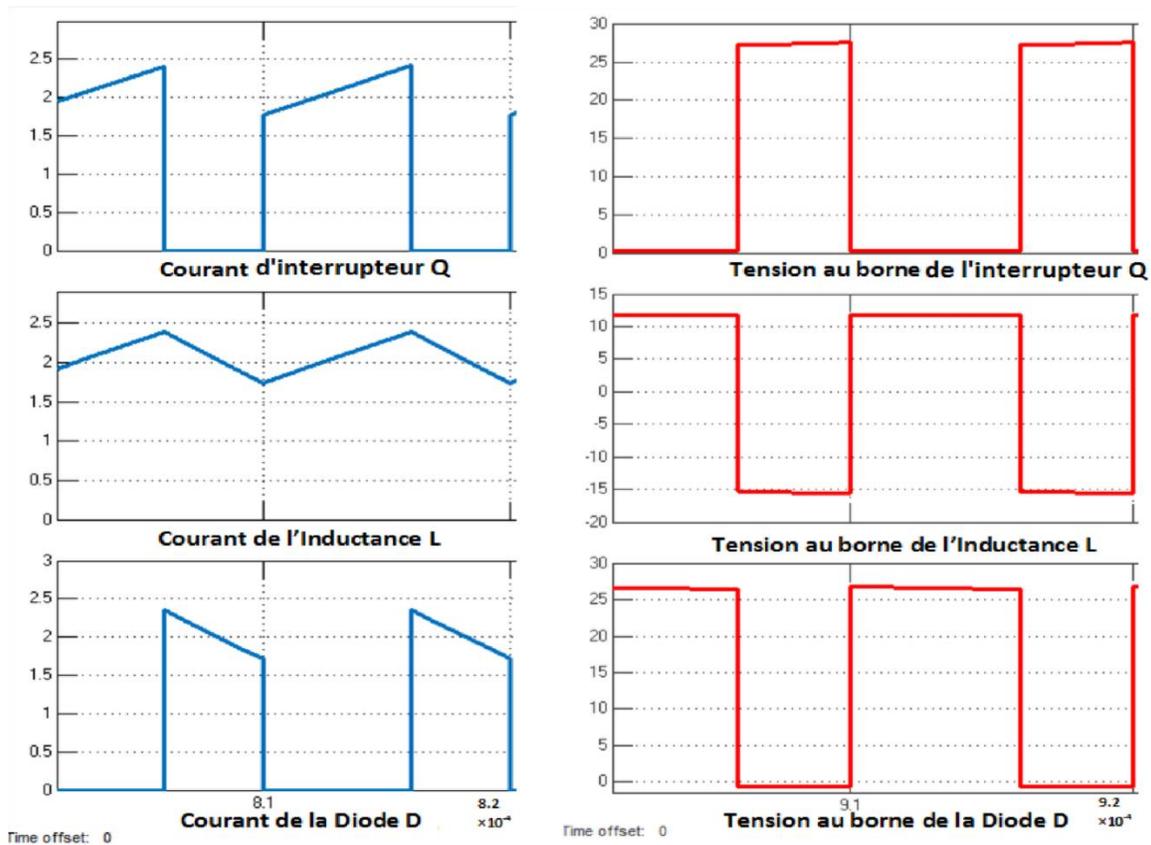


Figure II.27 : Formes d'onde des courants et des tensions d'un convertisseur Buck- Boost

### II .2.4.Dimensionnement d'un convertisseur de type SEPIC :

Après le choix de convertisseur en choisie un mode pour étude les équations suivantes que nous avons choisi cette mode il est le mode contenu. [52]

#### II .2.4.1. Rapport cyclique :

Le rapport cyclique est donné par :

$$\alpha = \frac{V_{out} + V_D}{V_{1N(\min)} + V_{out} + V_D} \quad (\text{II.2.28})$$

Avec  $V_{IN}$  la tension d'entrée,  $V_{out}$  la tension de sortie et  $V_D$  la tension de seuil de la diode.

Avec un rapport cyclique proche de 50%, la tension d'entrée est égale à la tension de Sortie, le gain est unitaire.

Le rapport cyclique varie en fonction de la tension d'entrée appliquée afin d'avoir une tension de sortie constante. Ainsi le rapport cyclique maximal est :

$$\alpha_{\max} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{1N(\min)} + V_{out} + V_D} \quad (\text{II.2.29})$$

#### II .2.4.2. Inductances :

Les valeurs d'inductances sont déterminées principalement par l'ondulation de courant acceptée. Généralement, on autorise une ondulation de 40% le courant d'entrée maximal pour la tension d'entrée minimale. L'ondulation de courant est définie par l'équation suivante :

$$\Delta I_L = I_{IN} \times 40\% = I_{out} \times \frac{V_{out}}{V_{1N(\min)}} \times 40\% \quad (\text{II.2.30})$$

Soit les valeurs d'inductances calculées par :

$$L1 = L2 = L = \frac{V_{1N(\min)}}{\Delta I_L \times f} \times \alpha_{\max} \quad (\text{II.2.31})$$

Avec  $f$  la fréquence de découpage.

Pour s'assurer que le courant dans l'inductance ne sature pas, la courante crête est donnée par :

$$I_{L1(peak)} = I_{out} \times \frac{v_{out} + v_D}{v_{1N(\min)}} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \quad (\text{II.2.32})$$

$$I_{L2(peak)} = I \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \quad (\text{II.2.33})$$

Si les inductances L1 et L2 sont bobinées sur le même circuit magnétique, les valeurs D'inductances sont remplacées par 2L à cause de la mutuelle inductance. Les valeurs D'inductances sont alors :

$$L1' = L2' = \frac{L}{2} = \frac{v_{1N(\min)}}{\Delta I_L \times f \times 2} \times \alpha_{\max} \quad (\text{II.2.34})$$

### II .2.4.3. Condensateur de couplage :

Le condensateur de couplage doit être capable de laisser passer le courant efficace donné

Par :

$$I_{C1(ms)} = I_{out} \sqrt{\frac{v_{out} + v_D}{v_{1N(\min)}}} \quad (\text{II.2.35})$$

Le condensateur est dimensionné à partir de l'ondulation de tension crête à crête

Voulue définie par la formule suivante :

$$\Delta V_{C1} = \frac{v_{out} \times \alpha_{\max}}{C1 \times f} \quad (\text{II.2.36})$$

### II .2.4.4. Condensateur de filtrage :

Le condensateur C2 à la sortie du convertisseur SEPIC permet de filtrer la tension et

De maintenir celle-ci constante. La formule permettant de dimensionner le condensateur

Est donnée par :

$$C_2 = \frac{I_{out} \times \alpha_{\max}}{v_{ripple} \times 0.5 \times f} \quad (\text{II.2.37})$$

**Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présente le principe de recherche de point de puissance maximal MPPT ainsi que les différentes algorithmes rencontrées le plus souvent dans la littérature. En plus, nous avons donné une étude comparative entre les techniques de commande MPPT classique « Perturbe & Observe » et « IncCond », « Hill Climbing ». Ensuite, nous avons présenté les différents types des hacheurs avec un rappelle théorique sur chaque type.

Dans le chapitre suivant on va faire une simulation d'un system PV type organique pour voir l'évaluation de la tension et de la puissance sortie de convertisseur.

## **CHAPITRE 3**

### *Résultats et simulations*

### III.1. Introduction

On a vu dans les rapports précédents que la puissance maximale générée par un module solaire dépend fortement de l'intensité des radiations solaires ainsi que de la température. Pour avoir une puissance maximale le module solaire doit génère une certaine tension et courant de fonctionnement. Pour que le module fourni sa puissance maximale disponible il faut une adaptation permanente de la charge avec le générateur photovoltaïque. Cette adaptation pourra être réalisée par l'insertion d'un convertisseur DC-DC contrôlé par un mécanisme de poursuite «Maximum Power Point Tracking» (MPPT).

Le but de ce travail est l'étude et simulation d'un système PV (0.527W), utilisent des panneaux photovoltaïques organiques, et nous intéressons plus spécifiquement au hacheur de type BOOST. Ainsi, on va décrive la commande de MPPT de ce convertisseur continu - continu.

### III.2.Modèles des Simulations

Pour réaliser cette simulation, nous avons choisi un module photovoltaïque organique composé de 8 cellules solaires connectées en série pour fournit une puissance photovoltaïque (0.527W) rentable destinée à un usage général par exploitation directe des charges à courant continu, ou des charges à courant alternatif sur les systèmes munis d'onduleur. Figure.III.1.



**Figure.III.1.** modules photovoltaïques organique 0.527W [53] .

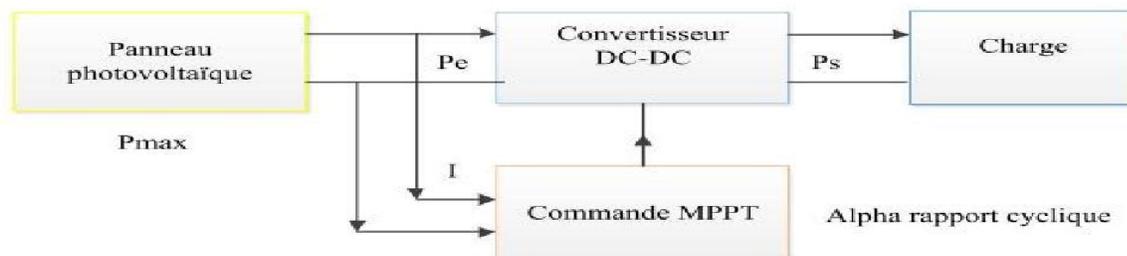
Les caractéristiques électriques de ce module photovoltaïque a la température 250C et l'irradiation 1000 W/m2 sont données dans le tableau suivant :

**Tableau .III.1.** : Caractéristiques électriques du module PVO-Infinity

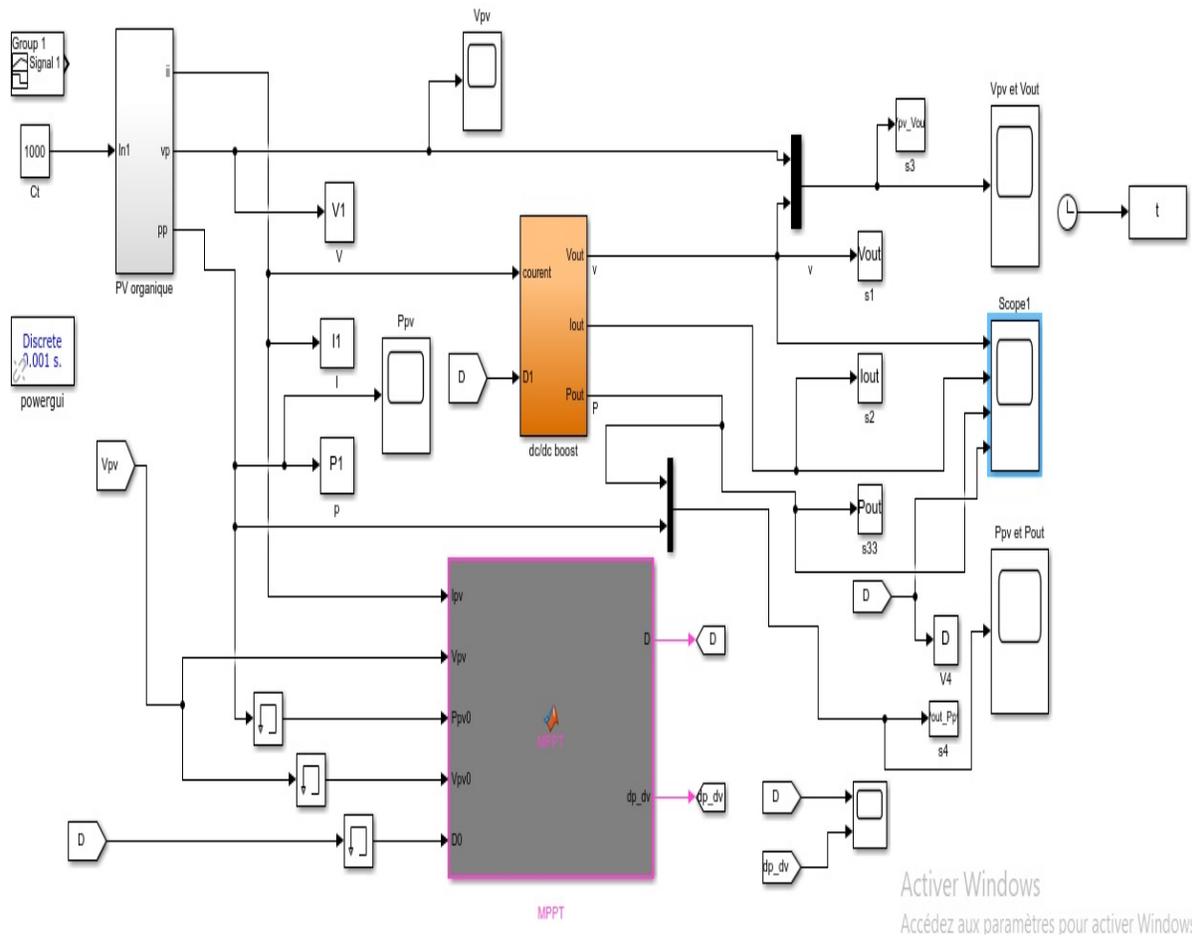
Surface :( 0.008) m <sup>2</sup> et poids = 0.1 kg	
La puissance optimale P max [W]	0.527
La tension optimal V op[Volt]	4.79
Le courant optimal I OP [A]	0.11
La tension de circuit ouvert Voc[Volt]	6.92
Le courant court-circuit I cc [A]	0.11
Nombre de cellule en série Ns	8
Température ambient (C <sup>0</sup> )	25

### III.2 .1.Simulation du system photovoltaïque avec hacheur commandé en MPPT :

La Figure.III.2 et Figure.III.3 montre le diagramme synoptique et le schéma de simulation d'un système photovoltaïque composé avec un module PV avec un hacheur commandé en MPPT qui a pour entrées la tension et le courant de sortie du system.



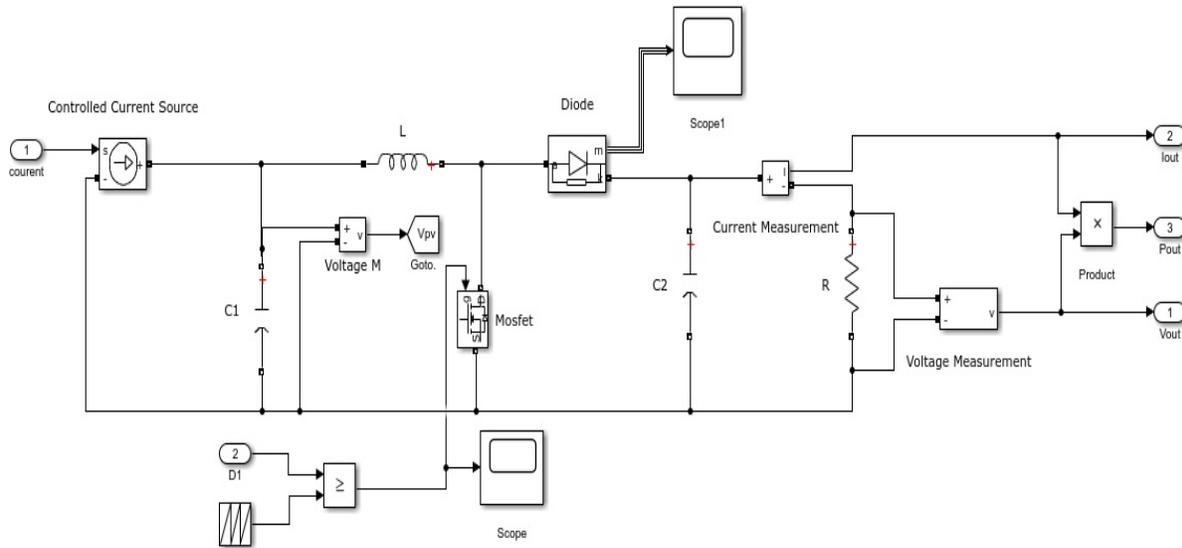
**Figure.III.2.** Schéma d'un système photovoltaïque avec convertisseur DC-DC commandé par la MPPT



**Figure.III.3.** Schéma de simulation d'un PV et un hacheur commandé en MPPT.

**A. Hacheur boost :**

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



**Figure.III.4.**Schéma block d'un convertisseur boost

Après le calculs de paramètre de notre convertisseur boost par l'utilisation des équations de chapitre II .les résultat obtenue sont :

**Tableau .III.2 :** les paramètres de convertisseur Boost

C1	C2	L
0.0026 F	0.015 F	0.0001 H

**B. Algorithme perturbation et observation (MPPT) :**

Nous avons utilisé l'algorithme de poursuite du point de puissance maximale (PPM) le plus utilisé, et comme son nom l'indique il est basé sur la perturbation du système par l'augmentation ou la diminution de la tension de référence, ou en agissant directement sur le rapport cyclique du convertisseur (DC-DC,), puis l'observation de l'effet sur la puissance de sortie en vue d'une éventuelle correction de ce rapport cyclique (D). Si la valeur de la puissance actuelle du générateur est supérieure à la valeur précédente alors on garde la même direction de perturbation précédente sinon on inverse la perturbation du cycle précédent de l'algorithme de perturbation et de l'observation (P et O) est donné par le programme suivant.

D : rapport cyclique.

```

MPPT* x +
1 function [D, dp_dv] = MPPT (Ipv, Vpv, Ppv0, Vpv0, D0)
2 % persistent Ppv0 ; if isempty(Ppv0) ; Ppv0 = 0 ; end
3 Inc_D = 0.0001 ;
4 Ppv = Vpv*Ipv;
5 Delta_Ppv = Ppv-Ppv0 ;
6 Delta_Vpv = Vpv - Vpv0 ;
7 dp_dv = Delta_Ppv/Delta_Vpv ;
8 if dp_dv > 0
9     D = D0 - Inc_D ;
10 elseif dp_dv < 0
11     D = D0 + Inc_D ;
12 else
13     D = D0;
14 end
15 % pour force D entre [0 0.9]
16 if D > 0.9
17     D = 0.9 ;
18 elseif D < 0
19     D = 0 ;
20 else
21     D = D ;
22 end

```

Figure III.5 : programme l'algorithme de perturbation et de l'observation (P et O)

### III.3. Résultats obtenus :

**III.3. 1. Comportement d'un générateur photovoltaïque** De par sa constitution, un générateur PV aura un comportement plus ou moins optimisé et pourra ainsi produire plus ou moins de puissance.

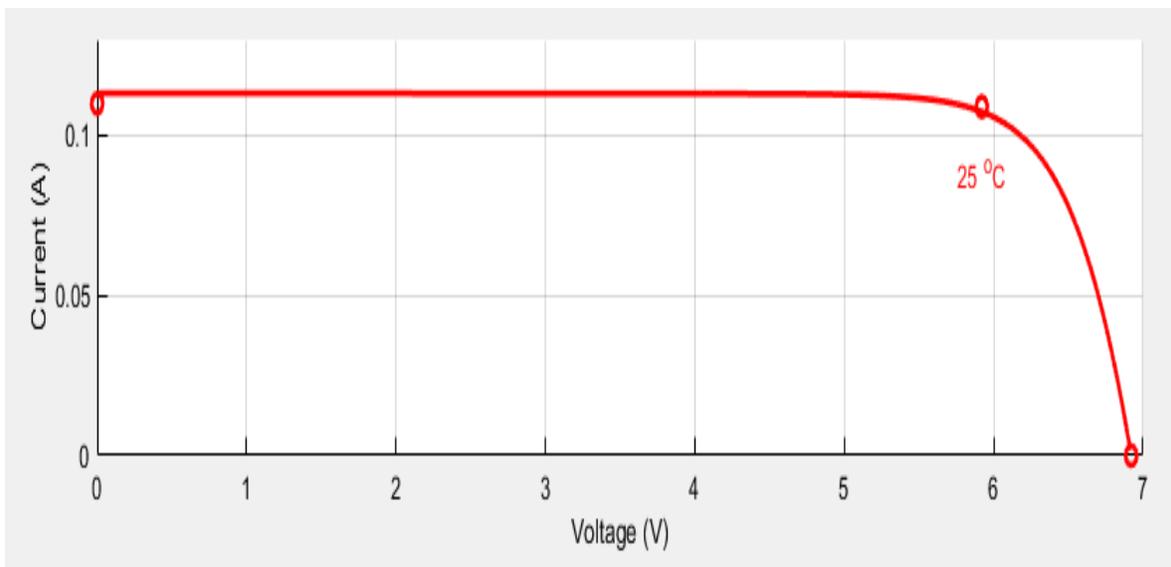


Figure.III.6: courbe I-V en STC

### III.3. 1.1. Influence de la température et l'ensoleillement sur le rendement :

On peut remarquer que la caractéristique I-V et P-V d'un panneau photovoltaïque dépend fortement de l'insolation et de la température.

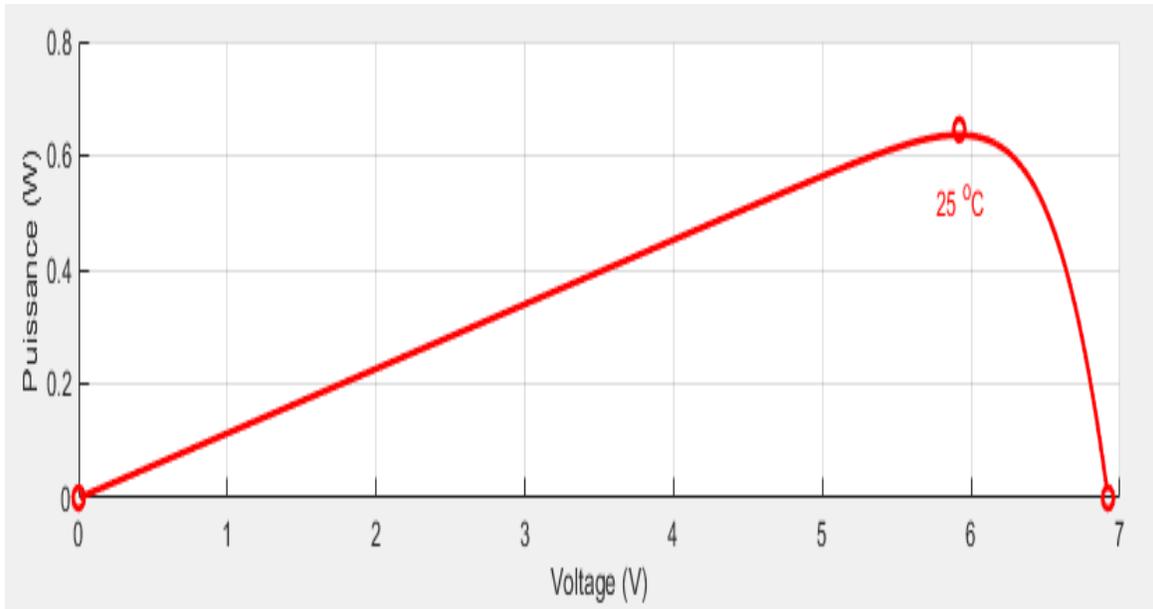
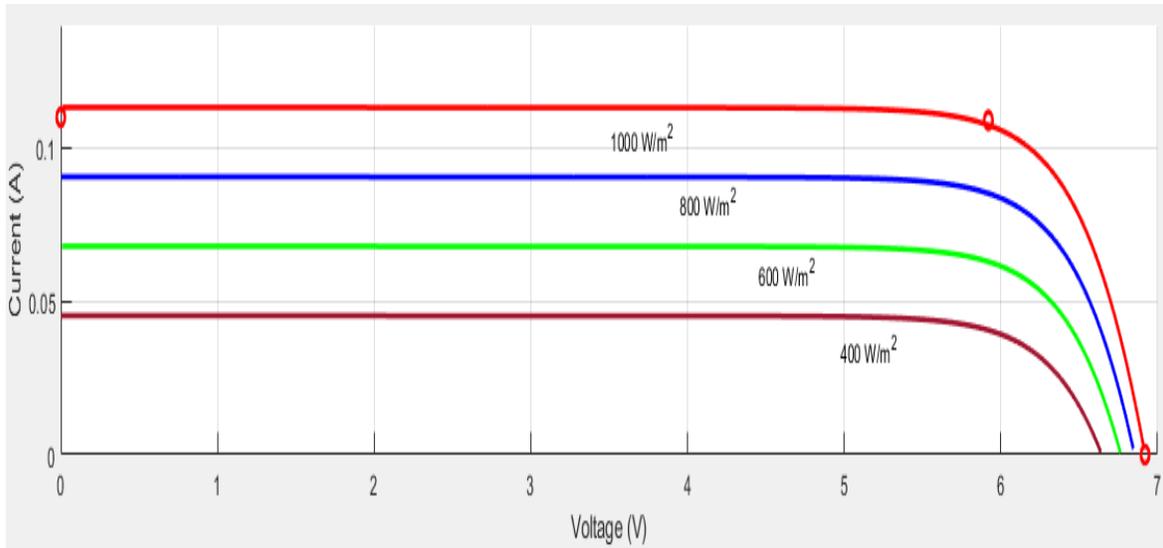


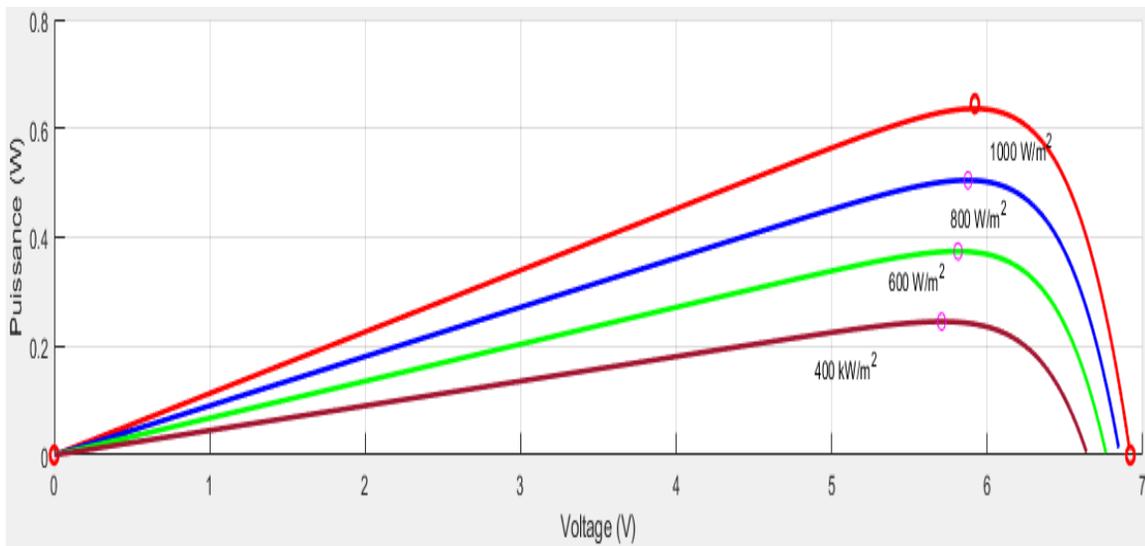
Figure.III.7: Caractéristique V-P en STC

#### A. Influence de l'ensoleillement :

Une baisse de l'ensoleillement provoque une diminution de la création de paires électron-trou avec un courant changé à l'obscurité. Le courant du panneau solaire étant égal à la soustraction de la photo courant et du courant de diode à l'obscurité, il y'a une baisse du courant solaire  $I_{cc}$  proportionnelle à la variation de l'ensoleillement accompagnée d'une très légère diminution de la tension  $V_{co}$  et donc un décalage du point  $P_{max}$  du panneau solaire vers les puissances inférieures. Les graphes suivants représentent les caractéristiques  $I(V)$  et  $P(V)$  respectivement d'un générateur photovoltaïque pour une température constante ( $T=25^{\circ}C$ ) et un ensoleillement variable.



**Figure.III.8** : Courbes I(V) d'un système PV à divers ensoleillements à  $T=25^{\circ}\text{C}$



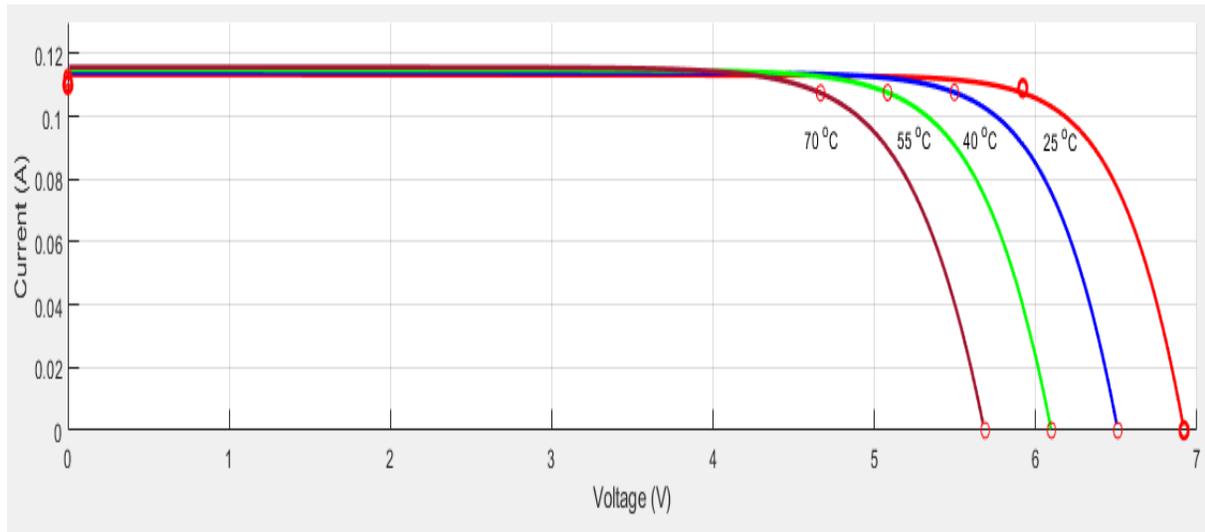
**Figure .III.9** : Courbes P(V) d'un système PV à divers ensoleillements à  $T=25^{\circ}\text{C}$

Il est clair que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, mais reste quasiment identique même à faible éclairage. Ceci implique donc que :

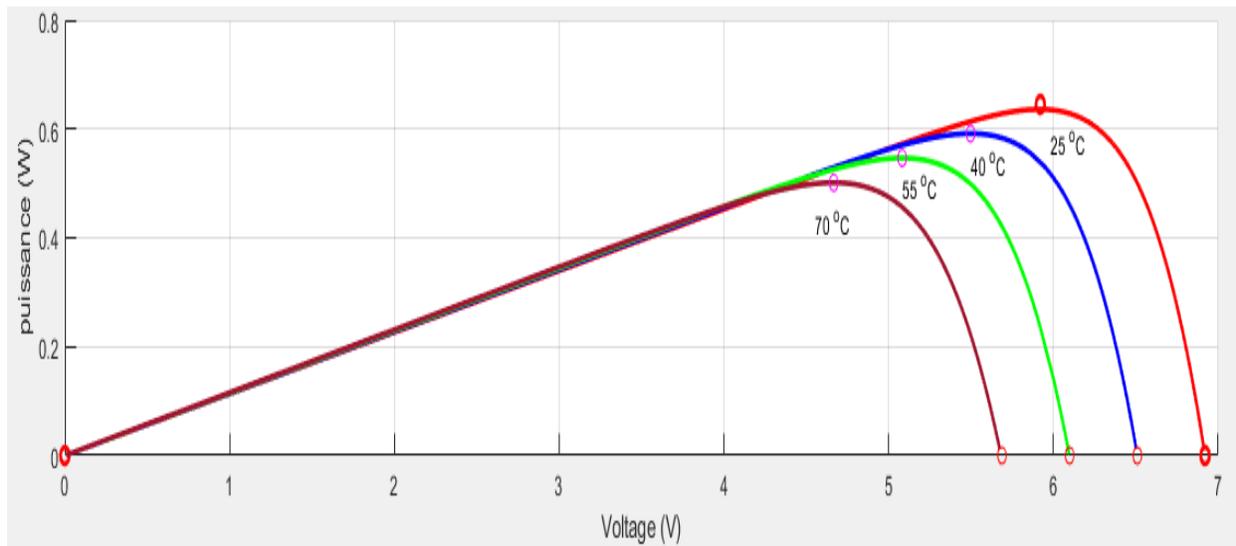
- La puissance optimale de la cellule ( $P_{\text{max}}$ ) est pratiquement proportionnelle à l'éclairage.
- Les points de puissance maximale se situent à peu près à la même tension.

**B. Influence de la température :**

la forme des courbes caractéristique I-V et P-V peuvent être modifiées sous l'effet de la température. Les Figures III.10 et III.8.11 illustrent les variations des courbes caractéristiques lorsqu'il y a changement de la température absorbé par Le champ PV.



**Figure.III.10.** Courbes I(V) d'un champ PV pour différentes températures à  $G=1000\text{W}/\text{m}^2$



**Figure.III.11.** Courbes P(V) d'un champ PV pour différentes températures à  $G=1000\text{W}/\text{m}^2$

### III.4. Résultats de simulation du système PV adapté par la commande MPPT :

Les résultats de simulation du système photovoltaïque adapté par la commande MPPT

« perturbation et observation » représentent par les Figures (III.12).à (III.13).

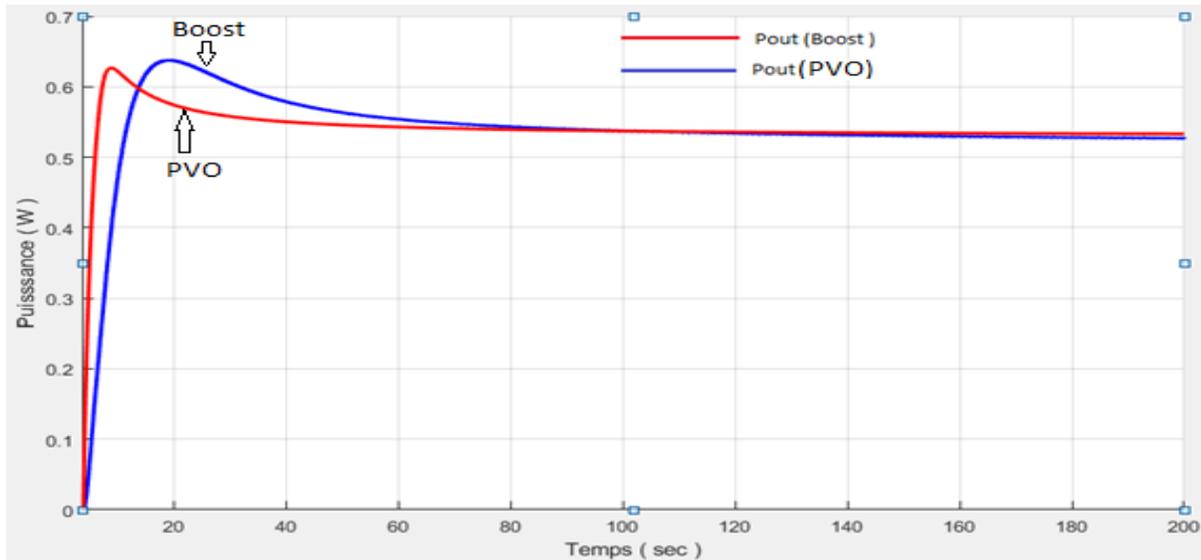


Figure.III.12 .la puissance générée par le générateur Photovoltaïque et DC-DC boost pour  $E=1000W/m^2$  et  $T=25^{\circ}C$

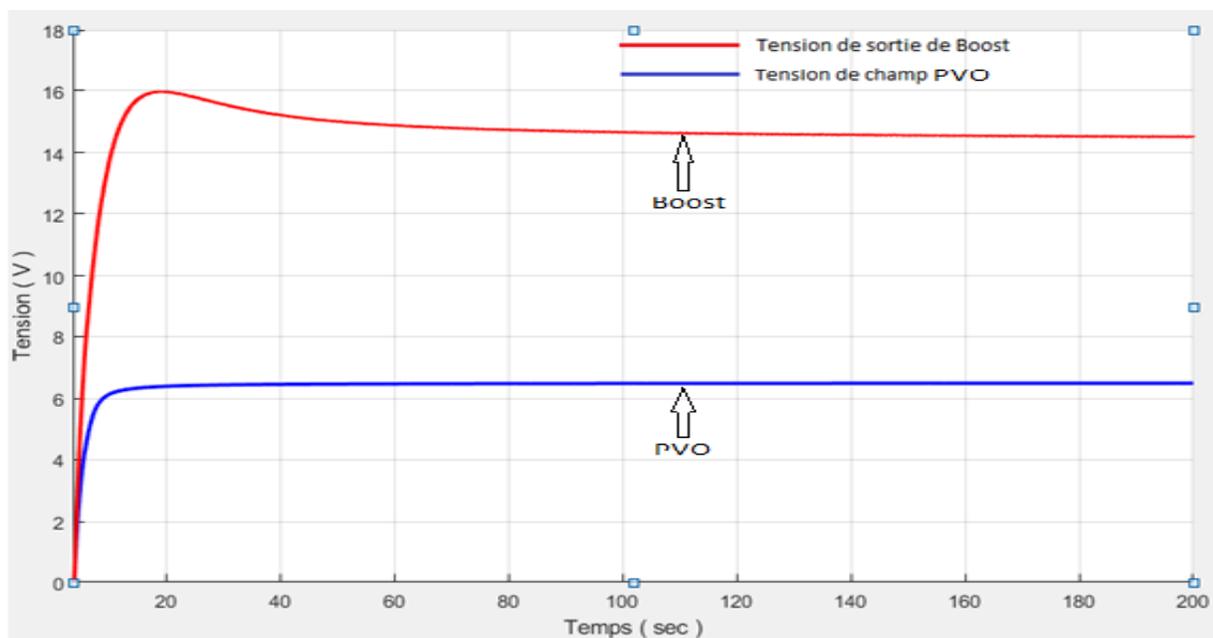
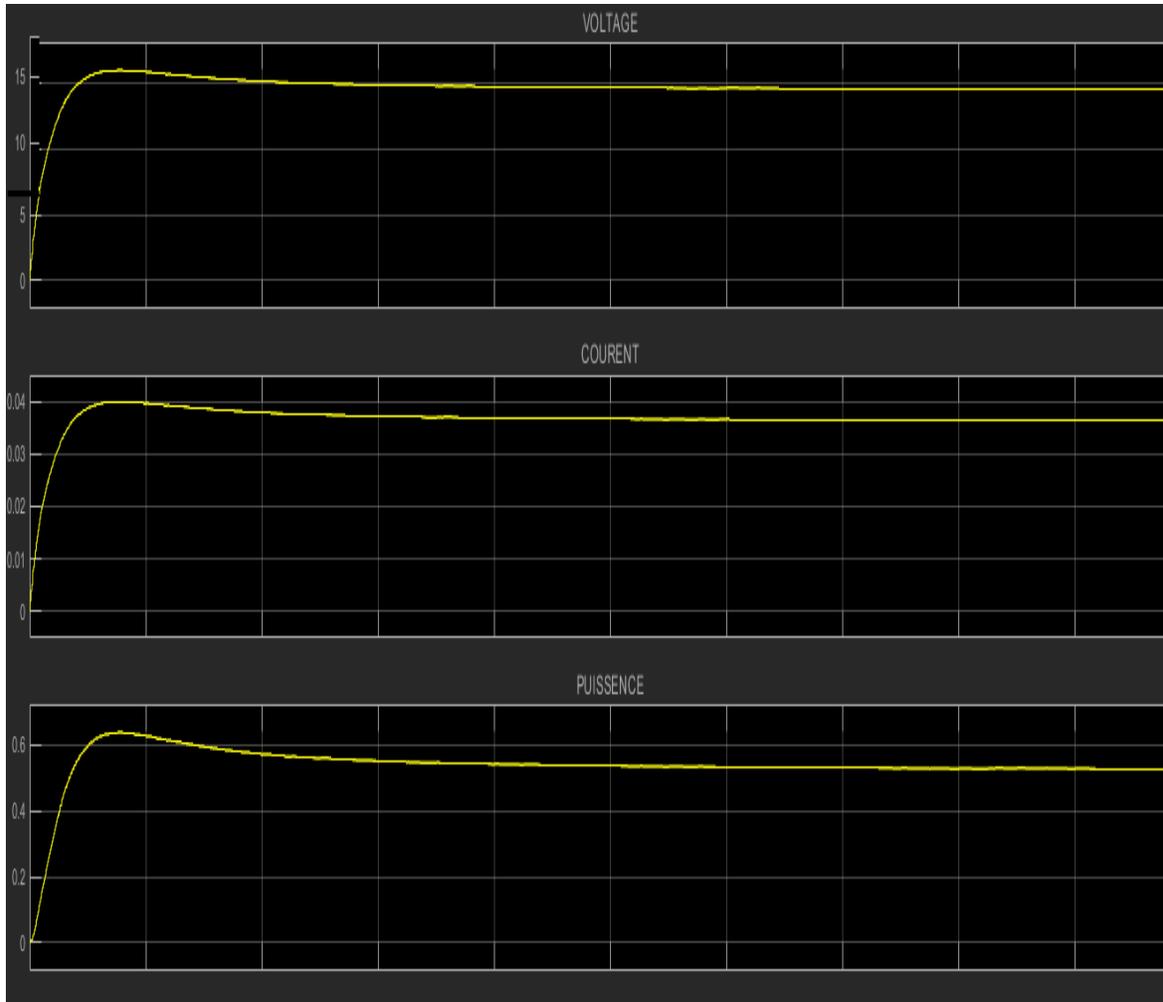


Figure.III.13. la tension de sortie et entre DC-DC Boost pour  $E=1000W/m^2$  et  $T=25^{\circ}C$

Les différentes grandeurs électriques (puissances, tensions et courants) Figure III.14 se stabilisent autour des valeurs fixées par notre cahier de charge :



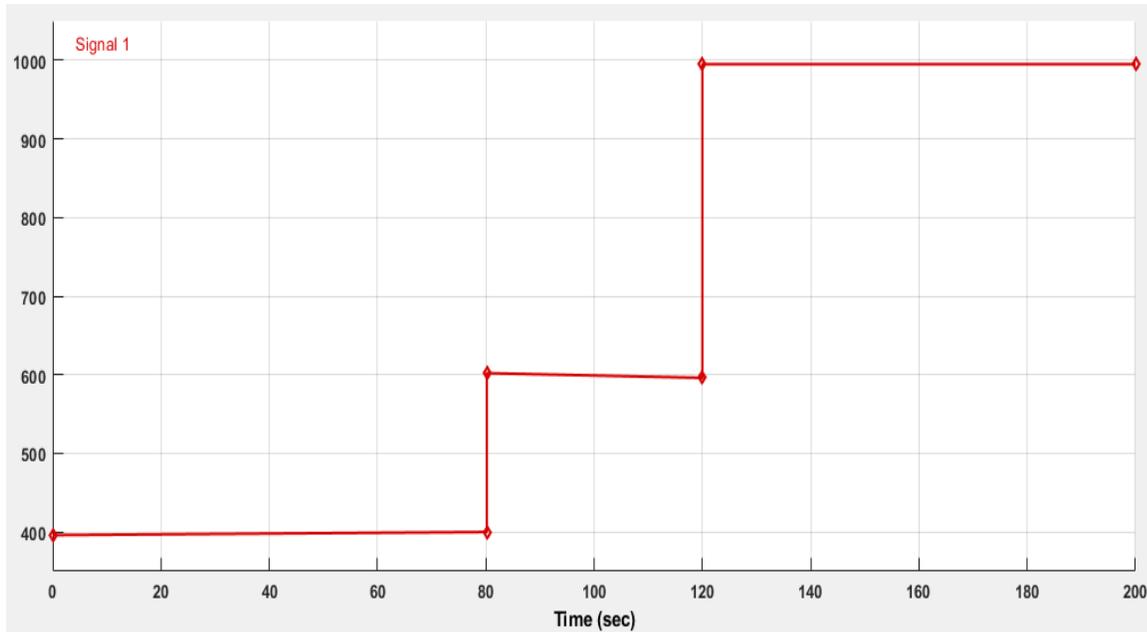
**Figure.III.14.** Les différentes grandeurs électriques de système PVO

D'après les résultats de la simulation obtenus, on peut dire que :

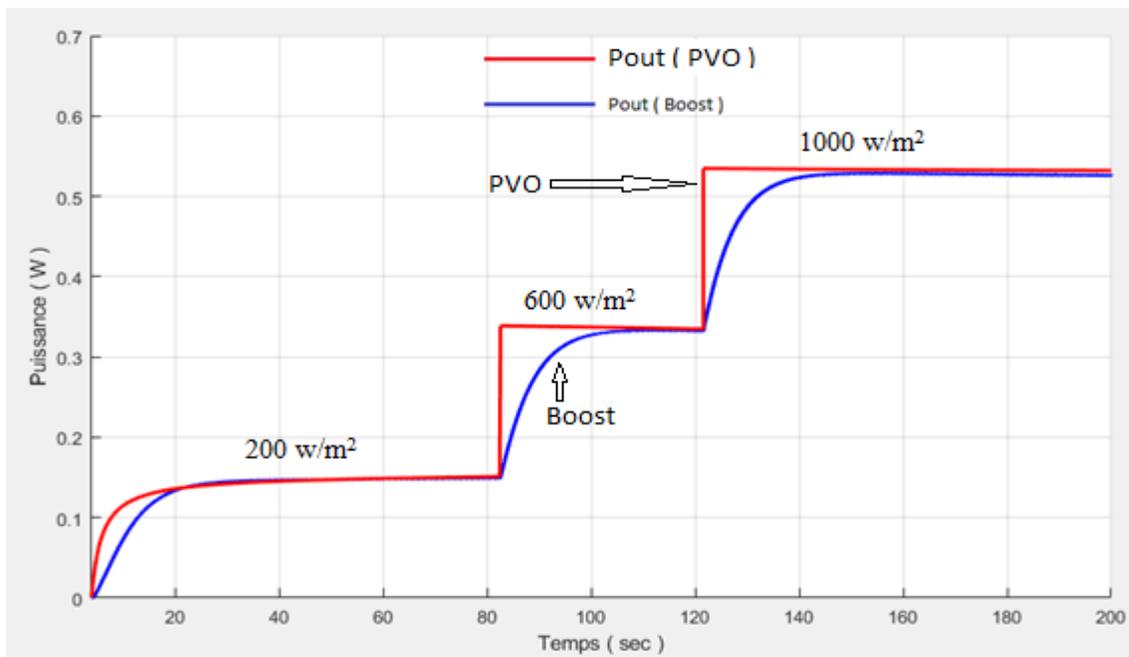
- Le hacheur boost effectué correctement sans rôle puisque la tension de sortie d'hacheur boost est supérieur à celle l'entrée.
- Pour un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT « perturbation et observation » nous remarquons que la puissance de sortie de PVO suive la puissance de sortie de boost.

**III.5. L'effet de l'éclairément sur le système PVO :**

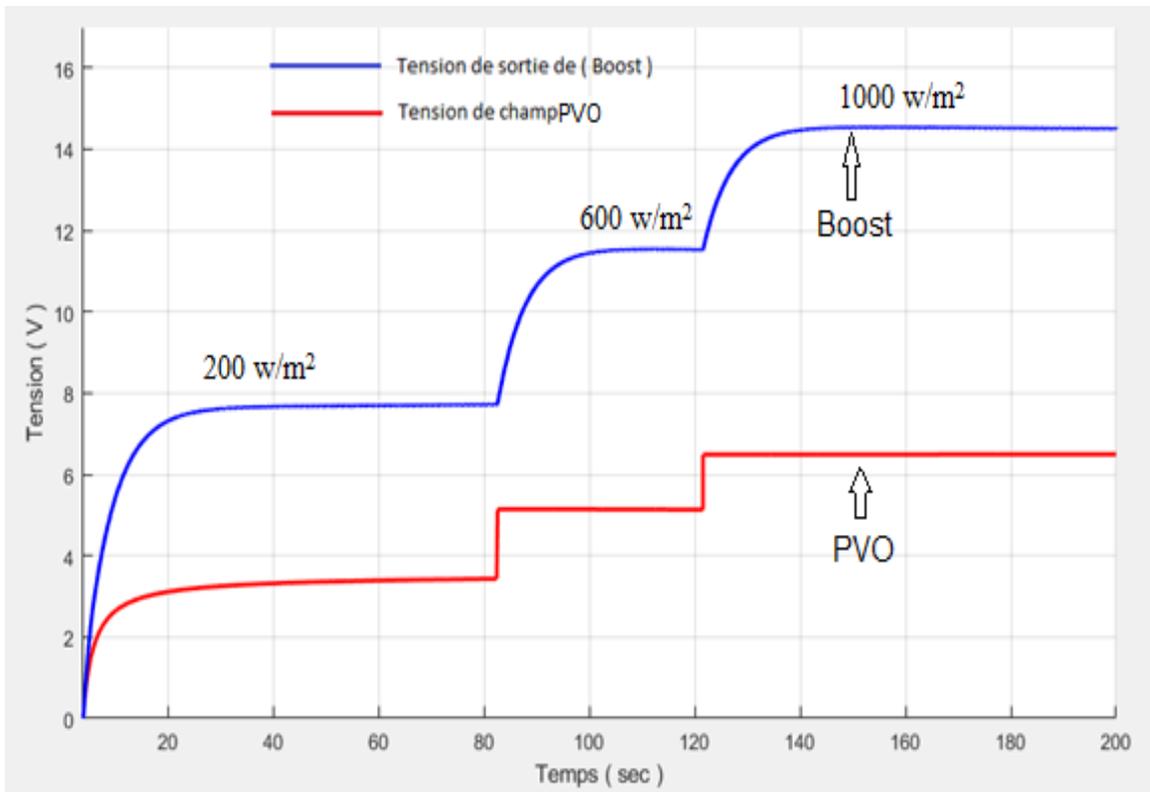
La Figure III.15 représenté la variation de source d'éclairément:



**Figure III.15:** variation de source d'éclairément



**Figure.III.16 :** Puissance du GPO et la Puissance de sortie du convertisseur avec une variation de éclairément de 200 w/m<sup>2</sup> jusqu'a 1000 w/m<sup>2</sup> température 25°c



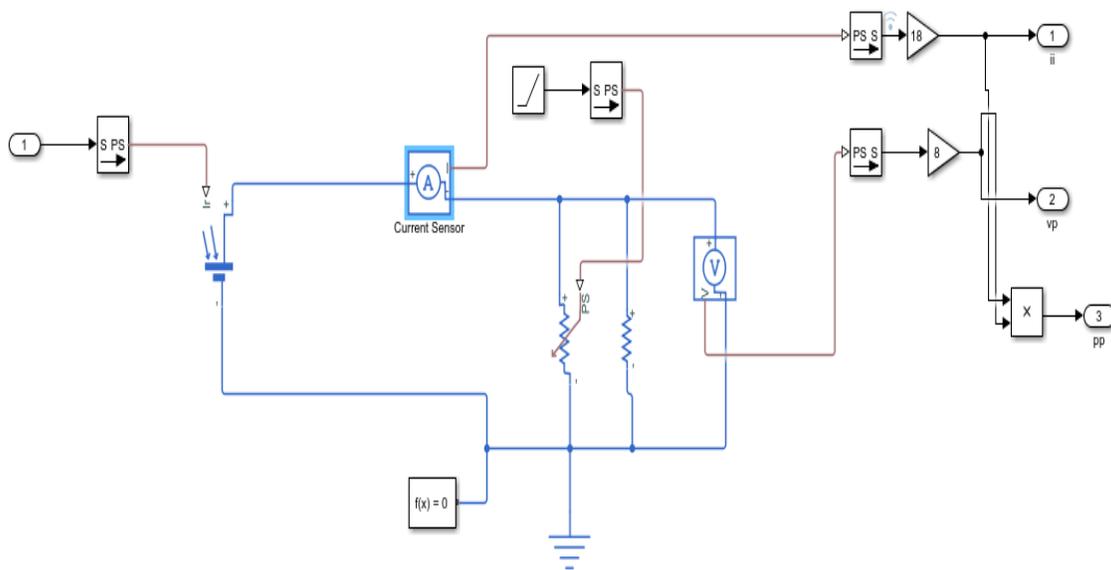
**Figure.III.17 :** Tension du GPVO et la tension de sortie du convertisseur avec une variation de éclairement de 200 w/m<sup>2</sup> jusqu' à 1000 w/m<sup>2</sup> température 25° c

D'après les résultats de la simulation obtenus, on peut dire que :

Le convertisseur DC-DC de type BOOST et la commande MPPT P&O assurent correctement leurs rôles. Les différentes grandeurs électriques (puissances, tensions et courants) se stabilisent autour des valeurs fixées par notre cahier de charge.

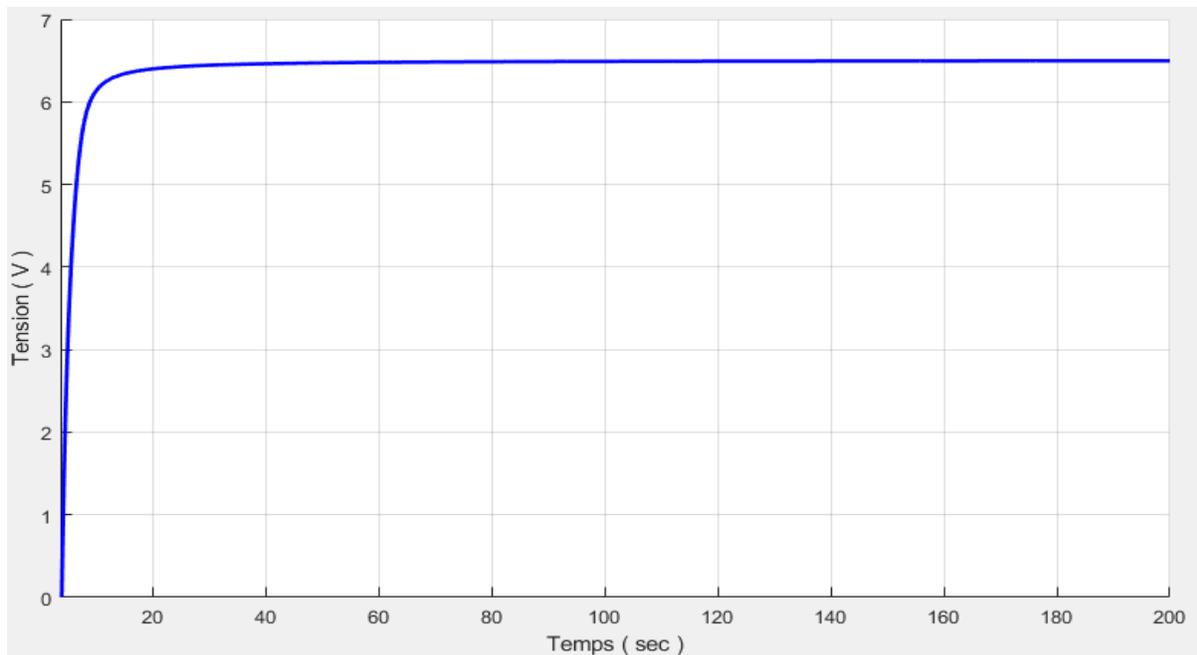
### III.6. pour un champ des panneaux photovoltaïque organique :

Pour augmenté la puissance de notre système PVO, nous proposons un champ des panneaux PVO de (9.58 w) raccorde série-parallèle (8 panneaux en série et 18 en parallèle) comme représenter dans la (Figure.III.18) :

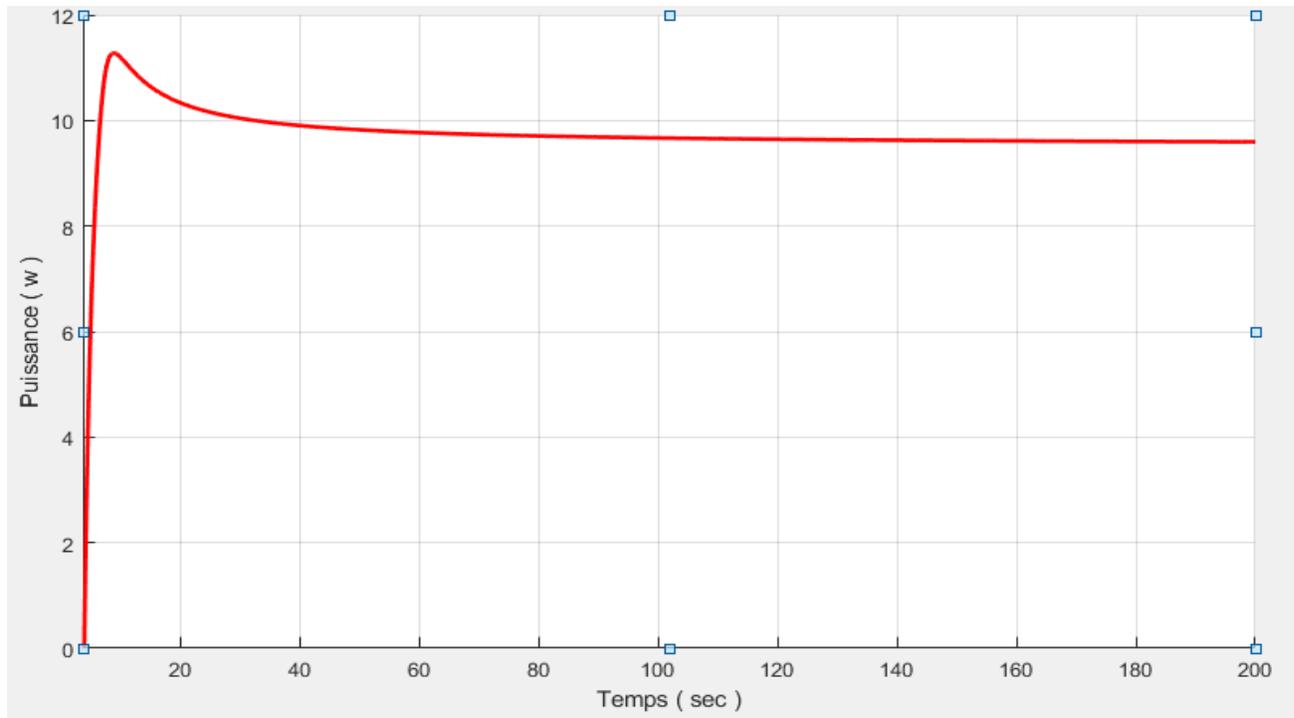


**Figure.III.18:** le champ des panneaux PVO

Après la simulation le résultat obtenu son donner sur les figure et figure sous dessue :



**Figure.III.19:** .la Tension générée par le générateur Photovoltaïque organique pour  $E=1000W/m^2$  et  $T=25^{\circ}C$



**Figure.III.20:** .la puissance générée par le générateur Photovoltaïque organique pour  $E=1000W/m^2$  et  $T=25^{\circ}C$

Le résultat obtenu donne que notre système PVO fonctionner correctement.

### Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons modélisé l'ensemble de la chaîne de conversion sous MATLAB et l'algorithme de recherche du point de puissance maximale (MPPT) a été simulé. Il est force le générateur GPO à travailler à son point de puissance maximale (MPP), Le convertisseur DC-DC de type BOOST et la commande MPPT P&O assurent correctement leurs rôles sur les panneaux organiques et induisant une amélioration globale du rendement du système de conversion électrique.

## **Conclusion générale**

## **Conclusion générale :**

Afin d'améliorer l'efficacité des systèmes photovoltaïques, différents algorithmes de commandes MPPT ont été étudiées pour la poursuite du point maximum de puissance. Dans cet objectif, ce travail est une contribution pour la compréhension et la mise en place d'une commande MPPT permettant de traquer la puissance maximale à tout moment et sous différentes conditions climatique ,ses algorithmes se sont avérées très efficaces pour les cellules a bas silicium, nous avons consacré cette étude à la possibilité de l'appliquer aux cellules solaires organiques.

Le travail qu'on a présenté porte sur l'analyse d'une modélisation et simulation du fonctionnement électrique d'un système photovoltaïque (PVO) adapté par algorithme P&O de la commande MPPT assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur PVO

Dans un premier temps, on fait une description générale sur le gisement solaire et généralité sur des cellules photovoltaïques organiques, pour consacré aux différentes structures leur principe de fonctionnement, après on va présenter les caractéristiques courant – tension des cellules solaires organiques d'une manière générale.

On a étudié, dans un deuxième temps, quelques types convertisseurs DC-DC, utilisés dans les systèmes photovoltaïques. Comme l'hacheur dévolteur, l'hacheur survolteur et l'hacheur mixte (dévolteur-survolteur).et on détail le principe de la recherche du point de puissance maximale tout en donnant les différentes classifications des commandes MPPT.

Dans le troisième temps on modifie l'algorithme P&O de poursuite du point maximal de puissance délivrée par la générateur photovoltaïque organique et leur structure puis on a simulé un étage MPPT pour système photovoltaïque (GPVO, convertisseur (Boost)).

Finalement, Le convertisseur DC-DC de type BOOST et la commande MPPT P&O assurent correctement leurs rôles sur les panneaux organiques et induisant une amélioration globale du rendement du système de conversion électrique.

## Référence :

- [1] Merah Reda, "Modelisation D'un Dipositif Mppt Pour L'etude De L'augmentation De La Puissance produite Par Les Générateur Photovoltaïques", Université Badji Mokhtar Annaba , Faculté Des Sciences De L'ingénieur, Département D'électrotechnique, Thèse De Magister Option Réseaux Électrique, Soutenue En 2010.
- [2] Abdelhak Maoucha," Etude Et Identification Paramétrique D'une Cellule Photovoltaïque Organique", Université De Batna Faculté De La Technologie Mémoire, Département D'électronique, Magister En Microélectronique, Option : Technologie Des Composants Semi conducteurs Et Dispositifs Photovoltaïques.
- [3] V.Y. Merritt, Organic Photovoltaic Materials: Squarylium And Cyanine-Tcnq Dyes. *Ibm J.Res. Develop.* 22, (1978), 353-371.
- [4] C.W. Tang, Two-Layer Organic Photovoltaic Cell, *Appl. Phys. Lett.* 48(2), (1986), 183-185.
- [5] D. Wöhrle, D. Meissner, Organic Solar Cells, *Adv. Mater.* 3(3), (1991), 129-138.
- [6] S.E.Shaheen, C.J. Brabec, N.S. Sariciftci, F. Padinger, T. Fromherzet, J.C. Hummelen, 2.5% Efficient Organic Plastic Solar Cells. *Appl. Phys. Lett.*, 78, 6, (2001), 841-843.
- [7] P. Peumans, S.R. Forrest, Very-High-Efficiency Double-Heterostructure Copper Phthalocyanine/C60 Photovoltaic Cells, *Appl. Phys. Lett.* 79(1), (2001), 126-128.
- [8] M.A. Xue, S. Uchida, B.P. Rand, Et S.R. Forrest, 4.2% Efficient Organic Photovoltaic Cells With Low Series Resistances. *Appl. Phys. Lett.* 84(16), (2004), 3013- 3015.
- [9] [Http://Www.Solarbuzz.Com/News/Newseute11.Htm](http://Www.Solarbuzz.Com/News/Newseute11.Htm).

- [10] P. Campbell, M.A. Green, High Performance Light Trapping Textures For Monocrystalline Silicon Solar Cells, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 65, 1-4, (2001), 369-375.
- [11] Mme Tchouar (Nee Malti) Ilhem , " Etude, Modélisation, Simulation De Cellule Solaire Organique. ", Université Abou-Bekr Belkaïd – Tlemcen, Faculté Des Sciences – Département De Physique – Doctorat En Sciences ,Spécialité : Energies Renouvelables.
- [12] R.M.Erahi-Chenni «Amélioration De La Commande P&O Par Une Détection Synchrone Du Courant De Batterie» *Revue De Icesd*,P(113-121) 2011.
- [13] M. Green, K. Emery, K. Buecher, D.L. King, S. Igari, *Progress In Photovoltaics : Res. Appl* 5, 51, 1997.
- [14] D. Meissner, *Photon* 2, 34-37 1999.
- [15] Zouhair El Jouad. *Realisation Et Caracterisation Des Cellules Photovoltaïques Organiques. Physique [Physics]. Université D'angers, 2016. Français. Nnt : 2016ange0022*
- [16] A.Touahri, ""Étude Du Rayonnement Solaire En Vue De L'optimisation Des Systèmes Photovoltaïque"" , Mémoire De Master, Université De Adrar, 2013
- [17] [Http://Fr.Wikipedia.Org/Wiki/Semi-Conducteur\\_Organique.](http://fr.wikipedia.org/wiki/Semi-conducteur_organique)
- [18] P. Destruel Et I. Séguy, *Techniques De L'ingénieur*, Dossier Re25-1,(1982).
- [19] Y. Nagamune, H. Watabe, F. Sogawa Et Y. Arakawa, *Applied Physics Letters*, 67, 1535,(1995).
- [20] M. Theander, A. Yartsev, D. Zigmantas, V. Sundström, W. Mammo, M.R. Andersson Et O.Inganäs, *Physical Review B*, 61, 12957,(2000).
- [21] P. Peumans, A. Yakimov Et S.R. Forrest, *Journal Of Applied Physics* 2003, 93, 3693

- [22] E. Gautier, A. Lorin, J. M. Nunzi, A. Schalchli, J.J. Benattar, And D. Vital, Applied Physic Letters 69, 1071-1073 .(1996).
- [23] S.Kirchmeyer And K. Reuter, Journal Of Material Chemistry 15, 2077-2088 (2005).
- [24] A. J. Miller, R. A. Hatton, And S. R. P. Silva, Applied Physics Letters 89, 133117-3 (2006).
- [25] M. Urien, G. Wantz, E. Cloutet, L. Hirsch, P. Tardy, L. Vignau, H. Cramail Et J.P. Parneix, Organic Electronics, 8, 727(2007).
- [26] Mathieu Urien, Thèse Cellules Photovoltaïques Organiques A Base Copolymères A Blocs De Type Rigide-Flexible Par Présente A L'université Bordeaux I École Doctorale Des Sciences Chimiques Le 16 Octobre(2008).
- [27] Mohamad Chakaroun, "Evaluation De Nouveaux Concepts D'encapsulation De Cellules Solaires Organiques Pour L'amélioration De Leurs Durée De Vie " , L'université De Limoges,2010.
- [28] M.Yakhlef Et O.Kammoum, "Étude Des Panneaux Solaires: Application Pour Le Pompage", Université De Constantine, 2011.
- [29] [Http://Www.questmachine.org/article/cellules\\_photovolta%C3%AFques\\_%C3%A0\\_base\\_de\\_poly\\_m%C3%A8res](http://www.questmachine.org/article/cellules_photovolta%C3%AFques_%C3%A0_base_de_poly_m%C3%A8res).
- [30] H. Fatiha Et R. Aicha « Modélisation Et Simulation D'un Système Photovoltaïque » Thèse Master Académique En Electrotechnique Université Kasdi Merbah Ouargla 2014
- [31] Mezaache Hatem, " Poursuite Du Point Maximale D'un Système Photovoltaïque Par Les Méthodes Intelligentes", Mémoire De Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2016
- [32] Benseddik O., Djaloud F., " Étude Et Optimisation D'un Système Photovoltaïque ", Mémoire De Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2012.

- [33] C. Cabal, « Optimisation Energétique De L'étage D'adaptation Electronique Dédie À La Conversion Photovoltaïque », Thèse De Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse Iii, France, 2008
- [34] S. A. Tadjer, « Etude D'un Système De Compensation D'harmonique En Utilisant Un Générateur Photovoltaïque », Mémoire De Magister, Université Mouhamed Bougara- Bumerdes, Algérie, 2008.
- [35] Aamarouayache Mohamed, « Contribution À L'optimisation D'une Chaîne De Conversion D'énergie Photovoltaïque », Doctorat En Sciences En Electrotechnique Option ,2014
- [36] J. Ferrieux, F. Forest, « Alimentations A Découpage Convertisseurs A Résonance: Principes Composants Modélisation ». Paris, France: Dunod, 1999.
- [37] M. Angel Cid Pastor, « Conception Et Realisation De Modules Photovoltaïques Electroniques », Docteur De L'institut National Des Sciences Appliquées De Toulouse, 2006
- [38] M. Angel Cid Pastor, « Conception Et Realisation De Modules Photovoltaïques Electroniques », Docteur De L'institut National Des Sciences Appliquées De Toulouse, 2006
- [39] M. Boukli-Hacene Omar « Conception Et Réalisation D'une Génération Photovoltaïque Muni D'un Convertisseur Mppt Pour Une Meilleure Gestion Energétique » Magister En Automatique Productique Informatique 2010/2011.
- [40] A. F. Boehinger, "Self-Adaptive Dc Converter For Solar Spacecraft Power Supply", Ieee Transactions On Aerospace And Electronic Systems, 1968, Pp. 102-111.
- [41] J.B.R. Enslin, M.S. Wolf, D.B. Snyman, W. Swiegers, "Integrated Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Converter", Ieee Transactions On Industrial Electronics, Vol. 44 (6), Dec. 1997, Pp.769 -773

- [42] Z. M. Salameh, M. A. Casacca, And W. A. Lynch, « A Mathematical Model For Lead-Acid Batteries », Ieee Transactions On Energy Conversion, Vol 7, N°1, Pp 93-98, 1992.
- [43] Abid Ayyoub, Bechlaghem Yassine, ‘‘ Etude Et Dimensionnement D'un Convertisseur Sepic Pour Une Application Photovoltaïque ‘’, Mémoire De Master, Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen, 2017.
- [44] 27 Nettari Y., ‘‘ Commandes Robustes Et Intelligentes Des Convertisseurs Dc-Dc’’, Mémoire De Master, Université Ferhat Abbas Sétif, 2014.
- [45] Meddah M., Bourahla M., Bouchetata N., ‘‘ Synthèse Des Convertisseurs Statiques Dc/Ac Pour Les Systèmes Photovoltaïques. Revue Des Energies Renouvelables, 2011.
- [46] Belkacem M., ‘‘ Etude Et Optimisation Du Transfert D'énergie Électrique En Conversion Photovoltaïque Par La Recherche Du Point De Puissance Maximale (Mppt) ‘’, Mémoire De Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2015.
- [47] Ndiaye Papa Amadou Et Kawther Achari , ‘‘ Production D'énergie Électrique À Partir D'un Système Photovoltaïque ‘’, Mémoire De Master Université 8 Mai 1945 – Guelma Faculté Des Sciences Et De La Technologie Département De Génie Electrotechnique Et Automatique
- [48] Dang Minh Trung, "Élaboration De Cellules Solaires Photovoltaïques À Base B De Polymères Conjugues, Études Des Systèmes Reticulables", , Thèse De Doctorat , L'université De Bordeaux1, 2009.
- [49] Sarah Taleb Dehkordi ',Stabilisation De Dispositifs Photovoltaïques Organiques Par Réseaux Semi- Interpénètres De Polymères ,Thèse De Doctorat , De L'Université De Cergy-Pontoise 19 Jul 2016.
- [50] J. M.Nunzi, Comptes Rendus Physique ,Vol13,Pp.523-542,2002.

- [51] AZIZ Halima SADDEK Somia ., ‘‘ Modélisation et simulation d'une cellule photovoltaïque organique inversée" , , Mémoire De Master, UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE DEPARTEMENT DES SCIENCES TECHNOLOGIES;2017
- [52] TOUAMA Tariq, HAFIDI Nouh , " Commande d'un MPPT avec un convertisseur DC/DC pour un systèm photovoltaïque», Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, FACULTE DE TECHNOLOGIE, DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA
- [53] GHATAOUI TOUHAMI " ETUDE ET OPTIMISATION D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE ORGANIQUE A BASE DE POLYMERE DANS UN SITE SAHARIEN", Thèse Pour l'Obtention du Diplôme de Doctorat En Sciences Spécialité, Génie Electrique, Faculté de Technologie, UNIVERSITE DE TAHRI Mohamed –BECHAR.