



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Republique Algerienne Democratique Et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي التبسي - تبسة

Université Larbi Tébessi- Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Électrique

## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de Master Académique**

En : **Electronique**

**Spécialité :Instrumentation**

Par : BAYOU Meriem et YOUSFI Mohamed Hamza

**Sujet**

# Commande d'un Système Photovoltaïque soumis à un Ombrage Partiel

Évalué le : 21/06/2021, par le jury composé de :

Amier Toufik  
Ounnas Djamel  
Gouder Soraya

MCA  
MCB  
MCB

Président  
Rapporteur  
Examineur

Promotion : 2020/2021

# Remerciements

*Je remercie Allah le tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté pour achever ce mémoire.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude au **Dr. Ounnas Djamel**, avant tout pour avoir proposé ce sujet, ensuite pour avoir pris la responsabilité de notre encadrement et enfin pour nous avoir guidés tout au long de la période qu'après cette étude.*

*Nous remercions chaleureusement **les membres du jury** pour avoir accepté d'évaluer ce travail.*

*Je voudrais également remercier les enseignants du département de génie électrique de l'université Larbi Tébessi-Tébessa et les camarades de la promo : Master Instrumentation durant les années:2019/2021*

# Dédicaces

*Je dédie ce travail à mes parents qui m'ont soutenu durant la réalisation de ce travail, et qu'ils étaient avec moi durant tous les obstacles que jeles rencontré dans mavie.*

*A mes sœurs et mesfrères  
que Dieu lesbénisses.*

*Ames amies que j'ai toujours trouvé à mes côté.*

*Mariem*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à ma mère qui m'ont  
soutenu durant la réalisation de ce travail,  
et qu'ils étaient avec moi durant tous les obstacles  
que je les rencontré dans ma vie.*

*A ma femme*

*Que Dieu le bénisse.*

*A mes amies que j'ai toujours trouvé à mes coté.*

*hamza*

---

# Sommaire

**Remerciements**

**Dédicaces**

**Sommaire**

**Liste des symboles et des abréviations**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction générale**

## **Chapitre I : Généralités sur le système photovoltaïque.**

1. Introduction	1
2. L'énergie solaire	3
2.1. Type de l'énergie solaire	4
3. Rayonnement solaire	4
3.1. Caractéristique du rayonnement solaire	4
3.1.1. Atmosphère	4
3.1.2. Masse d'air	5
3.2. Les différents types de rayonnement	5
4. L'énergie solaire photovoltaïque	7
4.1. Effet photovoltaïque	7
4.2. Principe générale	7
4.3. Topologies de systèmes photovoltaïques	9
4.3.1. Les systèmes photovoltaïques autonomes	9
4.3.1.1. Pompage de l'eau :	9
4.3.1.2. Centrales photovoltaïques :	10
4.3.2. Les systèmes PV décentralisés connectés au réseau	11
4.3.3. Les systèmes PV décentralisés hybride	11
4.4. Les cellules photovoltaïques	12
4.4.1. Types de cellules photovoltaïques	13
5. Modélisation d'un générateur photovoltaïque	14
5.1. Modèle d'une cellule photovoltaïque à une diode	14
6. Module Photovoltaïque	15
7. Caractéristique électrique d'un générateur photovoltaïque	16

---

8. Influence de la température et l'ensoleillement sur le rendement	18
8.1. Influence de l'ensoleillement	18
8.2. Influence de la température	20
9. Association des modules PV	21
9.1. Association en série	22
9.2. Association en parallèle	23
9.3. Association mixte (série/parallèle)	23
10. Conclusion	25

## **Chapitre II : Convertisseurs DC-DC dans les systèmes PV**

1. Introduction	26
2. convertisseurs DC-DC	26
2.1. Types des convertisseurs DC-DC	27
3. Convertisseur Boost	28
3.1. Dimensionnement Du convertisseur DC/DC(Boost)	31
3.3. Résultats de Simulation	32
4. Conclusion	37

## **Chapitre III : Approche de commande adoptée**

1. Introduction	37
2. Commande MPPT	37
2.1 Principe de MPPT	37
2.2. Suivi de la puissance maximale du générateur photovoltaïque	38
3. Types d'algorithme de MPPT	39
4. Technique de commande de MPPT	39
4.1. Méthode de perturbe et d'observe (P&O)	41
4.1.1. Résultats de simulation de l'algorithme P & O	43
4.2. Méthode d'Incrémentale Conductance	47
4.2.1. Résultats de simulation de l'algorithme INC	51
5. Conclusion	57

## **CHAPITRE VI : Simulation MPPT D'un Système PV avec Ombrage Partiel**

1. Introduction	58
2. Simulation d'ombrage partiel	58
2.1. Résultat de simulation	59
3. les commandes classiques sous l'ombrage partiel	60

---

3.1 Commande PO sous l'ombrage partiel	<b>60</b>
3.2 : Simulation de la méthode INC	<b>64</b>
4. conclusion	<b>67</b>
<b>Conclusion générale</b>	
<b>Références bibliographiques</b>	
<b>Résumé</b>	

## Liste des symboles et des abréviations

$N_s$  : nombre les cellules en série.

$N_p$  : nombre les cellules en parallèle.

$V_{co}$  : tension circuit ouvert (v).

$I_{sc}$  : courant de court-circuit (A).

$A_m$  : masse d'air

$I_0$  : Courant de saturation de la diode

$N$  : facteur d'idéalité de la diode

$K$  : constante de Boltzmann ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K)

$Q$  : Charge électrique (en coulomb)

$T$  : température en Kelvin

$I_{ccM}$  : Courant de court circuit référence du module

$a$  : Le coefficient de variation du courant en fonction de la température ( $a = 0.65e^{-3}$ )

$T_{ref}$  : La température référence  $298^{\circ}k$  ( $25^{\circ}C$ )

$I_{ccM}$  : Le Courant de court circuit mesuré sous une irradiation  $1000W/m^2$

$K$ : la constante de Boltzmann  $1,38 \times 10^{-23} J / K$ ,

$q$  : est la charge de l'électron  $1,6 \times 10^{-19} C$ .

$I_{scn}$  : Est le courant de court-circuit nominal au STC,

$V_{ocn}$  : est la tension nominale à vide du STC,

$K_v$  : Coefficient de température de la tension de circuit ouvert à  $I_{sc}$ .

$I_{PVn}$ : Courant photonique nominal en STC

$T$  : Température de la cellule en Kelvin

$T_n$  : Température nominale en Kelvin au STC,  $25^{\circ} C$

$K_i$ : Coefficient de température du courant de court-circuit

---

## Liste des symboles et des abréviations

---

E: Éclairement solaire en  $1 \text{ kW} / 2$

$E_n$  : Rayonnement solaire en  $\text{KW} / \text{c}2$ .

IPV : est un courant photonique généré par la lumière

I0: Saturation cellulaire du courant d'obscurité

RP: Résistance de shunt en  $\Omega$

RS: Résistance série en  $\Omega$

a : Facteur d'idéalité [1.6 pour le silicium].

$\alpha$  : Le rapport cyclique

$I_{pv}$  : Courant photovoltaïque (A)

$V_{pv}$  : Tension photovoltaïque (V)

L : l'inductance de filtre de convertisseur Boost

$i_l$  : Courant moyen passant à travers l'inductance

$I_{ch}$  : Courant de charge

$V_{ch}$  : Tension de charge

IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistor

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

DC/DC : Hacheur Courant Continu/Courant Continu

MOSFET : Métal Oxyde Silicone Field

P&O (Perturbe et Observe)

---

Liste des figures

	<b>ChapitreI</b>	
<b>Figure I.1</b>	Principe de la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire	3
<b>Figure I.2</b>	Type d'énergie solaire	4
<b>Figure I.3</b>	Description du nombre de masse d'air	5
<b>Figure I.4</b>	Différents types du rayonnement	6
<b>Figure I.5</b>	L'effet photovoltaïque	7
<b>Figure I.6</b>	Principe du fonctionnement d'une jonction P-N	8
<b>Figure I.7</b>	Systèmes photovoltaïques autonomes	9
<b>Figure I.8</b>	Schéma d'un système photovoltaïque en mode autonome (pompage)	10
<b>Figure I.9</b>	Schéma d'un système photovoltaïque en mode autonome (centrales)	10
<b>Figure I.10</b>	Systèmes PV décentralisés connectés au réseau	11
<b>Figure I.11</b>	Mode d'exploitation d'un système photovoltaïque (hybride)	12
<b>Figure I.12</b>	Principaux types de cellules	13
<b>Figure I.13</b>	Circuit de cellule PV l' équivalent	14
<b>Figure I.14</b>	Module photovoltaïque	16
<b>Figure I.15</b>	Caractéristique I-V d'un générateur photovoltaïque	17
<b>Figure I.16</b>	Caractéristique P-V d'un générateur photovoltaïque	17
<b>Figure I.17</b>	Courbes I-V d'un panneau à divers ensoleillements à T=25°C	19
<b>Figure I.18</b>	Courbes P-V d'un panneau à divers ensoleillements à T=25°C	19
<b>Figure I.19</b>	Courbes P(A) d'un panneau à divers ensoleillements à T=25°C	20
<b>Figure I.20</b>	Courbes P(A) d'un générateur PV pour différentes températures	20
<b>Figure I.21</b>	Courbes P-V d'un générateur PV pour différentes températures	21
<b>Figure I.22</b>	Courbes I-V d'un générateur PV pour différentes températures	21
<b>FigureI.23</b>	Association en série I-V des modules PV	22
<b>Figure I.24</b>	Association en série P-V des modules PV	22
<b>Figure I.25</b>	Association en parallèle I(V) des modules PV	23
<b>Figure I.26</b>	Association en parallèle I(V) des modules PV	23
<b>Figure I.27</b>	Association mixte (série/parallèle) I(V) des modules PV	24
<b>Figure I.28</b>	Association mixte (série/parallèle) P(V) des modules PV	24

---

## Liste des figures

---

### Chapitre II

<b>Figure II.1</b>	Convertisseur DC/DC	26
<b>Figure II.2</b>	Forme de variation en fonction du rapport cyclique	27
<b>Figure II.3</b>	Fonctionnement d'un convertisseur Boost	28
<b>Figure II.4</b>	Principe de fonctionnement d'un convertisseur Boost pendant la fermeture de l'interrupteur k	29
<b>Figure II.5</b>	Principe de fonctionnement d'un convertisseur Boost pendant l'ouverture de l'interrupteur k	30
<b>Figure II.6</b>	Les Formes d'ondes de la tension et du courant de sortie	31
<b>Figure II.7</b>	Modèle Simulink de convertisseur Boost	33
<b>Figure II.8</b>	Réponse de la tension de sortie du convertisseur boost	33
<b>Figure II.9</b>	Courant de sortie du convertisseur boost	34
<b>Figure II.10</b>	Tension de sortie du convertisseur boost	34
<b>Figure II.11</b>	Courant de sortie du convertisseur boost	35
<b>Figure II.12</b>	Tension de sortie du convertisseur boost	35
<b>Figure II.13</b>	Courant de sortie du convertisseur boost	36

### Chapitre III

<b>Figure III.1</b>	Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT	38
<b>Figure III.2</b>	Caractéristique de puissance dans la P&O	40
<b>Figure III.3</b>	Algorithme de la méthode de P&O	41
<b>Figure III.4:</b>	Schéma de la commande MPPT P&O en MATLAB-SIMULINK	42
<b>Figure III.5</b>	Modèle Simulink du système PV commandé par l'algorithme P & O	43
<b>Figure III.6</b>	Température	44
<b>Figure III.7</b>	Rapport cyclique	44
<b>Figure III.8</b>	Radiation solaire	45
<b>Figure III.9</b>	Courbe de puissance de sortie P&O	45
<b>Figure III.10</b>	Courbe de tension de sortie P&O	46
<b>Figure III.11</b>	Courbe de courant de sortie P&O	46
<b>Figure III.12</b>	Incrémentale Conductance (INC)	48
<b>Figure III.13</b>	Organigramme d'un algorithme de conductance incrémentielle	49
<b>Figure III.14</b>	Schéma de la commande MPPT INC en MATLAB-SIMULINK	50
<b>Figure III.15</b>	Modèle Simulink du système PV commandé par l'algorithme INC	51

---

## Liste des figures

---

<b>Figure III.16</b>	Radiation solaire	52
<b>Figure III.17</b>	Température	52
<b>Figure III.18</b>	Rapport cyclique	53
<b>Figure III.19</b>	Courbe de puissance de sortie INC	53
<b>Figure III.20</b>	Courbe de Tension de sortie INC	54
<b>Figure III.21</b>	Courbe de coutant de sortie INC	54
<b>Figure III.22</b>	Comparaison puissance	55
<b>Figure III.23</b>	Comparaison tension	55
<b>Figure III.24</b>	Comparaison courant	56
<b>Figure III.25</b>	Comparaison rapport cyclique	56

### Chapitre VI

<b>Figure VI.1</b>	Schéma de simulation d'un panneau PV avec l'ombrage partiel	59
<b>Figure VI.2</b>	Courbe de courant tension et puissance du panneau avec l'ombrage partiel	59
<b>Figure VI.3</b>	Schéma SIMULINK de l'algorithme PO sous ombrage partiel	61
<b>Figure VI.4</b>	Schéma SIMULINK de l'algorithme PO sous ombrage partiel	60
<b>Figure VI.4</b>	Courbe de puissance de sortie du panneau avec l'ombrage partiel	62
<b>Figure VI.5</b>	Courbe de puissance d'entrée et sortie du panneau avec l'ombrage partiel	62
<b>Figure VI.6</b>	Courbe de tension d'entrée et sortie P&O avec l'ombrage partiel	63
<b>Figure VI.7</b>	Courbe de coutant d'entrée et sortie P&O avec l'ombrage partiel	63
<b>Figure VI.8</b>	Schéma SIMULINK de l'algorithme incrémental sous ombrage partiel	64
<b>Figure VI.9</b>	Courbe de puissance d'entrée et sortie INC du panneau avec l'ombrage partiel	65
<b>Figure VI.10</b>	Courbe de tension d'entrée et sortie INC avec l'ombrage partiel	65
<b>Figure VI.11</b>	Courbe de coutant d'entrée et sortie INC avec l'ombrage partiel	66

---

**Liste de tableau**

<b>Tableau II.1</b>	Rapports de transformation des principaux convertisseurs DC-DC	28
<b>Tableau III.1</b>	Résumé du fonctionnement de l'algorithme P&O.	41
<b>Tableau VI.1</b>	efficacité de commande	66

# **Introduction générale**

### Introduction générale :

L'énergie a été depuis les temps anciens le moteur principal de la vie humaine, elle joue un rôle très important dans l'activité journalière et dans le développement des pays [1].

L'énergie solaire est une source d'énergie inépuisable et propre car elle ne provoque pas d'émissions de gaz nocifs pour notre environnement. Elle est disponible partout et sans cesse renouvelable. Son exploitation par l'homme devrait suffire les besoins énergétique de toute l'humanité [2].

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables les plus utilisées. Elle consiste à convertir directement le rayonnement électromagnétique en électricité grâce à l'effet photovoltaïque. Les panneaux photovoltaïques (PV) ont la capacité de transformer les photons en électrons c'est-à-dire l'énergie sous forme de courant continu ainsi directement utilisable [2].

Les systèmes PV génèrent une puissance dépendante du changement des conditions climatiques ; telles que le rayonnement solaire et la température des panneaux et de la variation de la charge. Par conséquent, une technique de recherche du point de puissance maximale (PPM) destinée à contrôler le rapport cyclique du convertisseur DC/DC est nécessaire pour garantir un fonctionnement optimal de la chaîne PV dans les différentes conditions d'exploitation. Plusieurs travaux ont abordé le problème de la recherche du point de fonctionnement permettant de soutirer le maximum d'énergie des modules PV en utilisant différentes méthodes dites MPPT (maximum power point tracking). Les plus connues de ces méthodes sont (Perturbe et Observe (P&O) , incrémentation de conductance (INC). Leurs dépendances de la température, de l'ensoleillement et le niveau de dégradation de la caractéristique rendent l'implémentation de ces méthodes très complexe [3].

Dans ce contexte, ce mémoire est divisé en quatre chapitres comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présentons des notions générales sur le soleil, l'énergie solaire et l'énergie photovoltaïque.

Le deuxième chapitre sera consacré à la modélisation d'un système photovoltaïque.

Le troisième chapitre présentera le principe des deux méthodes MPPT utilisée dans cette étude à savoir perturbe and observe (P&O) et incrémentation de conductance (INC).

## **Introduction générale**

---

Le quatrième chapitre détaillera la simulation du système PV tout en donnant les principaux résultats par une étude comparative entre les deux techniques de commande utilisées sous des conditions de fonctionnement soumis à un ombrage.

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

# **CHAPITRE I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques**

## 1. Introduction :

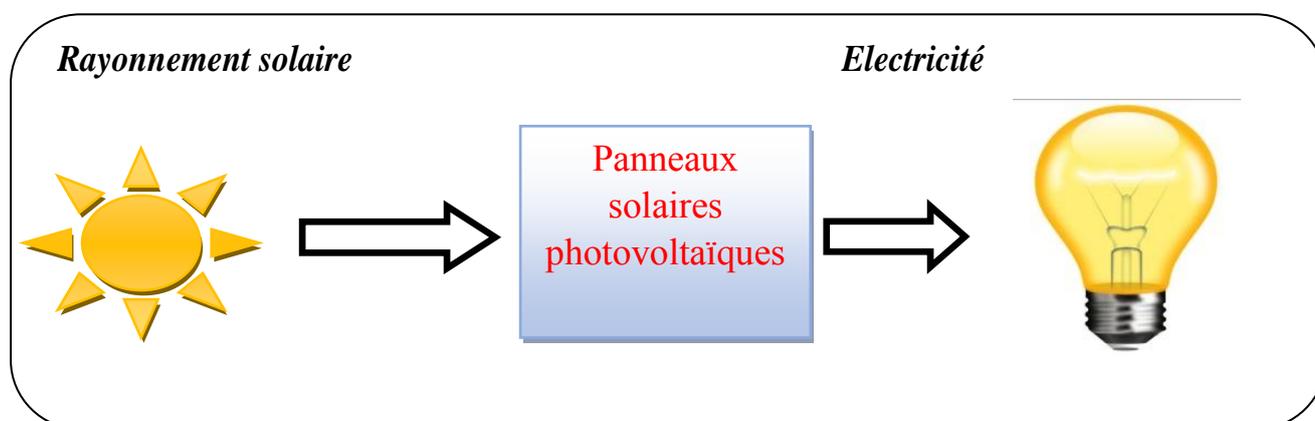
L'énergie solaire est l'énergie diffusée par le rayonnement du soleil. Elle est à l'origine de toutes les formes de production énergétique renouvelable aujourd'hui utilisées sur terre, à l'exception de l'énergie nucléaire, l'homme utilise l'énergie solaire pour la transformer en d'autres formes d'énergie : énergie chimique (les aliments que notre corps utilise), énergie cinétique, énergie thermique, énergie électrique ou biomasse énergie photovoltaïque [4].

Les systèmes photovoltaïques sont particulièrement bien adaptés à la production décentralisée d'électricité et les sites isolés : électrification rurale (pour les besoins domestiques et les besoins communautaires : centres de santé, écoles, etc.), pompage de l'eau, réfrigération, télécommunications, etc [4].

Ils constituent donc une solution de choix pour les populations rurales qui ne pourront pas être reliées aux réseaux électriques conventionnels, même pour les villes on peut économiser la consommation d'énergie par l'utilisation des panneaux sur le toit ou sur les façades des bâtiments [4].

## 2. Energie solaire:

L'énergie solaire électrique est le domaine qui vise à transformer la lumière du soleil en électricité. Tandis que le solaire photovoltaïque le fait directement, la solaire thermodynamique passe par un détour (l'énergie thermique) et accuse d'une perte d'efficacité globale comparé au photovoltaïque principe de l'énergie solaire photovoltaïque consiste à transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque [5].



**Figure 1.1** : Principe de la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

## 2.1. Type de l'énergie solaire :

Il existe deux types d'énergie solaire : énergie photovoltaïque et énergie thermique. L'énergie photovoltaïque transforme directement le rayonnement du soleil en électricité. Le solaire thermique capte sa chaleur. Des technologies diverses permettent d'utiliser cette énergie, aussi bien au niveau local que dans de grandes installations industrielles [6].

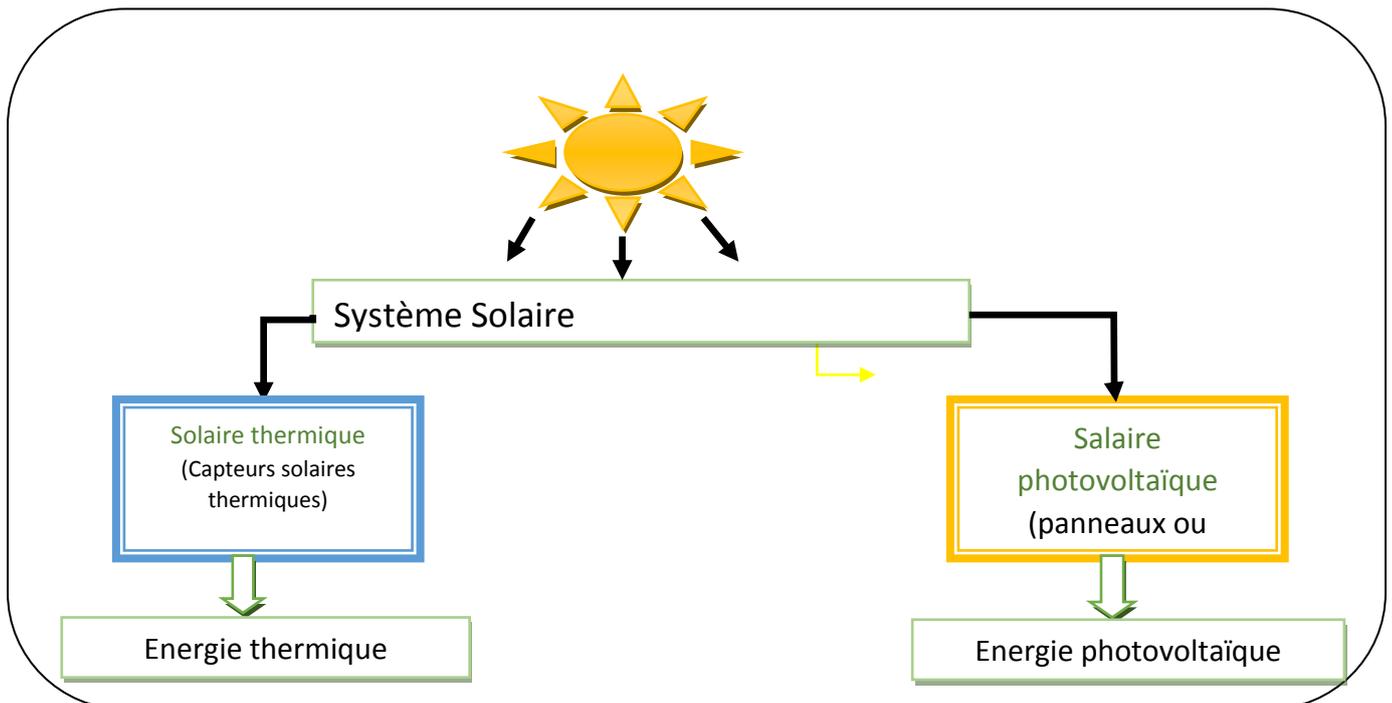


Figure I.2 : Types d'énergie solaire.

## 3. Rayonnement solaire:

Le rayonnement solaire est la matière première de l'énergie solaire, c'est une propagation d'une onde de longueur qui varie entre 0.2 et  $4.10^{-6}m$ , sans la nécessité d'un support physique pour se déplacer, il arrive au sol après la perte d'une grande partie de son intensité, à cause d'une partie de l'ultraviolet, qui s'absorbent [6].

### 3.1. Caractéristique du rayonnement solaire :

#### 3.1.1. Atmosphère :

Les couches atmosphériques modifient profondément la distribution spectrale du rayonnement solaire qui subit une atténuation et une modification de son spectre, à la suite des phénomènes complexes d'absorption et de diffusion par les poussières et les aérosols (les poussières des

condenses, des micros cristaux, des micros gouttelettes, des fumées de pollution industrielle dont la taille varie de 0.5 à 10  $\mu$  m.).

Ainsi la couche d’ozone absorbe la majeure partie du rayonnement ultraviolet, tandis que la vapeur d’eau absorbe le rayonnement infrarouge [6].

### 3.1.2. Masse d’air :

On appelle masse d’air, la perte de l’énergie solaire par l’absorption atmosphérique.

$$Am = \frac{1}{\cos \theta} \quad (I.1)$$

$Am$  représente l’angle entre la position du soleil et le zénith exprimée en (Dag) [6].

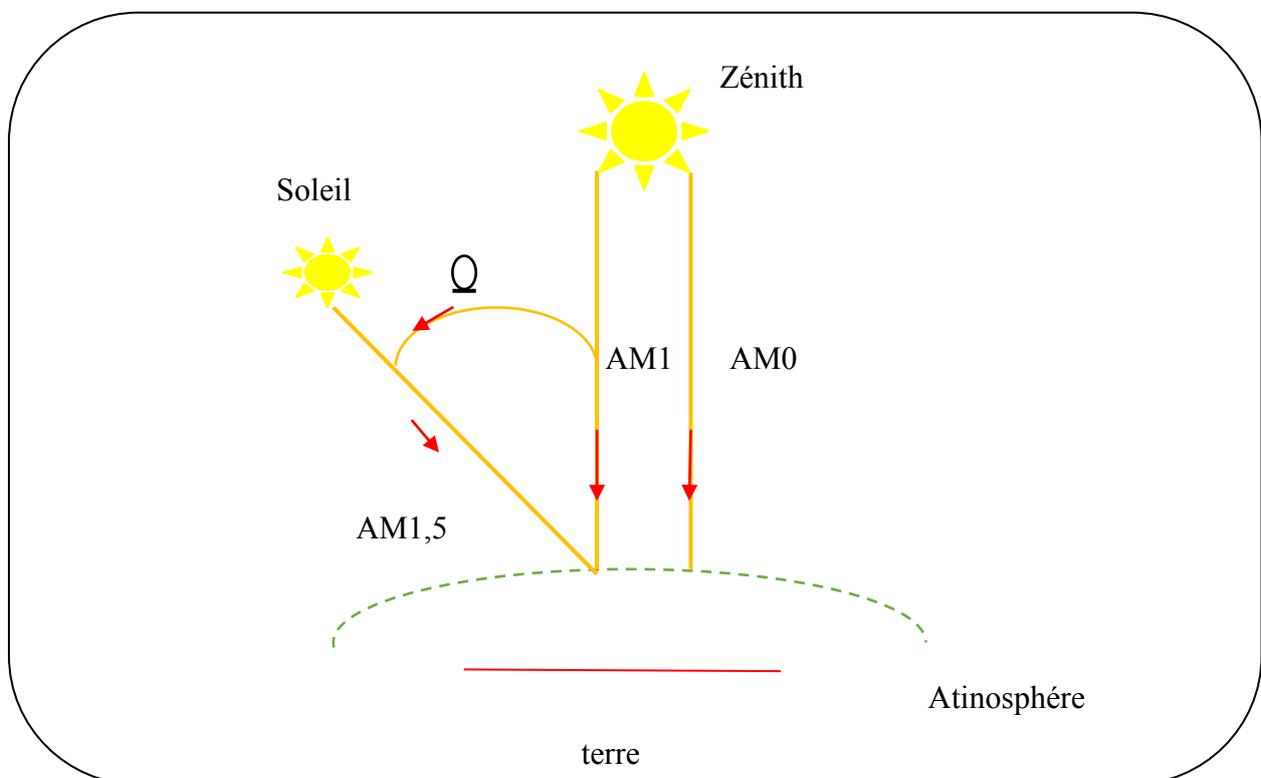


Figure I.3 : Description du nombre de masse d’air.

## 3.2. Différents types de rayonnement

### a) Rayonnement direct RD :

Le rayonnement direct est reçu directement du soleil, sans diffusés par l’atmosphère ce rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres et peut par des modules.

**b) Rayonnement diffus  $R_d$  :**

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable ...).

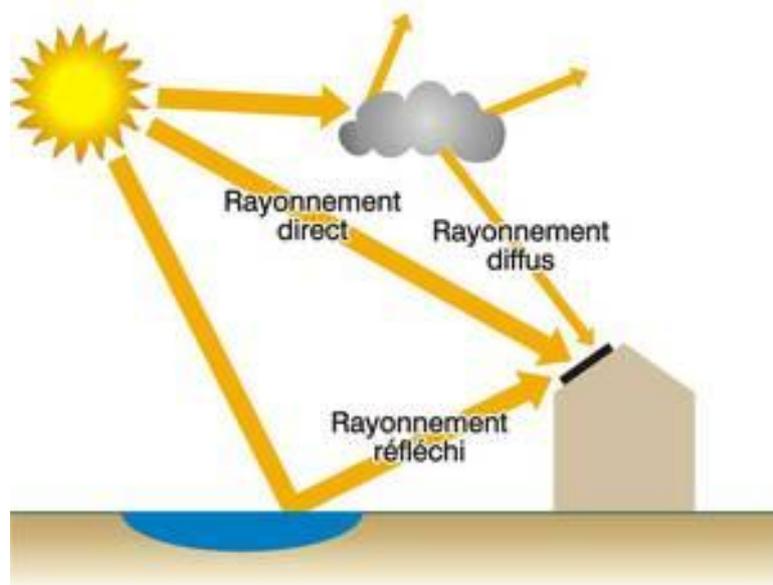
**c) Rayonnement solaire réfléchi :**

L'albédo est la partie réfléchie par le sol. Il dépend de l'environnement du site. Il faudra en tenir compte pour évaluer le rayonnement sur le plan incliné.

**d) Rayonnement global  $R_G$  :**

Le rayonnement global désigne l'intensité globale de flux solaire sur une surface réceptrice[7].

$$R_G = R_D + R_d \quad (I - 2)$$



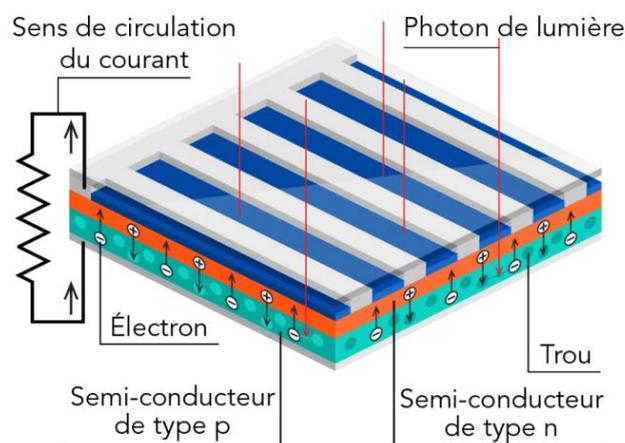
**Figure I.4 :** Différents types du rayonnement

**4.1. Effet photovoltaïque :**

L'énergie photovoltaïque (PV) est la transformation directe de la lumière en électricité. A l'encontre de l'énergie solaire passive, qui utilise les éléments structuraux d'un bâtiment pour mieux le chauffer (ou le refroidir), et de l'énergie solaire active, qui utilise un caloporteur (liquide ou gazeux) pour transporter et stocker la chaleur du soleil (on pense au chauffe-eau), l'énergie photovoltaïque n'est pas une forme d'énergie thermique. Elle utilise une photopile pour transformer directement l'énergie solaire en électricité [8].

## 4.2. Principe générale :

La formation d'une jonction réalisée par le dopage du silicium représente le principe de base de la cellule solaire. La création d'une barrière de potentiel dans le semi-conducteur permet de séparer les électrons et les trous qui sont générés par l'absorption de la lumière dans le matériau. Lors de la formation de la jonction, les électrons diffusent vers la zone p et les trous vers la zone n (alignement du niveau de Fermi), afin de tendre vers un équilibre Thermodynamique. Le dipôle, créé aux bords de la jonction, entraîne la formation d'un champ Électrique qui s'oppose à l'équilibre à tout déplacement de charges [9].



**Figure I.5:** Effet photovoltaïque.

La polarisation de la jonction en direct permet alors de diminuer la hauteur de la barrière de potentiel et donc l'intensité de champ électrique permettant le passage de porteurs de charges. A l'opposé, une polarisation inverse augmentera la hauteur de la barrière. Dopage de type N: Le dopage de type N (négatif), qui consiste à introduire dans la structure cristalline du Semi-conducteur des atomes étrangers qui ont la propriété de donner chacun un électron Excédentaire, libre de se mouvoir dans le cristal (ex: le phosphore).

- Dopage de type P: Le dopage de type P (positif) utilise des atomes dont l'insertion dans le réseau Cristallin donnera un trou excédentaire. (ex: le bore).

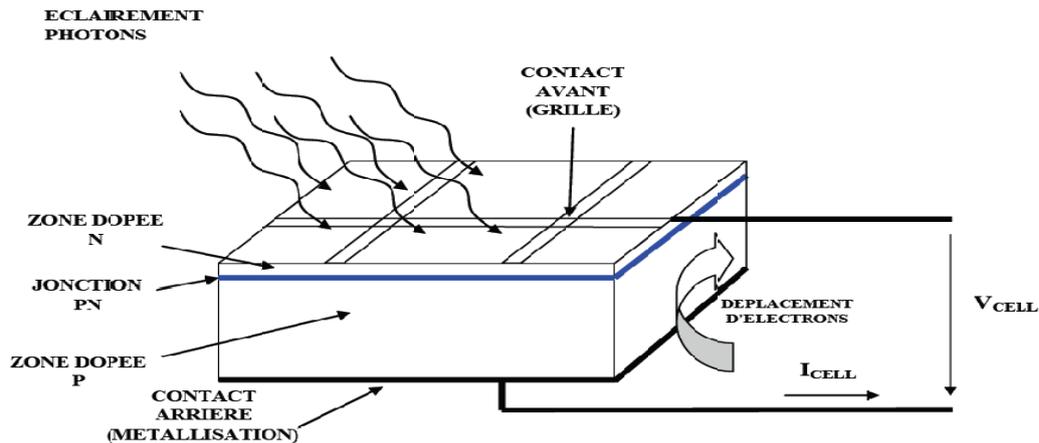


Figure I.6 : Principe du fonctionnement d'une jonction P-N

La relation courant-tension pour une diode idéale à l'obscurité est donnée par la relation [9]:

$$I = I_0 \left( \exp\left(\frac{q \times v}{n \times k \times T}\right) - 1 \right) \quad (I-3)$$

$I_0$  : Courant de saturation de la diode ;

$n$  : facteur d'idéalité de la diode ;

$k$  : constante de Boltzmann  $1,38064852 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$

$q$  : charge électrique (en coulomb)

$T$  : température en Kelvin

### 4.3. Topologies de systèmes photovoltaïques :

On distingue trois modes d'exploitation d'un système PV : autonome, connecté au réseau et hybride.

#### 4.3.1. Les systèmes photovoltaïques autonomes :

En système autonome, le générateur photovoltaïque représente la seule source d'énergie électrique pour alimenter des récepteurs. ce mode est adopté lorsque le réseau n'est pas disponible ou lorsque le fonctionnement des récepteurs dépend uniquement du fil de soleil (pompage, éclairage, climatisation, chauffage, etc.).

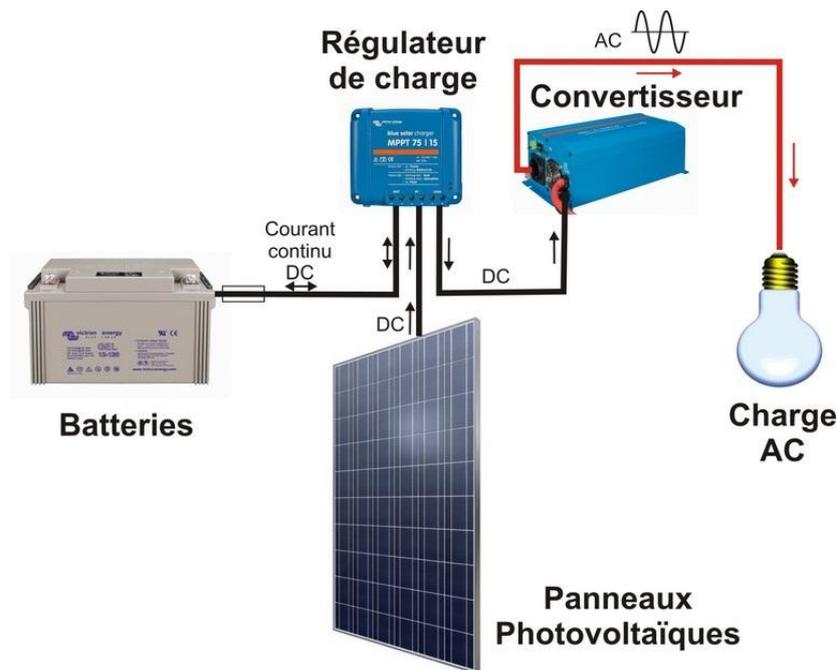


Figure I.7 : Systèmes photovoltaïques autonomes

#### 4.3.1.1. Pompage de l'eau :

Dans ce cas d'application, le fonctionnement se fait généralement au fil du soleil. Ainsi, le module PV alimente directement une pompe à travers un onduleur ; et ce tant que la puissance de sortie du module est capable de faire fonctionner la pompe.

Ce mode est plus efficace lorsqu'un stockage de l'eau est toujours possible. Un système de pompage d'eau peut être représenté par la figure I.8.

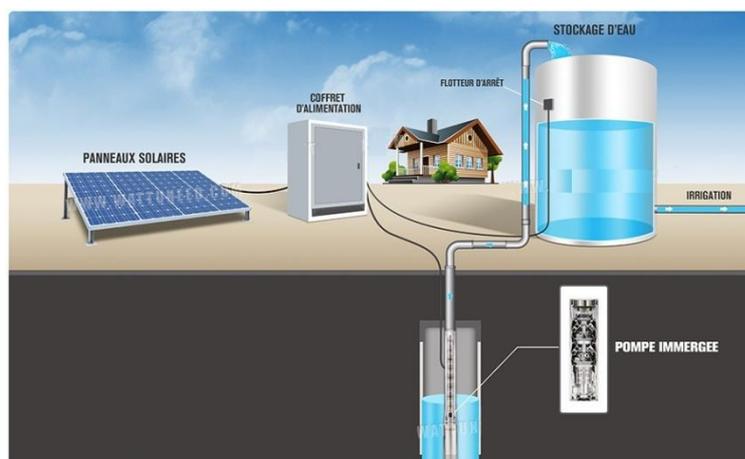


Figure I.8: Schéma d'un système photovoltaïque en mode autonome (pompage).

### 4.3.1.2. Centrales photovoltaïques :

Une centrale photovoltaïque est un ensemble de modules photovoltaïques connectés en séries ou en parallèles en vue de délivrer une puissance élevée.

Ce type de centrales est généralement utilisé pour l'électrification des régions éloignées du réseau et avec le minimum de coût. L'énergie offerte par les modules photovoltaïques passe par un étage hacheur et MPPT pour tirer le maximum d'énergie, un filtre et un onduleur ce qui garantit une énergie délivrée en continu et en alternatif. La figure suivante donne le principe de ces centrales.



Figure I.9: Système photovoltaïque en mode autonome (centrales).

### 4.3.2. Les systèmes PV décentralisés connectés au réseau :

Ont principalement une petite plage de puissance et sont installés sur le toit des bâtiments (installation sur toit plat) ou intégré aux façades des bâtiments. Les systèmes PV connectés au réseau centrale ont une puissance installée allant jusqu'à la plage en MW. Avec une telle centrale photovoltaïque, il est possible d'alimenter directement le réseau moyenne ou haute tension [10].

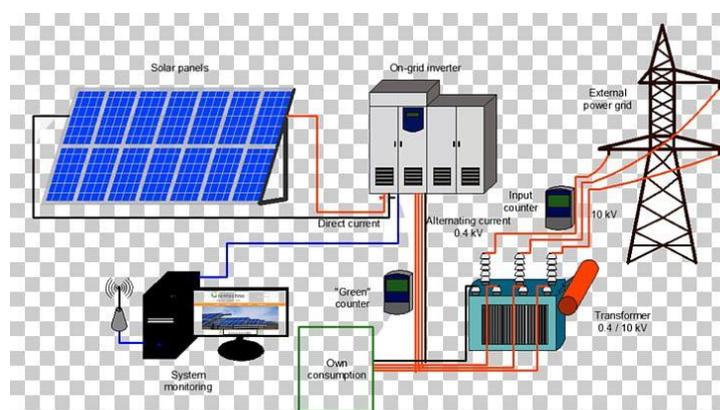


Figure I.10 : Systèmes PV décentralisés connectés au réseau

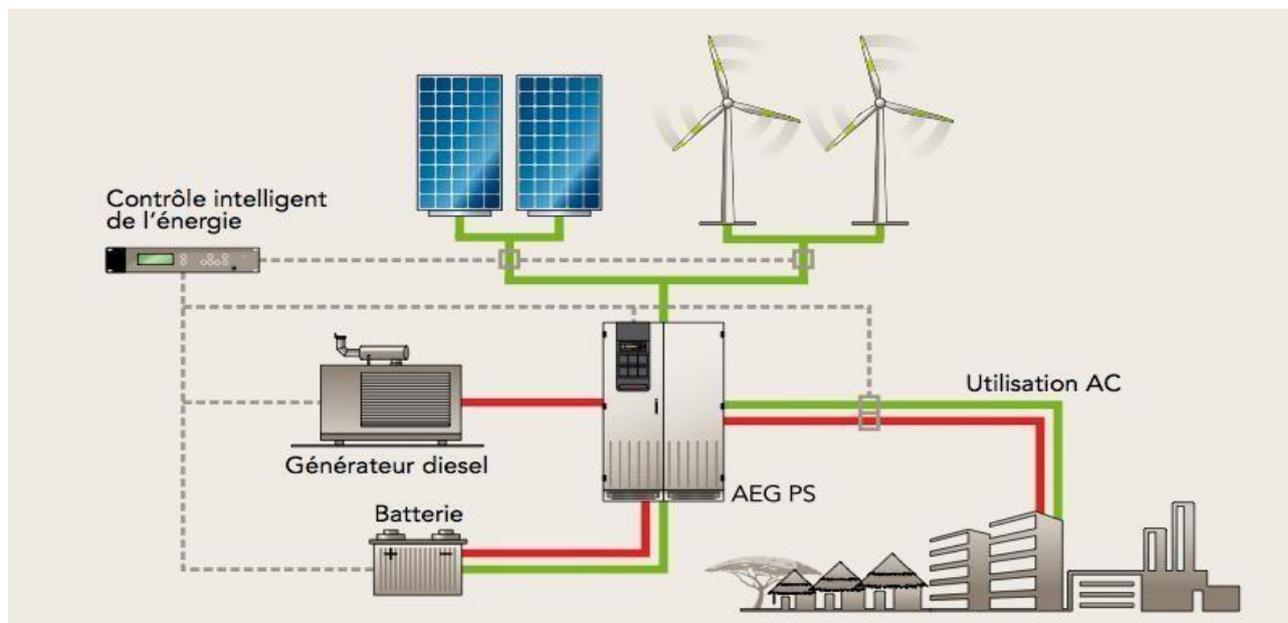
### 4.3.3. Les systèmes PV décentralisés hybride :

Un système d'énergie hybride comporte plus qu'une source d'électricité tel que les modules photovoltaïques, les piles à combustibles, les générateurs éoliens, les batteries de stockage, les groupes électrogènes...etc. Ce type d'installation est utilisé pour l'électrification des régions loin du réseau.

Il existe plusieurs configurations de ces systèmes :

- PV/thermique
- PV/batterie
- PV/piles à combustibles
- PV/éolienne/batterie
- PV/éolienne
- PV/groupe électrogène.

Le choix se base essentiellement selon les caractéristiques météorologiques du site d'implantation. Les systèmes hybrides connectés au réseau ont pour but de renforcer la source principale d'électricité alimentant le réseau. Ils sont généralement à base de sources d'énergie renouvelables tel que : les modules photovoltaïques, les éoliennes, les piles à combustibles, les batteries de stockage, les groupes électrogènes (figure ci-dessous) [10].



**Figure I.11:** Mode d'exploitation d'un système photovoltaïque (hybride).

## **4.4. Les cellules photovoltaïques :**

Le principe d'une cellule photovoltaïque (CPV) est basé sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque (PV). Il consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée au rayonnement solaire.

Donc CPV est un composant électrique, exposé à la lumière génère de l'électricité grâce à l'effet PV. Les cellules solaires sont généralement associées en série et/ou en parallèle, cela permet d'obtenir une tension et/ou un courant élevé [11].

### **4.4.1. Types de cellules photovoltaïques :**

Il existe différents types de cellules solaires, qui sont réalisées à base de silicium (c'est principalement le semi-conducteur employé dans la fabrication les cellules sont différenciables par leurs rendements et leurs coûts [11].

#### **1. Cellules amorphes:**

Les cellules amorphes (Figure I.12.a) ne possèdent pas de structure cristalline. Leur fabrication et leur efficacité sont inférieures par rapport aux autres types, cependant leur rendement est faible. Elles sont utilisées dans des petits produits de consommation (les calculatrices solaires) [11].

#### **2. Cellules monocristallines:**

Les cellules aux siliciums monocristallines (Figure I.12.b), qui représentent le type avec le plus haut pouvoir de conversion, elles sont considérées parmi les cellules ayant le meilleur rendement [11].

#### **3. Cellules poly-cristallines:**

Des cellules aux siliciums poly-cristallins (Figure I.12.c) leur conception étant plus faciles. Les composants des cristaux de silicium sont bien visibles, le cout de fabrication est moins important cependant leur rendement est plus faible [12].



(a) cellule amorphe

(b) Cellule monocristalline (c) Cellule poly-cristalline

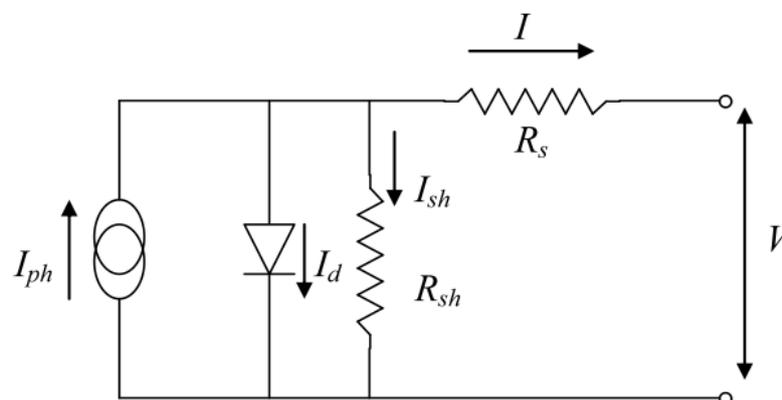
**Figure I.12:** Principaux types de cellules

## 5. Modélisation d'un générateur photovoltaïque :

### 5.1. Modèle d'une cellule photovoltaïque à une diode :

La cellule solaire est généralement modélisée par un schéma équivalent à une diode. Il s'agit de modéliser le courant de court-circuit affecté par l'éclairement comme source et l'effet photovoltaïque par une diode. Alors qu'une résistance en série et une autre en parallèle représentent les pertes du modèle [13].

La figure (I.13) montre le circuit équivalent du modèle de cellule PV.

**Figure I.13:** Circuit de cellule PV l'équivalent

L'équation caractéristique d'une cellule solaire est donnée par:

$$I = \left( I_{PV} - I_0 * \left( e^{(V + I * R_s) * \frac{1}{a * V_t}} - 1 \right) - \frac{V - I * R_s}{R_p} \right) \quad (I - 4)$$

$I_{PV}$  : est un courant photonique généré par la lumière

$I_0$ : Saturation cellulaire du courant d'obscurité

$R_p$ : Résistance de shunt en  $\Omega$

$R_s$ : Résistance série en  $\Omega$

$a$  : Facteur d'idéalité [1.6 pour le silicium].

Le courant photonique est le courant dans la cellule résultant du rayonnement solaire.

Cela dépend à la fois de la température et de l'éclairement énergétique. Par conséquent, sa valeur reste constante quelle que soit la tension externe. Il est donné par l'équation suivante [14]:

$$I_{PV} = \frac{E}{E_n} * (I_{PVn} + K_i * (T - T_n)) \quad (I - 5)$$

$I_{PVn}$  : Courant photonique nominal en STC

$T$  : Température de la cellule en Kelvin

$T_n$  : Température nominale en Kelvin au STC, 25 ° C

$K_i$  : Coefficient de température du courant de court-circuit

$E$ : Éclairement solaire en 1 kW / m<sup>2</sup>

$E_n$  : Rayonnement solaire en KW / c<sup>2</sup>.

Le courant de saturation cellulaire est le courant de saturation inverse de la diode. Il dépend uniquement de la température et peut être calculé à l'aide de:

$$I_0 = \frac{I_{scn} + K_i * (T - T_n)}{e^{\frac{V_{ocn} + K_v * (T - T_n)}{\alpha * V_t}} - 1} \quad (I - 6)$$

$I_{scn}$  : Est le courant de court-circuit nominal au STC,

$V_{ocn}$  : est la tension nominale à vide du STC,

$K_v$  : Coefficient de température de la tension de circuit ouvert à Isc.

La tension thermique est donnée par :

$$V_t = \frac{K * T}{q} \quad (I - 7)$$

$K$ : la constante de Boltzmann  $1,38064852 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$

$q$  : est la charge de l'électron  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

## 6. Module Photovoltaïque :

Un module photovoltaïque est composé d'une connexion en série et en parallèle de cellules

solaires, avec les composants supplémentaires des diodes de blocage et de dérivation. Alors que la fabrication et la taille des cellules solaires varient, une seule cellule a généralement une capacité de traitement de la tension relativement basse de l'ordre de 0,6 V. Afin de conditionner les cellules solaires de manière plus pratique, la plupart des fabricants produisent des modules solaires; un groupe de cellules solaires connectées en série et en parallèle afin d'augmenter la capacité de traitement de la tension et du courant. Bien qu'il existe une variété de schémas de connexion pour une multitude d'applications, un schéma commun pour les modules PHV utilisés dans la production d'énergie liée au réseau est la connexion de 72 cellules en série. Par exemple, le module Shell SQ150-PC ainsi composé fournit une tension et un courant nominaux de 34 V, 4,4 A [15].



Figure I.14 : Module photovoltaïque

## 7. Caractéristique électrique d'un générateur photovoltaïque :

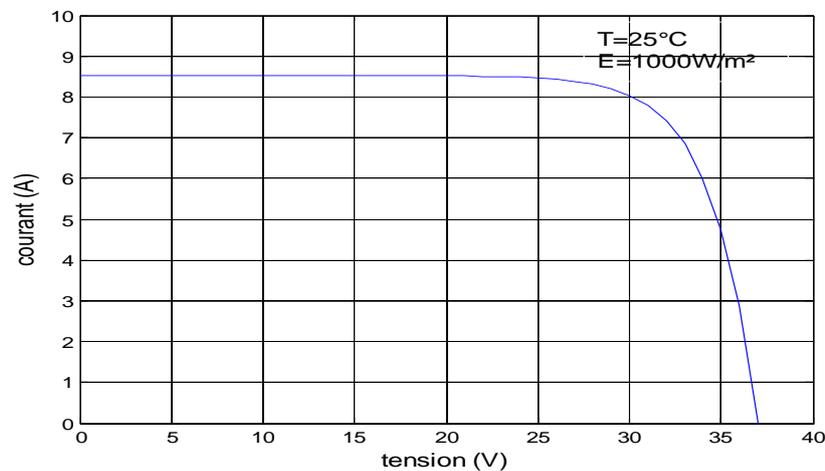
La caractéristique courant-tension illustrée dans les figures (I.15) et (I.16) décrivent le comportement du générateur photovoltaïque sous l'influence des conditions météorologiques spécifiques (niveau d'éclairement  $G=1000 \text{ W/n}^2$  et température ambiante  $T=25^\circ\text{C}$ ).

La courbe I-V du module photovoltaïque passe par trois points importants qui sont :

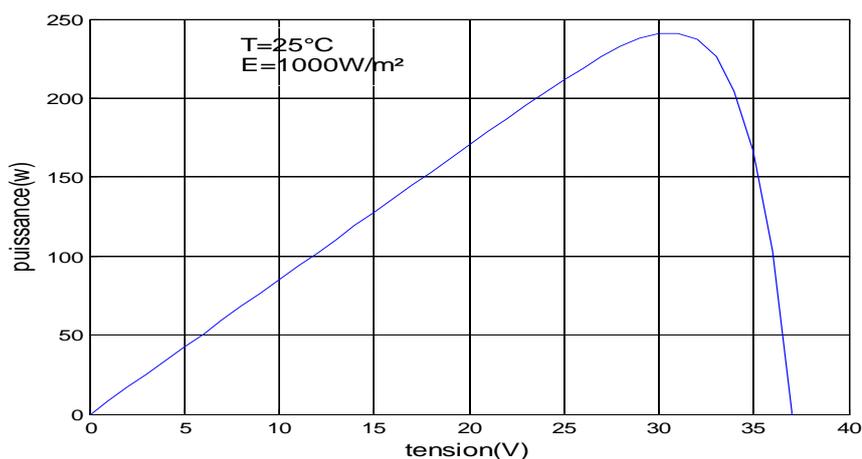
- Le courant de court-circuit  $I_{mpp}$  .
- La tension de circuit ouvert  $V_{mpp}$  .
- La puissance maximale  $P_{max}$  .

Il est difficile de donner un caractère source de courant ou de tension à un générateur

photovoltaïque sur toute l'étendue de la caractéristique courant-tension. Par conséquent, le générateur photovoltaïque est considéré comme une source de puissance avec un point  $P_{\max}$  où la puissance se trouve maximale.



**Figure I.15:** Caractéristique I-V d'un générateur photovoltaïque



**Figure I.16:** Caractéristique P-V d'un générateur photovoltaïque

Il est donc intéressant de se placer sur ce point pour tirer le maximum d'énergie et ainsi exploiter au mieux la puissance crête installée. Il est important de noter que certains régulateurs solaires réalisent une adaptation d'impédance afin qu'à chaque instant on se trouve proche de ce point  $P_{\max}$  [13].

## 8. Influence de la température et l'ensoleillement sur le rendement :

On peut remarquer que la caractéristique I-V d'un panneau photovoltaïque dépend fortement de l'insolation et de la température. Ceci devient très évident en évaluant l'équation (I.8) pour des valeurs choisies de la température et de l'insolation et en traçant les résultats [14].

$$I_{ccM}(E, T) = I_{ccrM} \frac{E}{1000} [1 + a(T - T_{ref})] \quad (I-8)$$

$I_{ccrM}$  : courant de court-circuit référence du module

$a$  : coefficient de variation du courant en fonction de la température ( $a = 0.65e-3$ )

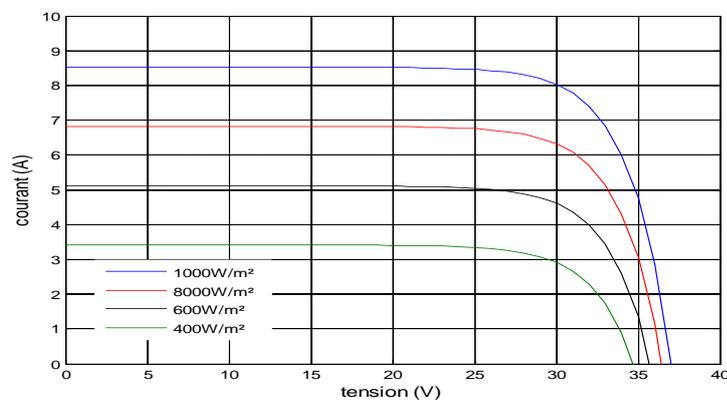
$T_{ref}$  : température référence 298°k (25°C)

$I_{ccM}$  : courant de court-circuit mesuré sous une irradiation  $1000W/m^2$

### 8.1. 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 ICCM 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 inférieure [13].

Les graphes suivants représentent les caractéristiques P-V et I-V respectivement d'un générateur photovoltaïque pour une température constante ( $T=25^\circ C$ ) et un ensoleillement variable.



**Figure I.17:** Courbes I(V) d'un panneau à divers ensoleillements à T=25°C.

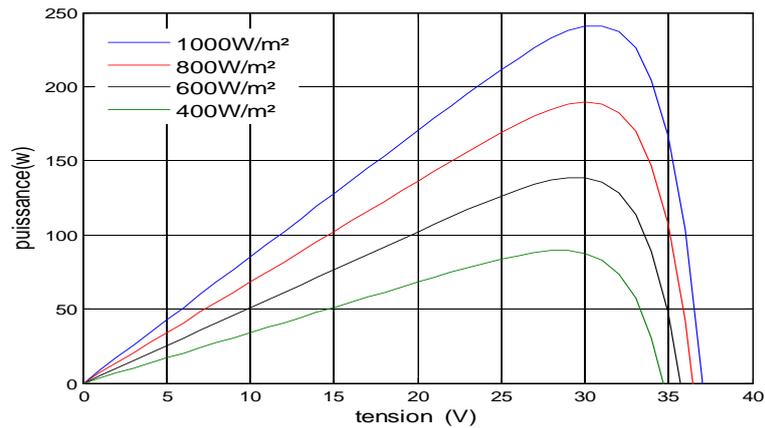


Figure I.18: Courbes P(V) d'un panneau à divers ensoleillements à  $T=25^{\circ}\text{C}$

## 8.2. Influence de la température :

On s'aperçoit que le courant délivré par chaque cellule dépend de la température interne de la jonction PN qui constitue la cellule PV. Si on considère le réchauffement d'un module PV de  $25^{\circ}\text{C}$  à  $50^{\circ}\text{C}$  et si l'on considère en première approximation que la température face arrière de chaque cellule est proche de la température de la jonction PN, alors on peut considérer l'influence de la température. Les graphes suivants représentent les caractéristiques P-V et I-V pour différentes températures de fonctionnement du module photovoltaïque à une irradiation constante.

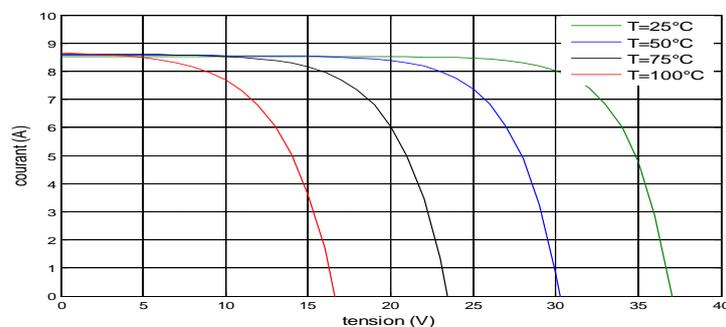


Figure I.19: Courbes P-A d'un générateur PV à divers ensoleillements à  $T=25^{\circ}\text{C}$

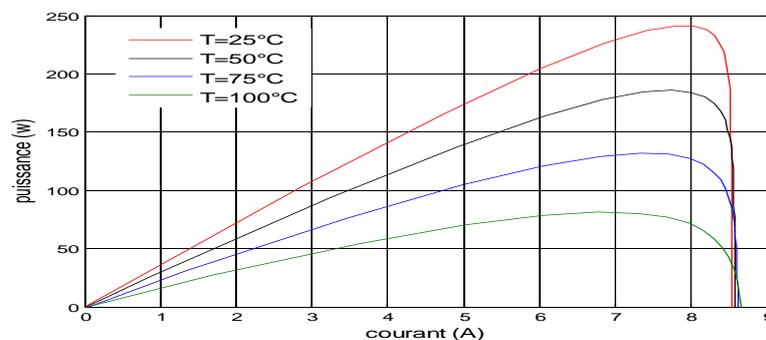


Figure I.20: Courbes P-V d'un générateur PV pour différentes températures

## 9. Association des modules PV :

Pour pouvoir augmenter la tension, le courant et la puissance d'un générateur PV, on peut associer plusieurs modules PV en série ou en parallèle ou encore en mixte (série/parallèle).

### 9.1. Association en série :

En additionnant des cellules (modules) identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série [14].

Les caractéristiques d'un groupement de  $N_s$  modules PV en série sont représentées par les figures suivantes:

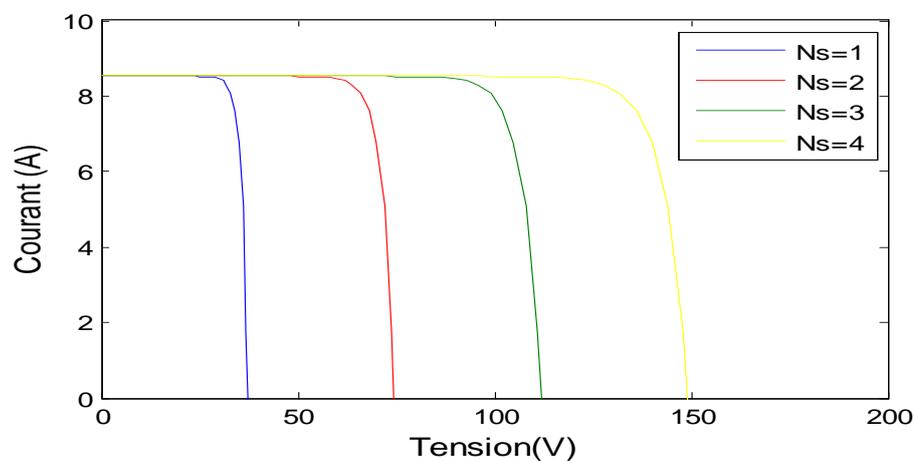


Figure I.21: Caractéristique I-V pour une association en série des modules PV.

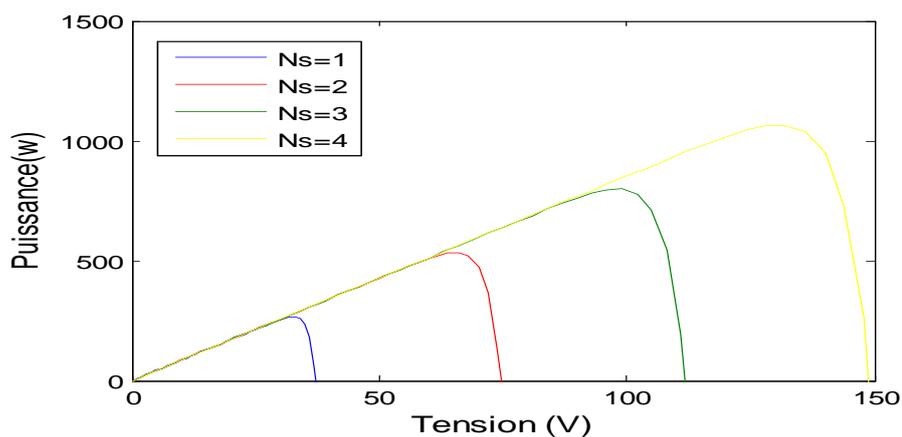


Figure I.22: Caractéristique P-V pour une association en série P-V des modules PV.

## 9.2. Association en parallèle :

En additionnant des cellules (modules) identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque cellule (module) et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en parallèle dans la branche [14].

Les caractéristiques d'un groupement de  $N_p$  modules PV en parallèle sont représentées par les figures suivantes :

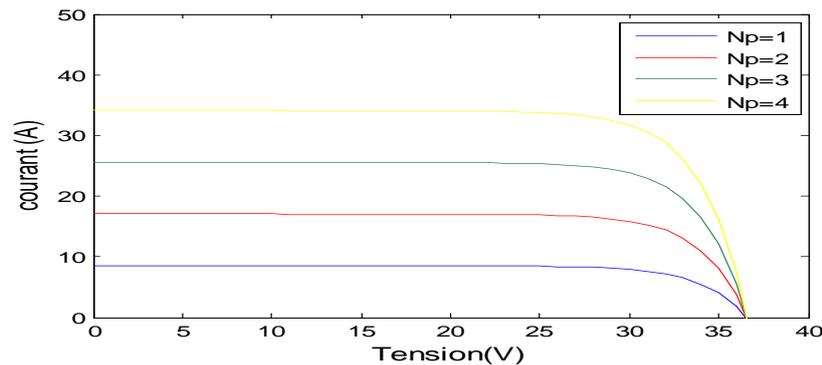


Figure I.23: Caractéristique I-V pour une association en parallèle I-V des modules PV

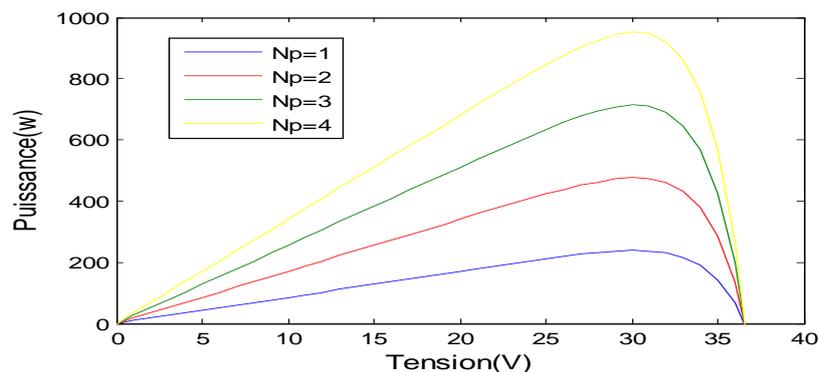


Figure I.24: Caractéristique P-V pour une association en parallèle P-V des modules PV.

## 9.3. Association mixte (série/parallèle) :

Dans certains cas, la satisfaction des besoins en courant et en tension importants nécessite le recours à l'utilisation d'un groupement mixte (série/parallèle) de modules PV [17]. Les caractéristiques d'un groupement mixte des modules PV sont illustrées par les graphes suivantes:

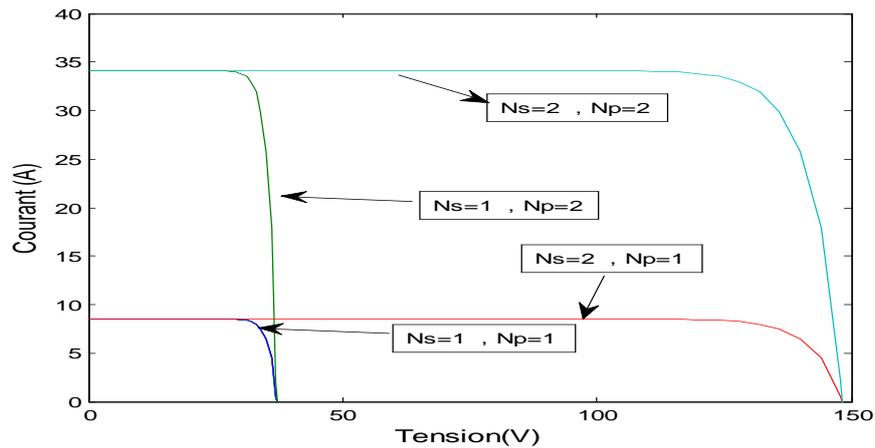


Figure I.25: Caractéristique I-V pour une association mixte des modules PV.

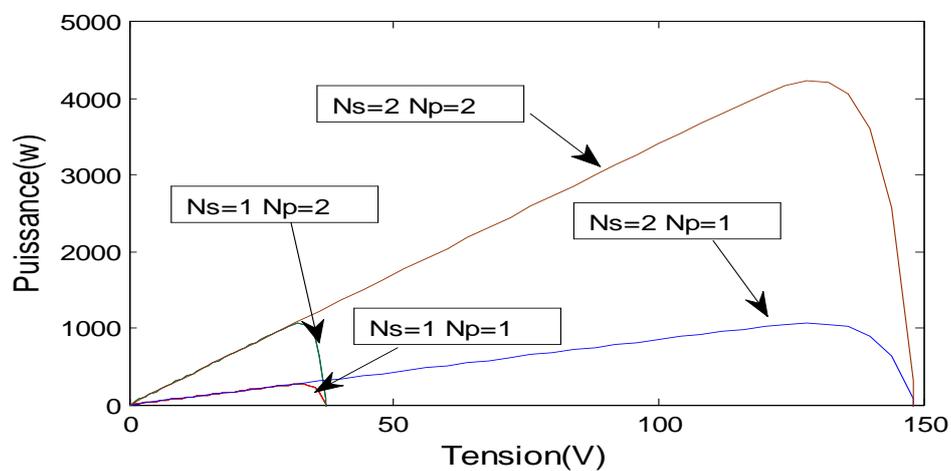


Figure I.29: Caractéristique P-V pour une association mixte des modules PV.

## 10. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons rappelé quelques notions sur le rayonnement solaire, l'énergie solaire et l'énergie photovoltaïque. Nous avons ensuite expliqué le fonctionnement des cellules photovoltaïques et leurs caractéristiques principales ainsi que leur type.

# **CHAPITRE II : Convertisseurs DC-DC dans les systèmes PV**

## 1. Introduction :

L'utilisation des convertisseurs DC-DC permet le contrôle de la puissance électrique dans les circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé. Dans les systèmes photovoltaïques les convertisseurs DC-DC permettent de poursuivre le point de fonctionnement optimum [18].

En effet, il serait judicieux de se positionner en ce point précis, mais malheureusement il fluctue dans de larges proportions à cause des variations de la température de l'éclairage.

Pour pallier à ce problème et augmenter le rendement énergétique du système, un dispositif électronique basé sur un convertisseur DC-DC, est intercalé entre le générateur photovoltaïque et la charge. Le maintien de ce point de fonctionnement au point de puissance est assurée par le contrôle continu du rapport cyclique de ce convertisseur de puissance [19].

Dans ce chapitre nous allons présenter le principe de fonctionnement des convertisseurs DC-DC dont le rôle primordial est de transformer une puissance continue d'entrée fixe en une puissance continue de sortie variable. Le dimensionnement de ces convertisseurs est également envisagé.

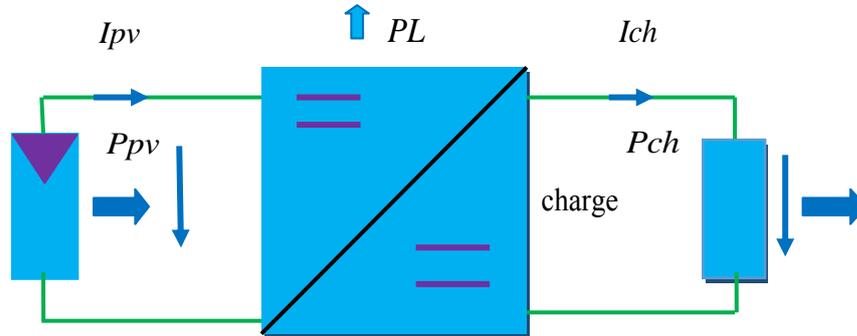


Figure II.1: Convertisseur DC/DC

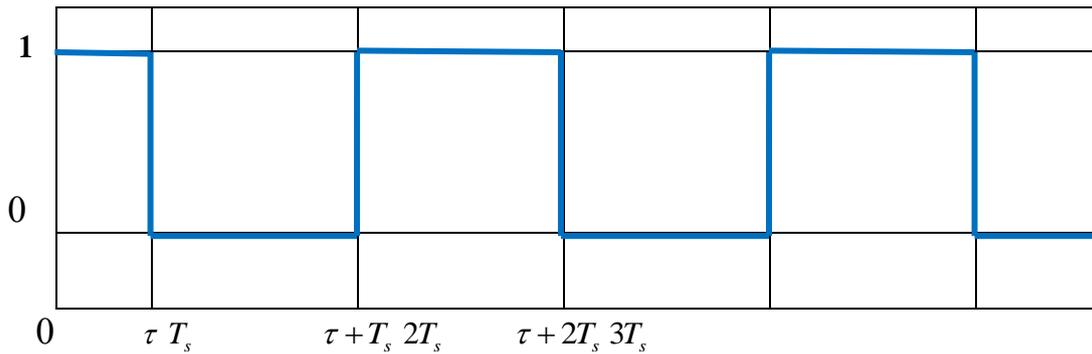
## 2. Convertisseur DC/DC :

### - Le rapport cyclique $\alpha$

Le rapport cyclique est défini comme le temps pendant lequel l'interrupteur est fermé divisé par la période  $T$  de commutation de l'interrupteur du convertisseur. Il varie entre 0 et 1. Il s'exprime comme suit [20]:

$$\alpha = \frac{\tau}{T_s}; \quad \tau = \alpha * T_s \quad (\text{II-1})$$

$\alpha$  : Le rapport cyclique;  $\tau$  : Temps à l'état fermé,  $T_s$  : Période.



**Figure II.2:** Forme de variation en fonction du rapport cyclique

## 2.1. Types des convertisseurs DC-DC :

Il y a plusieurs topologies des convertisseurs DC-DC. ils sont classés par catégorie selon que la topologie isolée ou non isolée. les topologies isolées emploient un transformateur d'isolement fonctionnant à haute fréquence, elles sont très employées souvent dans les alimentations à découpage. les topologies les plus connues dans la majorité des applications sont le Fly back, en demi-point et en pont complet. dans les applications photovoltaïques (PV), les systèmes de couplage avec le réseau électrique emploient souvent ces types de topologies quand l'isolement électrique est préféré pour des raisons de sûreté. Les topologies non isolées ne comportent pas de transformateurs d'isolement. elles sont généralement utilisées dans l'entraînement des moteurs à courant continu [21].

Ces topologies sont encore classées en trois catégories :

- Abaisseurs (Buck).
- Elévateurs (Boost).
- Elévateurs - Abaisseurs (Buck-Boost).

La topologie Buck est employée pour les faibles tensions. Dans les applications PV, le convertisseur Buck est habituellement employé comme chargeur de batteries et dans des systèmes de pompage de l'eau. La topologie Boost est employée pour augmenter la tension. 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. Puis, il y a des topologies capables d'augmenter et de diminuer la tension telles que le Buck-Boost. Les convertisseurs DC-DC peuvent être vus comme des transformateurs DC-DC [18].

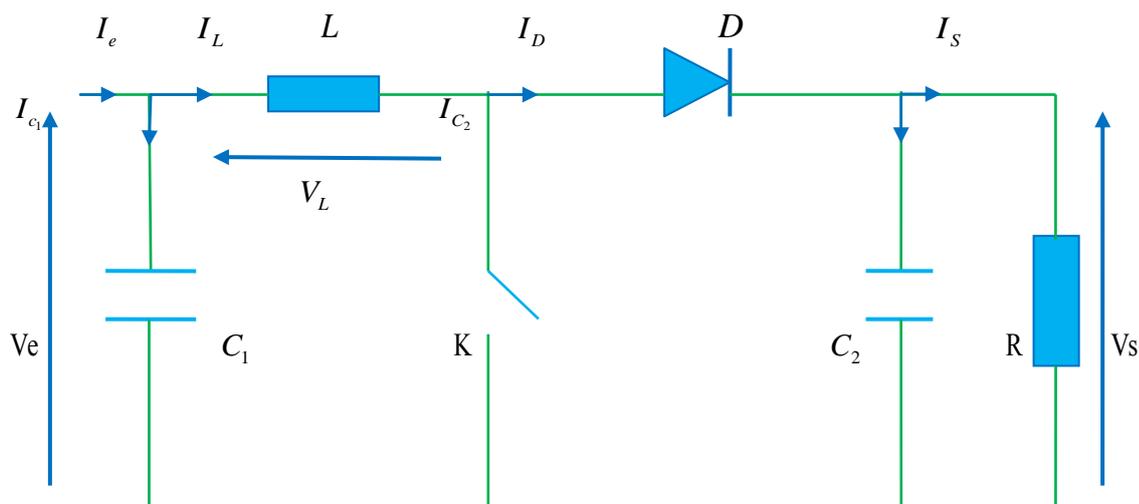
Le tableau II.1 résume les principaux rapports de transformation en fonction du rapport cyclique pour les différentes structures de convertisseurs statiques avec et sans isolement galvanique. Où désigne  $\alpha$  le rapport cyclique du convertisseur et K le rapport de transformation du transformateur d'isolement [18].

Convertisseur	Rapport de transformation en fonction de( $\alpha$ )	Isolement galvanique
Buck	$\alpha$	Non
Boost	$\frac{1}{1-\alpha}$	Non
Buck-Boost	$\frac{-\alpha}{1-\alpha}$	Non

**Tableau II.1:** Rapports de transformation des principaux convertisseurs DC-DC

### 3. Convertisseur Boost :

Le convertisseur Boost parallèle commande le débit d'un générateur de courant dans un récepteur de tension. on appelle ce convertisseur Boost car la tension de sortie est supérieure à la valeur moyenne de la tension d'entrée. il est mise en série avec la source pour empêcher les court-circuits quand l'interrupteur k est fermé d'une part et pour limiter les ondulations du courant d'autre part [22].



**Figure II.3:** Fonctionnement d'un convertisseur boost

a) Pendant la fermeture de l'interrupteur k entre  $[0, \alpha T]$ , le courant traverse

l'inductance  $L$  et la diode reste bloquée, donc le courant  $I_d$  est nul.

- b) Pendant l'ouverture de l'interrupteur  $k$  entre  $[\alpha T, T]$ , le courant traverse l'inductance  $L$  et la diode pour limiter la charge  $R$ .

On applique la loi de Kirchhoff :

- 1) Pour  $t \in [0, \alpha T]$ ,  $k$  fermé, on a les équations suivantes :

$$I_{C_1}(t) = C_1 \frac{dV_e(t)}{dt} = I_e(t) - I_L(t) \quad (II - 2)$$

$$I_{C_2}(t) = C_2 \frac{dV_s(t)}{dt} = -I_s(t) \quad (II - 3)$$

$$V_L(t) = L \frac{dV_L(t)}{dt} = V_e(t) \quad (II - 4)$$

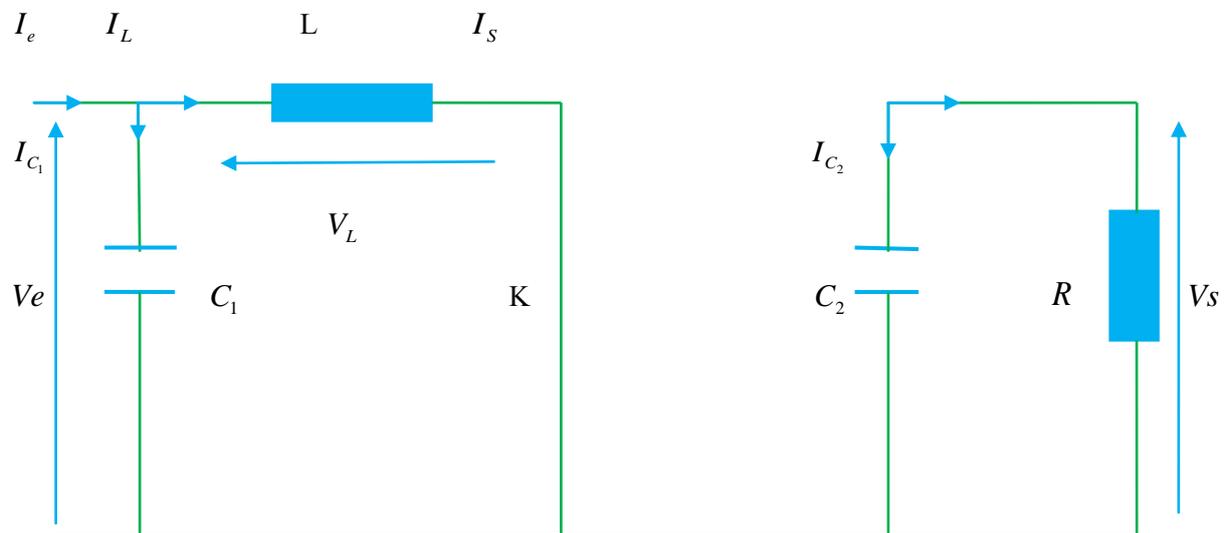


Figure II.4: Principe de fonctionnement d'un convertisseur Boost pendant la fermeture de l'interrupteur  $K$ .

- 1) Pour  $t \in [\alpha T, T]$ ,  $K$  ouvert, on a les équations suivantes :

$$I_{C_1}(t) = C_1 \frac{dV_e(t)}{dt} = I_e(t) - I_L(t) \quad (II - 5)$$

$$I_{C_2}(t) = C_2 \frac{dV_s(t)}{dt} = I_L(t) - I_s(t) \quad (II - 6)$$

$$V_L(t) = L \frac{dV_L(t)}{dt} = V_e(t) - V_s(t) \quad (II - 7)$$

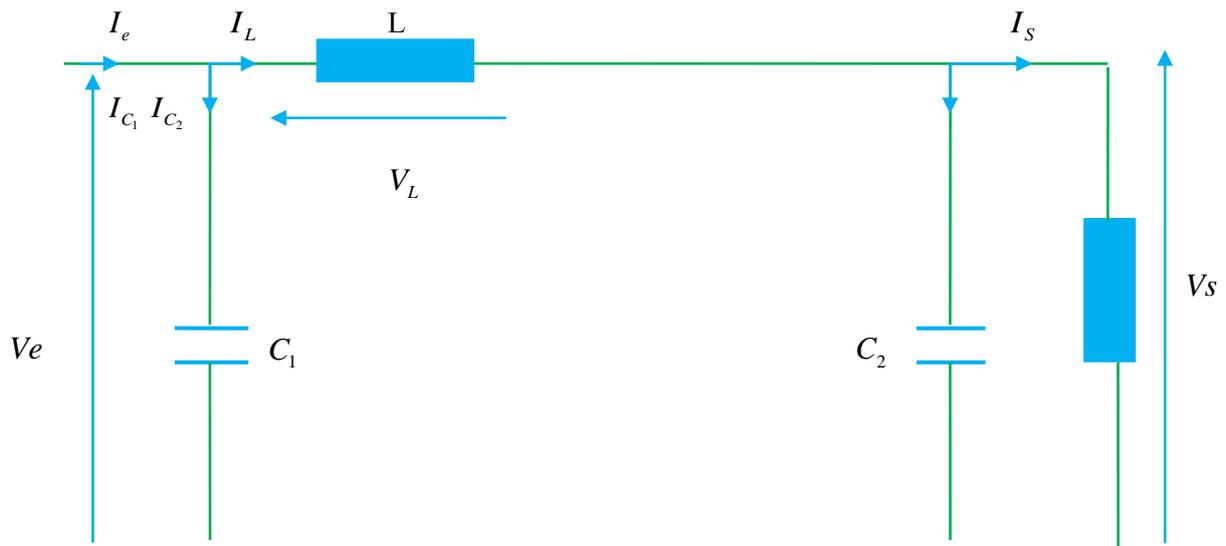


Figure II.5 : Principe de fonctionnement d'un convertisseur Boost pendant l'ouverture de l'interrupteur K

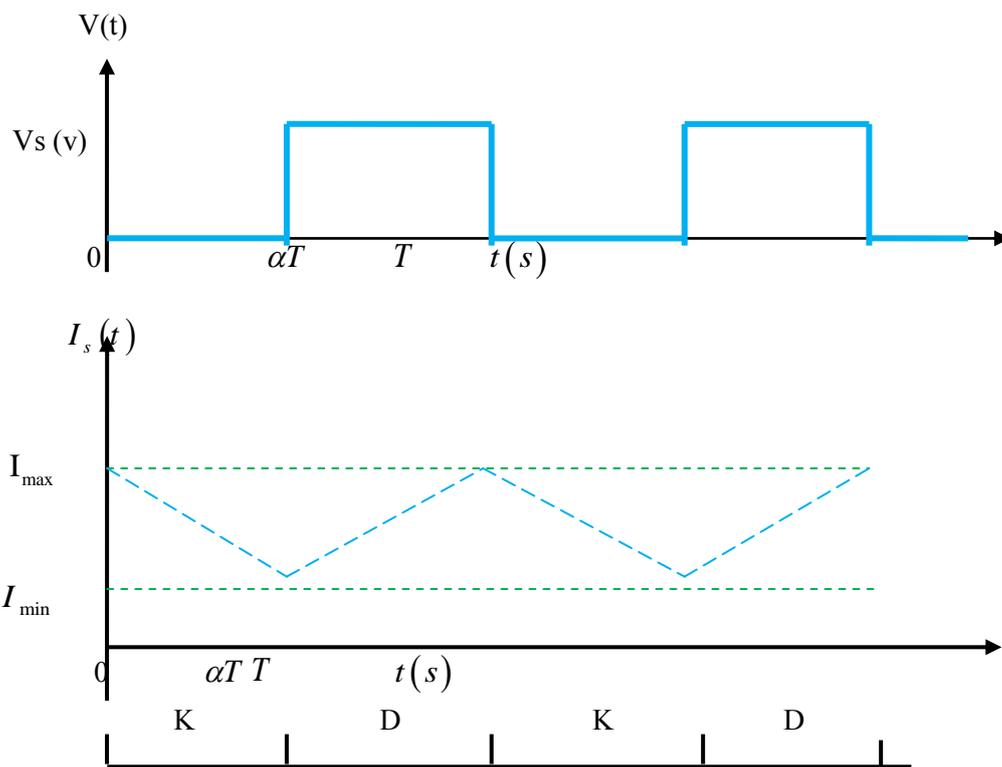


Figure II.6: Formes d'ondes de la tension et du courant de sortie

La tension et le courant moyens de sortie du convertisseur Boost ont pour valeur :

$$V_s = \frac{V_e}{1-\alpha} \quad (II-8)$$

$$I_s = I_e * (1-\alpha) \quad (II-9)$$

### 3.1. Dimensionnement du convertisseur DC/DC (Boost)

Pour une tension d'entrée de  $V_{mpp} = 24V$  et  $I_{mpp} = 5.1A$  on fixe la sortie à  $48V$  avec une fréquence de découpage de  $f_s = 31kHz$ ,  $dVs = 2$  et pour une puissance de  $120W$  on aura donc :

$$V_{mpp} = V_e = 24V \text{ (deux GPV en série)}$$

$$I_{mpp} = I_e = 5.1A$$

$$V_s = 48V$$

Rapport cyclique :

$$\alpha = 1 - \left( \frac{V_e}{V_s} \right) = 1 - \left( \frac{24}{48} \right) = 0.5$$

Résistance de charge :

$$R_{ch} = \left( \frac{(V_s)^2}{P} \right) = \left( \frac{48^2}{120} \right) = 19.20\Omega$$

Courant sur la charge :

$$I_{Rch} = \left( \frac{V_s}{R_{ch}} \right) = \left( \frac{48}{19.20} \right) = 2.5A$$

Courant de sortie :

$$I_s = I_{Rch} * \left( \frac{V_s}{V_e} \right) = 2.5 * \left( \frac{48}{24} \right) = 5A$$

Inductance L :

$$L = \left( \frac{\alpha * V_e}{0.1 * I_s * f_s} \right) = \left( \frac{0.5 * 24}{0.1 * 5 * 31 * 10^3} \right) = 7.741mh$$

Condensateur 1 :

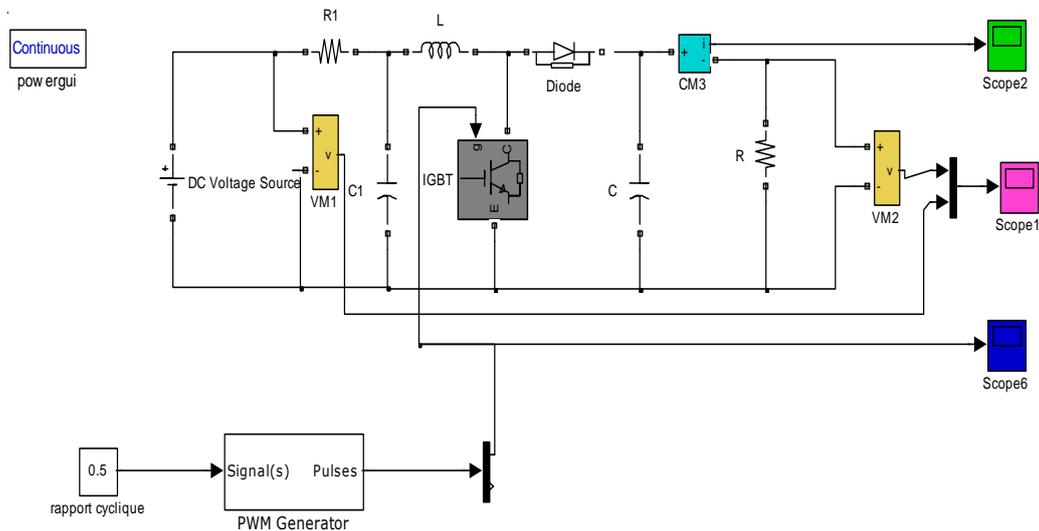
$$C1 = \left( \frac{\alpha * V_e}{(1 - \alpha) * V_s * 0.05 * f_s * R_{ch}} \right) = \left( \frac{0.5 * 24}{(1 - 0.5) * 48 * 0.05 * 31 * 10^3 * 19.20} \right) = 16.80\mu f$$

Condensateur 2 :

$$C2 = \left( \frac{\alpha * (1 - \alpha) * I_e}{dV_s * f_s} \right) = \left( \frac{0.5 * (1 - 0.5) * 5.1}{2 * 31 * 10^3} \right) = 20.56 \mu f$$

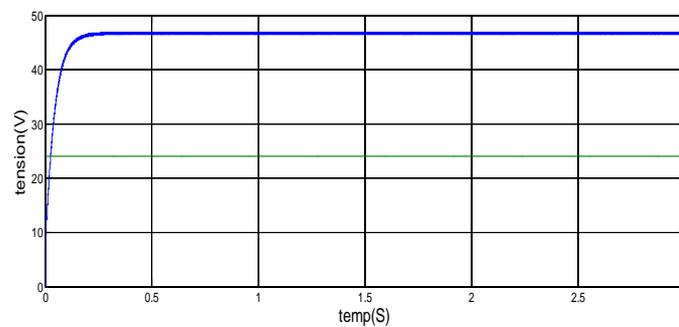
### 3.2. Résultats de Simulation :

La figure II.11 montre le schéma du circuit du boost alimentant une charge résistive R.

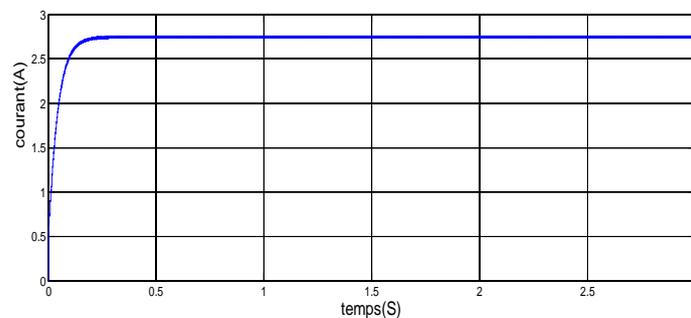


**Figure II.7:** Modèle Simulink de convertisseur Boost

Les figures II-8 et II.9 montrent la réponse de la tension de sortie et la réponse de courant d'entrée pour un rapport cyclique  $\alpha = 0.5$

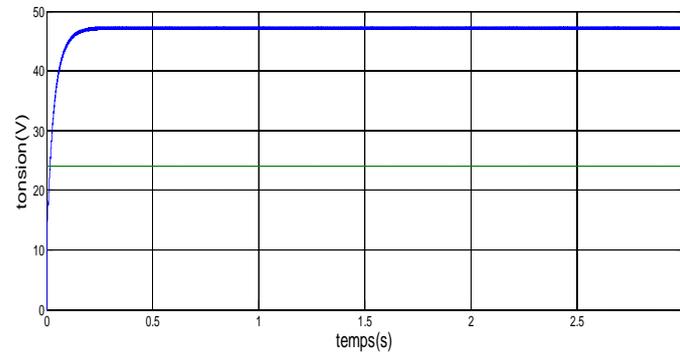


**Figure II.8:** Réponse de la tension de sortie du convertisseur boost

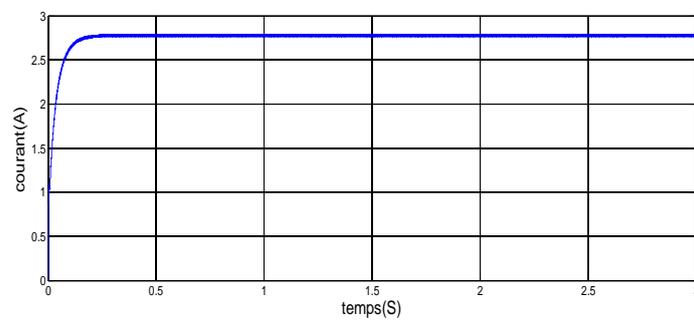


**Figure II.9:** Courant de sortie du convertisseur boost

Les figures II-10 et II.11 montrent la réponse de la tension de sortie et la réponse de courant d'entrée pour un rapport cyclique  $\alpha = 0.2$

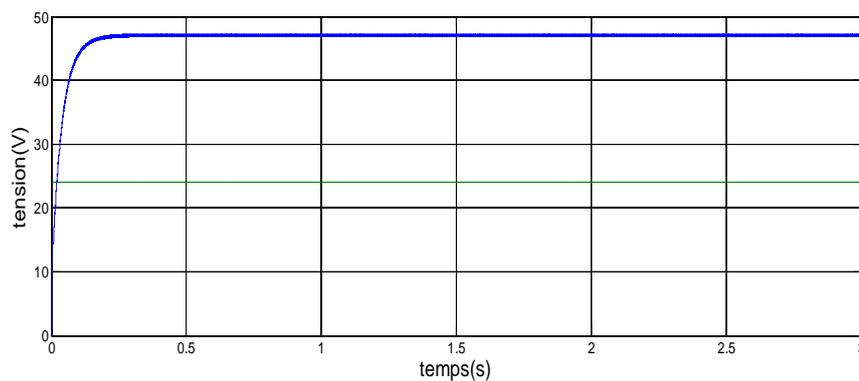


**Figure II.10:** Tension de sortie du convertisseur boost

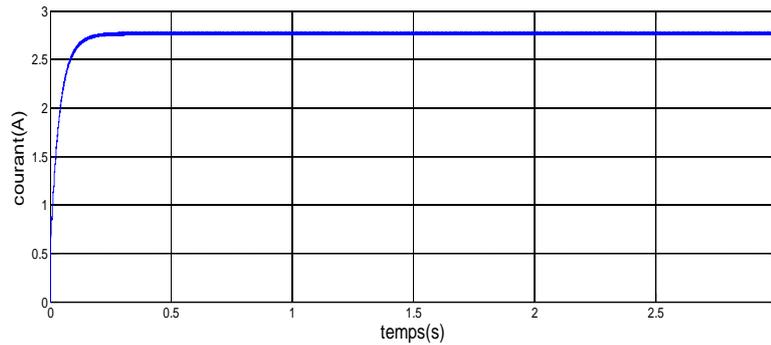


**Figure II.11:** Courant de sortie du convertisseur boost

Les figures II-12 et II.13 montrent la réponse de la tension de sortie et la réponse de courant d'entrée pour un rapport cyclique  $\alpha = 0.4$



**Figure II.12:** Tension de sortie du convertisseur boost



**Figure II.13:** Courant de sortie du convertisseur boost

Les résultats de simulation montrent que la tension de sortie est conforme à celle calculée théoriquement. La tension d'entrée est proche de leur valeur calculée théoriquement, ceci est dû à l'influence des pertes dans les composants de puissances non prisent en compte lors du dimensionnement des convertisseurs.

#### **4. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons montré les différents type de convertisseurs DC-DC. Nous avons présenté également la modélisation du convertisseur DC-DC type boost. Ensuite, nous avons présenté le dimensionnement de ce convertisseur, en particulier d'inductance L et capacité C. Enfin, nous avons présenté quelques résultats de simulation de la commande de convertisseur boost en boucle ouvert.

# **CHAPITRE III : Commande MPPT des systèmes PV sans ombrage**

## 1. Introduction :

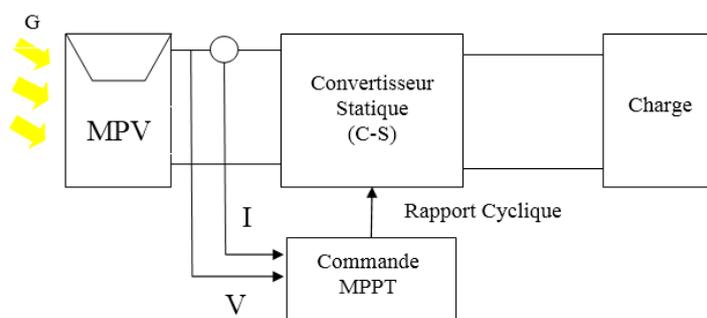
L'obtention automatique de la puissance maximale d'un module solaire ou, en d'autres termes, pour que le système fonctionne avec une efficacité maximale, dépend des algorithmes de commande basée sur le principe de le poursuite du point de puissance maximale MPPT (maximale point puissance tracking). Ces algorithmes prennent en compte la variation de l'irradiation et de la température dans le temps ainsi que l'impédance de charge. Ces facteurs affectent le MPP et se reflètent donc dans la quantité d'électricité produite. La méthode MPPT varie dans de nombreux aspects, notamment la complexité, le coût, la dépendance du capteur, la vitesse de convergence, le matériel de mise en œuvre, la compensation de capacité, la plage d'efficacité, la capacité de popularité d'échapper aux optima locaux et à leurs applications [19].

Il existe différents types d'algorithmes MPPT utilisés dans le but d'améliorer l'efficacité des panneaux solaires, mais les plus connus sont les perturbations et observations (P&O), la conductance incrémentale (INC) [20].

## 2. Commande MPPT :

### 2.1 Principe de MPPT :

La commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) est une commande essentielle pour un fonctionnement optimal du système photovoltaïque. Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique  $\alpha$  en l'amenant à la valeur optimale de manière à maximiser la puissance délivrée par le module PV, La chaîne de puissance ou un générateur photovoltaïque alimente une charge continue en une adaptation avec un convertisseur statique de type hacheur élévateur commandé par une MPPT peut être représentée comme l'indique la figure III.1 [19].



**Figure III.1:** Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT.

---

La commande MPPT, 'Maximum Power Point Tracking, est une commande essentielle pour un fonctionnement optimal du système photovoltaïque. Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique  $d$  en l'amenant à la valeur optimale de manière à maximiser la puissance délivrée par le panneau PV [19].

L'optimisation consiste à réaliser ce point en permanence en agissant de façon automatique sur la charge vue par le générateur cette adaptation de charge dans le principe s'effectue en générale à l'aide d'un convertisseur statique dans les pertes doivent être aussi faibles que possible et qui peut, par ailleurs, assurer une fonction de mise en forme d'un générateur de sortie, différentes attitudes peuvent être envisagées quant à la commande de l'adaptateur. Pour simplifier les conditions de fonctionnement de cette commande, une charge DC est choisie [20].

Comme nous pouvons le voir sur cette chaîne, dans le cas de la conversion solaire L'adaptateur peut être réalisé à l'aide d'un convertisseur DC-DC de telle sorte que la puissance fournie par le GPV corresponde à la puissance maximale ( $P_{\max}$ ) qu'il génère et qu'elle puisse ensuite être transférée directement à la charge.

## **2. 2. Suivi de la puissance maximale du générateur photovoltaïque :**

La puissance électrique produite par un panneau photovoltaïque dépend fortement de l'ensoleillement et à un degré moins important de la température des cellules. Ces deux variables influençant le comportement du système présentent des fluctuations quotidiennes et saisonnières. Pour ces raisons, le panneau photovoltaïque ne peut fournir une puissance maximale que pour une tension particulière et un courant bien déterminé ; ce fonctionnement à puissance maximale dépend de la charge reliée à ses bornes. À cet effet et en fonction du type de cette charge, un dispositif de contrôle devra être intégré dans le circuit de commande du convertisseur (hacheur ou onduleur). Ce dernier doit être capable de faire fonctionner le panneau photovoltaïque à sa puissance maximale. La méthode de suivi de la puissance maximale connue sous le nom MPPT (Maximum Power Point Tracking) est basée sur l'utilisation d'un algorithme de recherche où le maximum de la courbe de puissance est estimé sans interrompre le fonctionnement normal du panneau photovoltaïque. Contrairement au contrôle à tension fixe, le MPPT n'est pas basé sur une valeur de référence prédéterminée mais il s'agit d'une recherche de la valeur de référence pour atteindre le maximum de la puissance sur la caractéristique courant-tension. À noter que le MPPT joue un rôle très

---

important parce qu'il maximise le rendement et il réduit au minimum le coût [21].

### 3. Types d'algorithme de MPPT :

Il existe plusieurs méthodes d'algorithme MPPT, mais les algorithmes les plus utilisés et très connus dans le monde sont :

- algorithmes Perturber et Observer (P & O).
- algorithmes de la conductance incrémentale (INC).
- algorithmes Tension constante (CV : constant Voltage).
- algorithmes courant constant (CC : Constant Current).
- algorithmes Capacité Parasite (PC : Parasite Capacitance).

### 4. Technique de commande de MPPT :

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. Étant 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 [19].

#### 4.1. Méthode de perturbe et d'observe (P&O)

##### 4.1.1 Principe de la Méthode P&O :

La méthode P & O est l'une des méthodes MPPT les plus largement utilisées en raison de sa simplicité et de sa facilité de mise en œuvre. Il agit en créant une perturbation de la tension continue terminale du générateur photovoltaïque et en observe les conséquences sur la puissance de sortie de celui-ci. Si la puissance augmente avec la perturbation incrémentielle, elle continue à faire la perturbation dans le même sens, sinon elle est inversée. En cas d'augmentation de puissance avec perturbation incrémentielle, le point de fonctionnement serait sur côté gauche du point de puissance maximale, Si une perturbation incrémentielle entraîne une diminution de la puissance, cela indique que le MPP a traversé et que le point de fonctionnement se trouve quelque part sur le côté droit du MPP. Dans ce cas, il inverse sa

perturbation et commence à produire une perturbation préjudiciable de la tension du générateur PV afin de suivre le point de puissance maximale. Une fois que le MPP est atteint, Le point de fonctionnement serait au point de puissance maximale, comme indiqué dans la figure (III-2) [21].

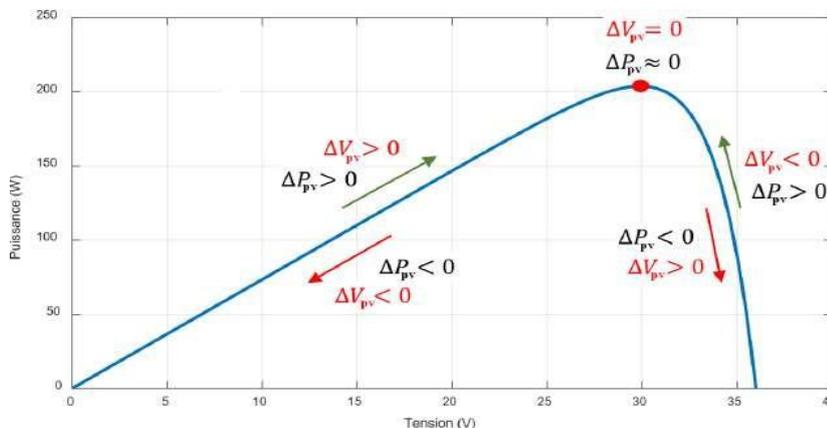


Figure III.2 : Caractéristique P-V dans la méthode MPPT P&O

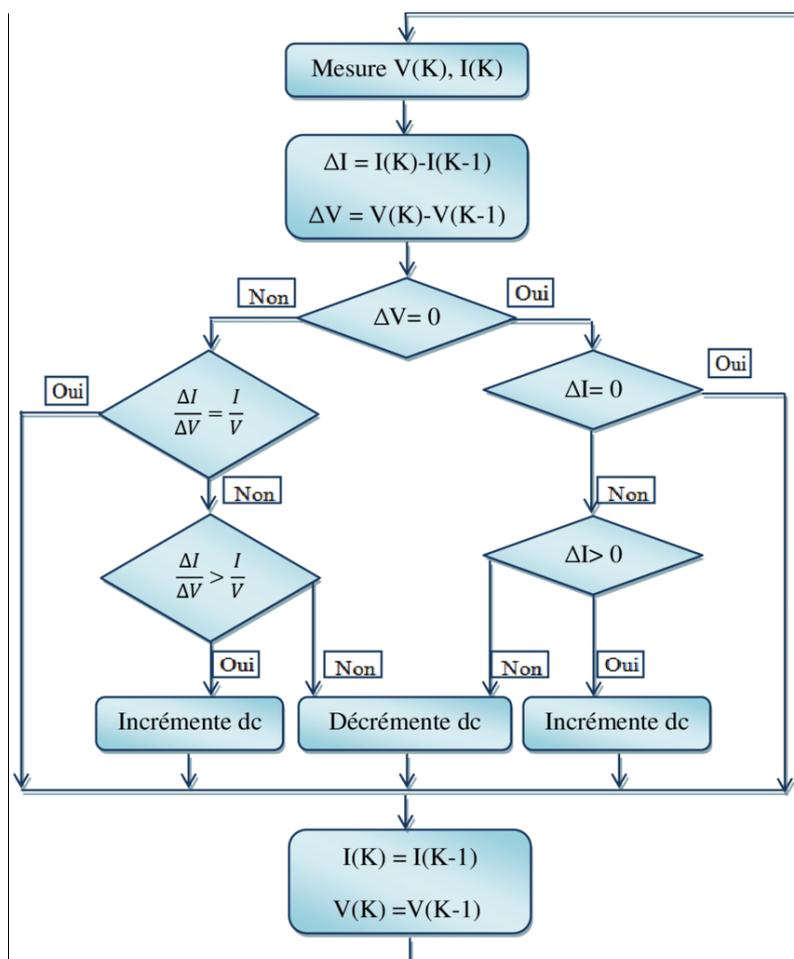


Figure III.3 :Algorithme de la méthode de P&O.

Cas	$dP$	$dV$	Action
1	$P(k) > P(k-1)$	$V(k) > V(k-1)$	++
2	$P(k) > P(k-1)$	$V(k) < V(k-1)$	--
3	$P(k) < P(k-1)$	$V(k) > V(k-1)$	--
4	$P(k) < P(k-1)$	$V(k) < V(k-1)$	++

Tableau III.1 : Résumé du fonctionnement de l’algorithme P&O.

#### 4.1.1.2. Résultats de simulation de l'algorithme P&O :

Afin de vérifier la validité et l'efficacité de l'algorithme P&O, des tests de simulation ont été effectués sur un système PV en utilisant le modèle Simulink illustré à les figures III.5 et III.6.

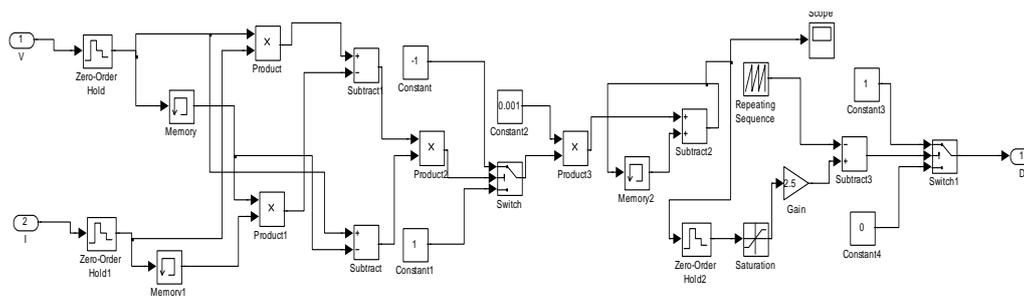


Figure III.4: Schéma de la commande MPPT P&O sous MATLAB-SIMULINK

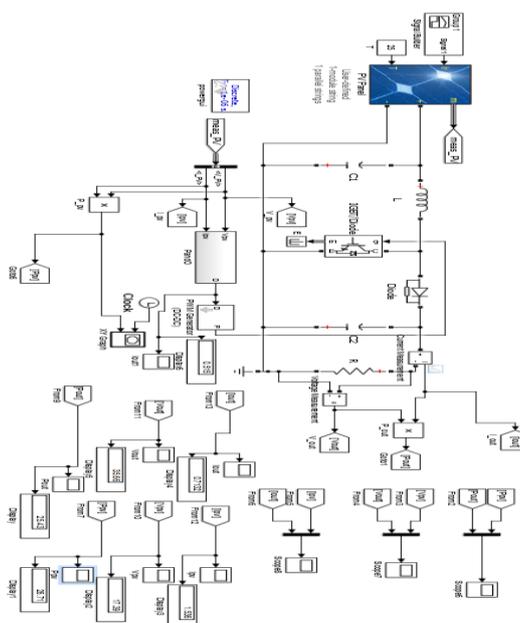
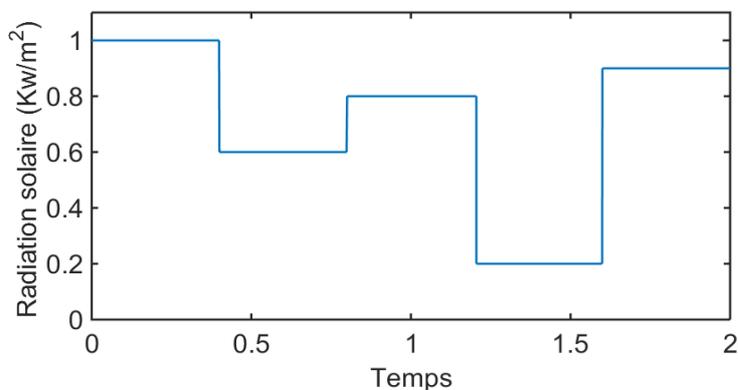
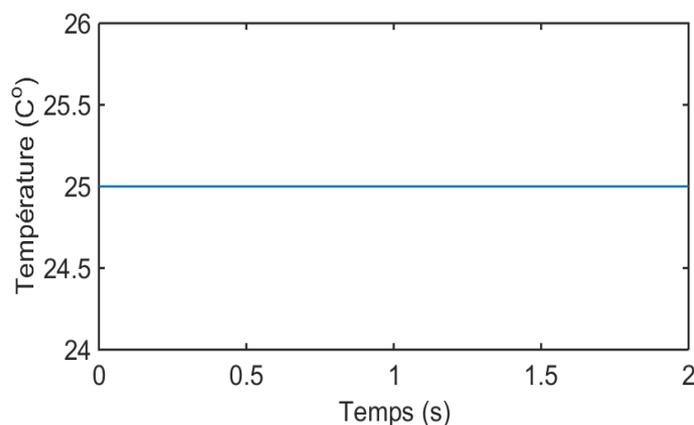


Figure III.5 : Modèle Simulink du système PV commandé par l'algorithme P&O.

Le test de simulation est réalisé dans différentes conditions atmosphériques. Les profils de rayonnement solaire et de température de cellule sont supposés être tels que représentés sur les figures III.6 et III.7, respectivement.

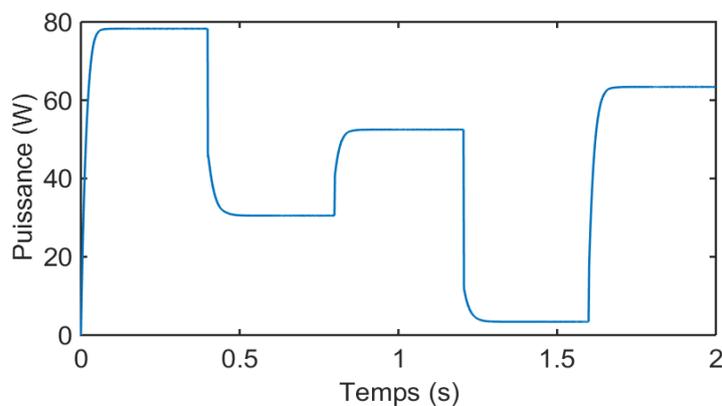


**Figure III.6 :** Profils de rayonnement solaire

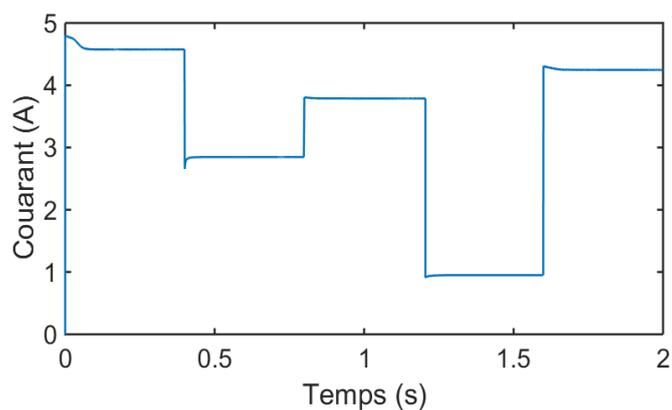


**Figure III.7 :** Profil de température.

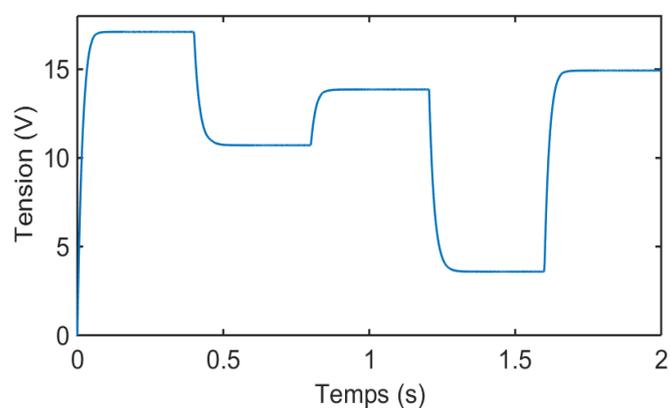
Les réponses de la puissance de PV et du courant de PV sont montrées sur les figures III.8 et III.9, tandis que les réponses de la tension de PV et du signal de commande sont montrées sur les figures III.10 et III.11.



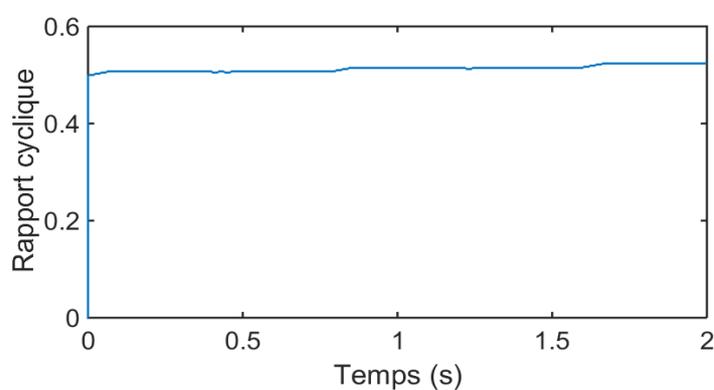
**Figure III.8 :** Réponse de puissance PV



**Figure III.9:** Réponse de courant PV



**Figure III.10 :** Réponse de tension PV



**Figure III.11 :** Réponse de rapport cyclique

Les résultats de simulation montrent clairement que la réponse de la puissance PV avec la méthode P&o suit parfaitement son point maximum avec une considérable de fluctuation surtout lors du changement soudain de la radiation solaire.

## 4.2. Méthode d'Incrémentale Conductance :

### 4.2.1. Principe de la méthode d'Incrémentale Conductance :

La méthode de la conductance incrémentielle est basée sur le fait que la somme de la conductance instantanée ( $\frac{dI}{dV}$ ) et de la conductance incrémentielle est nulle en MPP. Parce que c'est négatif du côté droit du député et positif du côté gauche du député. Cette relation découle du fait que la pente de la courbe de puissance du générateur photovoltaïque est nulle au MPP, positive à gauche du MPP et négative à la droite. La figure (III-5) montre la pente de la courbe de puissance du réseau P-V. Ainsi, la conductance incrémentielle peut déterminer que le MPPT a atteint le MPP et cesser de perturber le point de fonctionnement du générateur photovoltaïque. Si cette condition n'est pas remplie, la relation dans laquelle le point de fonctionnement MPPT doit être perturbé peut être calculée [20].

$$P = V * I \quad (III-1)$$

D'où en écrivant la dérivée :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp}{dV} = V \frac{dI}{dV} + I \frac{dV}{dV} \\ \frac{dp}{dV} = V \frac{dI}{dV} + I \\ \frac{dp}{dV} = V \frac{dI}{dV} + I \end{array} \right. \quad (III-2)$$

Donc :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp}{dV} = 0 \\ \frac{dp}{dV} > 0 \\ \frac{dp}{dV} < 0 \end{array} \right. \quad \text{Ou} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} (a) \text{ point} \\ \frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} (b) \text{ A' gauche} \\ \frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} (c) \text{ A' droite} \end{array} \right. \quad (III-3)$$

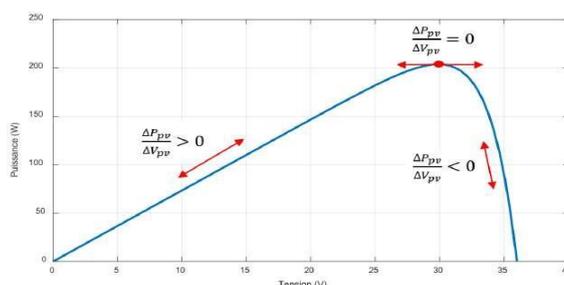


Figure III.12 : Méthode MPPT Incrémentale Conductance (INC)

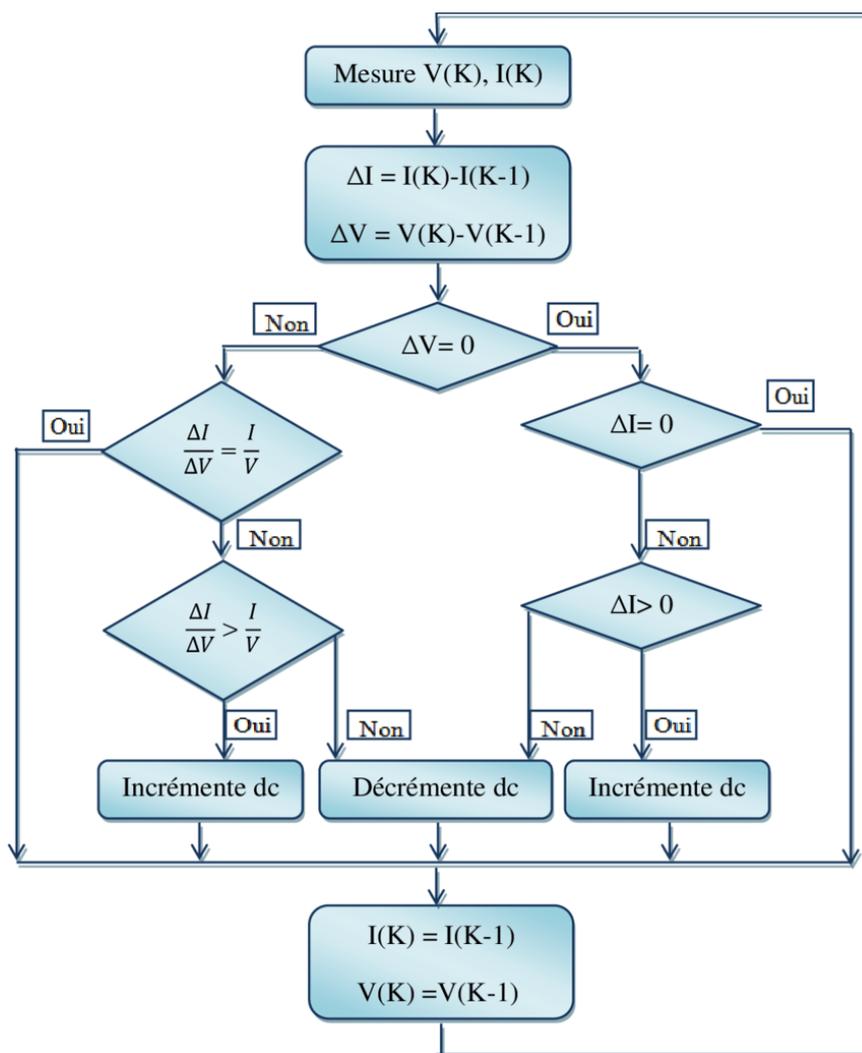


Figure III.13 : Organigramme d'un algorithme de conductance incrémentielle

#### 4.2.2. Résultats de simulation de la méthode d'Incrémentale Conductance :

Afin de vérifier la validité et l'efficacité de l'algorithme P&O, des tests de simulation ont été effectués sur un système PV en utilisant le modèle Simulink illustré à les figures III.14 et III.15.

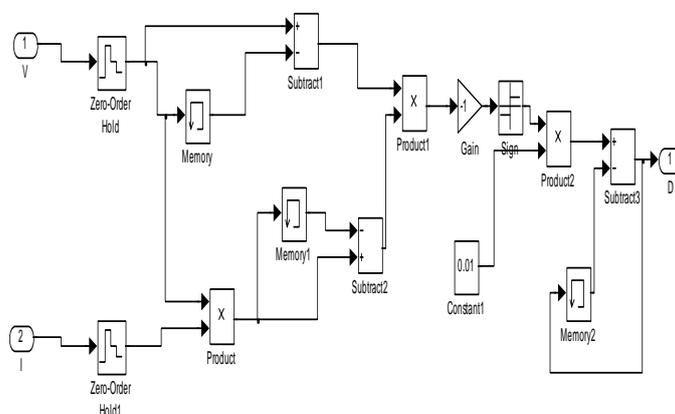
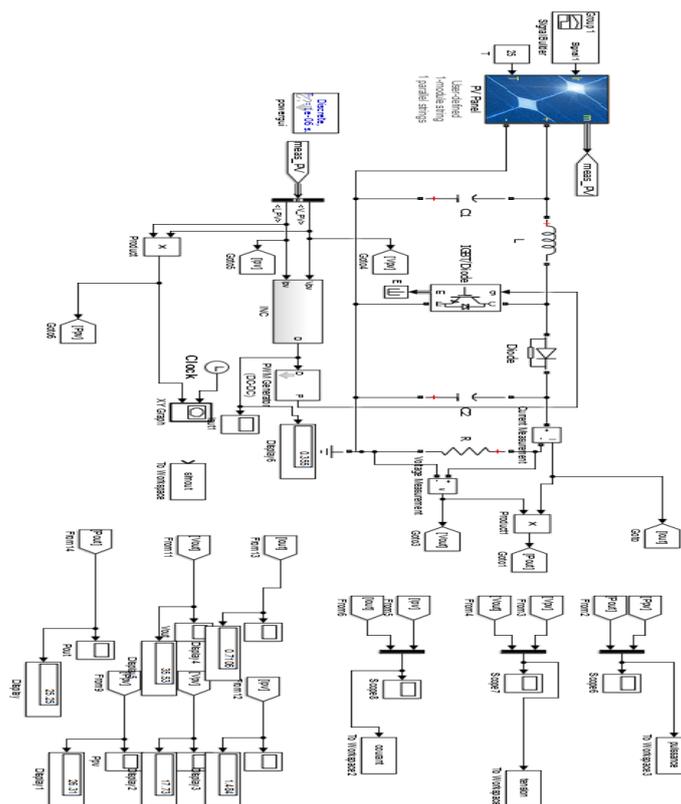
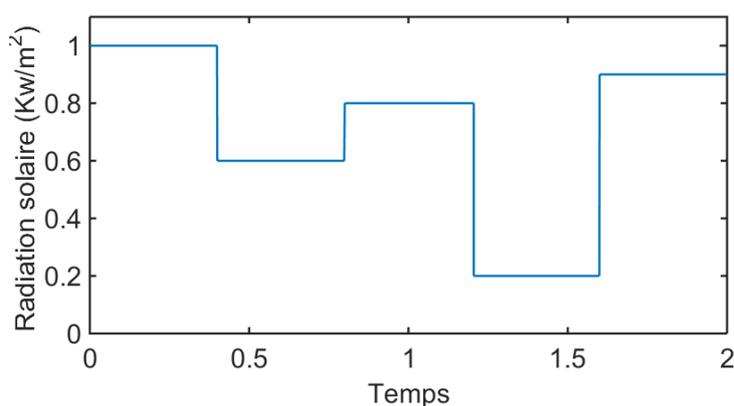


Figure III.14: Schéma de la commande MPPT INC sous MATLAB-SIMULINK

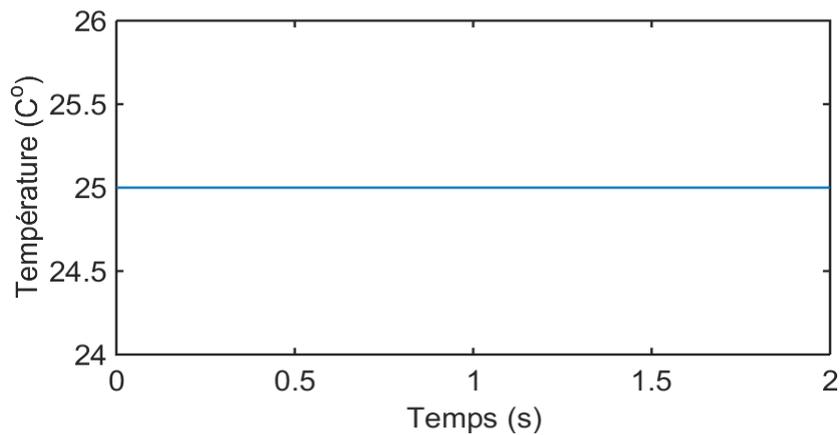


**Figure III.15:** Modèle Simulink du système PV commandé par l'algorithme INC

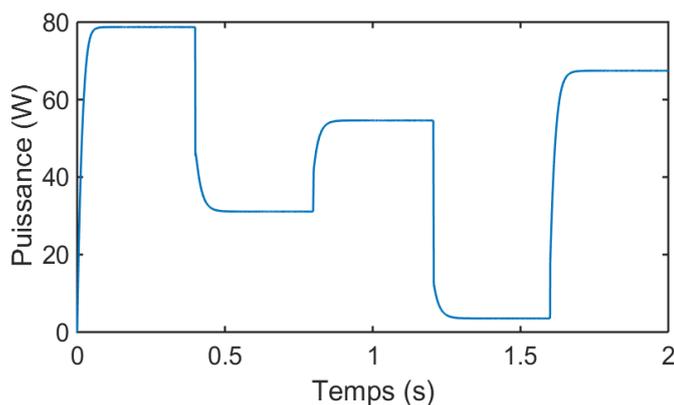
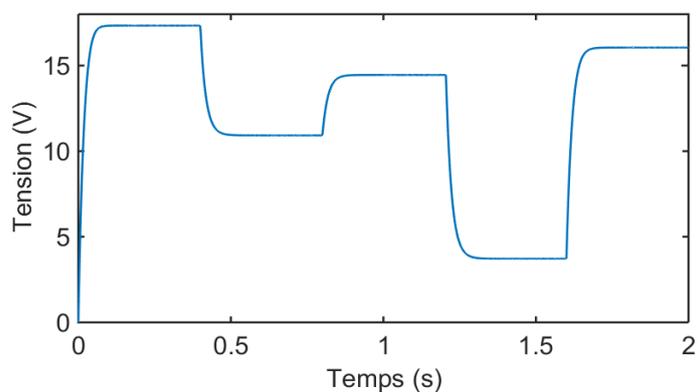
Le test de simulation est réalisé dans différentes conditions atmosphériques. Les profils de rayonnement solaire et de température de cellule sont supposés être tels que représentés sur les figures III.16 et III.17, respectivement.

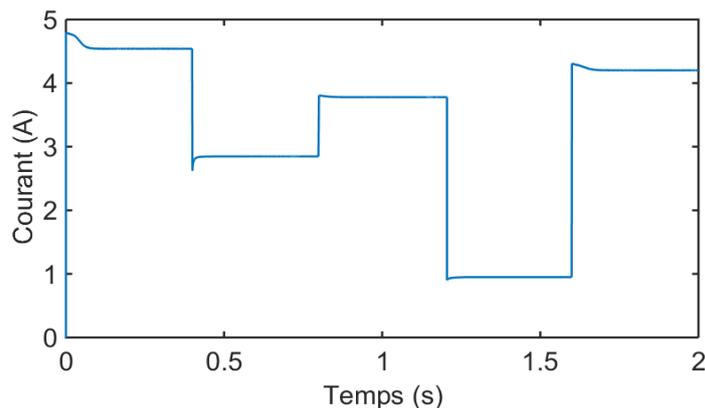


**Figure III.16 :** Radiation solaire

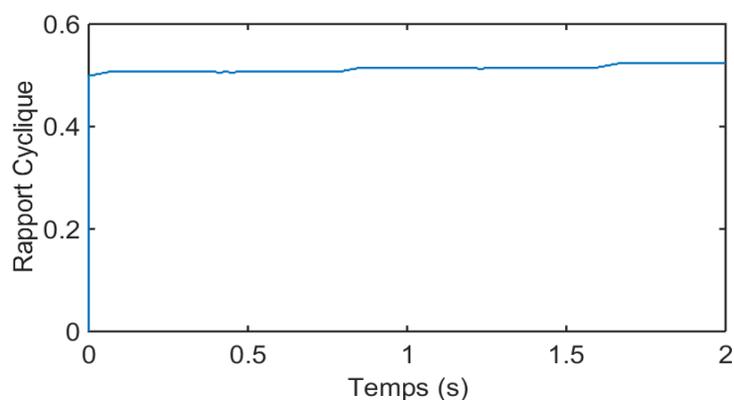
**Figure III.17:** Température

Les réponses de la puissance de PV et du courant de PV sont montrées sur les figures III.18 et III.19, tandis que les réponses de la tension de PV et du signal de commande sont montrées sur les figures III.20 et III.21.

**Figure III.18:** Réponse de puissance PV**Figure III.19:** Réponse de tension PV



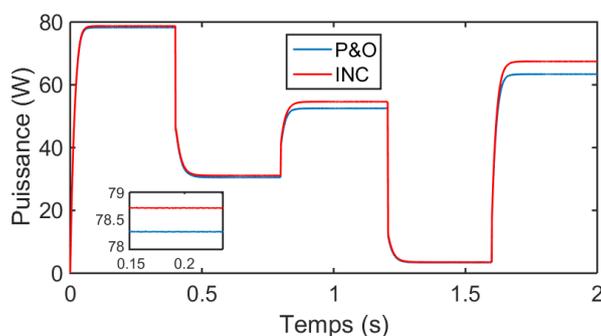
**Figure III.20:** Réponse de courant de PV



**Figure III.21:** Réponse de rapport cyclique

Les résultats de simulation montrent clairement que la réponse de la puissance PV avec la méthode INC suit parfaitement son point maximum avec moins de fluctuation.

La figure III.22 montre le résultat de comparaison entre les deux techniques MPPTs P&O et INC. Cette comparaison nous permet de conclure que les caractéristiques avec la commande INC convergent plus rapidement et la précision s'améliore et présente moins d'oscillations par rapport à la commande P&O.



**Figure III.22:** Comparaison entre les deux techniques MPPT P&O et INC

## **5. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons décrit les principaux éléments du système PV. Ensuite, nous avons rappelé le principe de cinq algorithmes MPPT P&O et INC. Enfin, nous avons terminé par une simulation des différents algorithmes.

Les résultats des simulations montrent que l'algorithme INC donne des résultats meilleurs que le P&O. Les méthodes P&O et INC sont largement utilisés mais la commande montre que l'algorithme INC a un bon comportement et des meilleures performances par rapport au P&O.

# **CHAPITRE VI :Commande MPPT des systèmes PV avec ombrage partiel**

## 1. Introduction :

L'ombrage partiel est un problème rencontré couramment dans les systèmes photovoltaïques (PV). nous avons modélisé et étudié l'effet des différentes configurations sous les conditions d'ombrage partiel.

Dans le but de pouvoir visualiser les caractéristiques de sortie des méthodes MPPT sous l'effet d'ensoleillement total et partiel il faudra faire la schématisation électrique de ce phénomène pour cela l'environnement MATLAB/SIMULINK est convenable à faire cette simulation.

Ce chapitre est consacré à la simulation et l'étude comparative entre les méthodes de commande à fin d'obtenir de meilleurs résultats.

## 2. Simulation d'ombrage partiel :

Nous présentons dans les figures ci-dessous les caractéristiques P-V et I-V avec conditions variables, dans le cas d'ombrage partiel. La première courbe (1) de la présente les caractéristiques Courant-Tension du panneau PV.

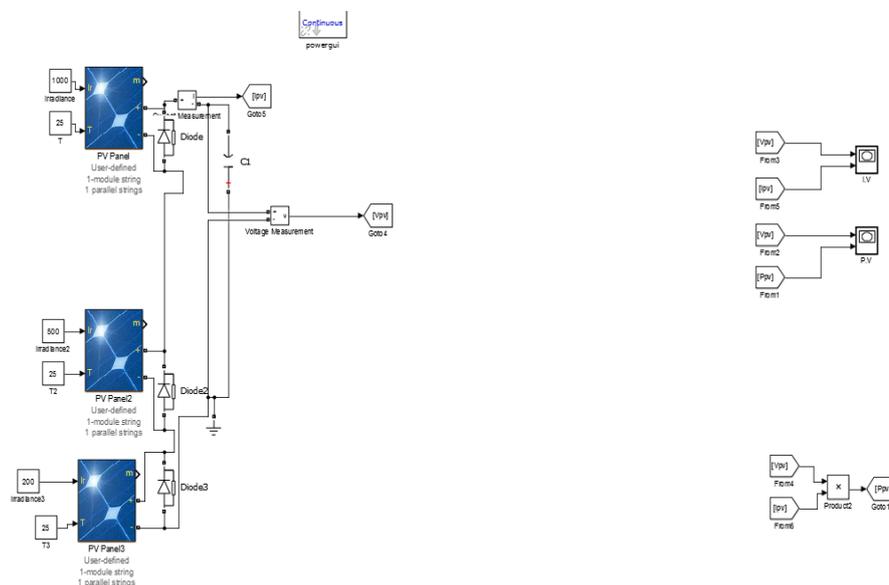
Le premier panneau étant soumis à un éclairement de  $G = 1000 \text{W/m}^2$ , le deuxième panneau soumis à un éclairement de  $G = 500 \text{W/m}^2$  et le dernier est soumis à un éclairement de  $200 \text{W/m}^2$ . La température est fixée à  $T = 25^\circ\text{C}$ .

La deuxième courbe présente les caractéristiques Puissance-Tension du PV sous les mêmes conditions décrites en haut.

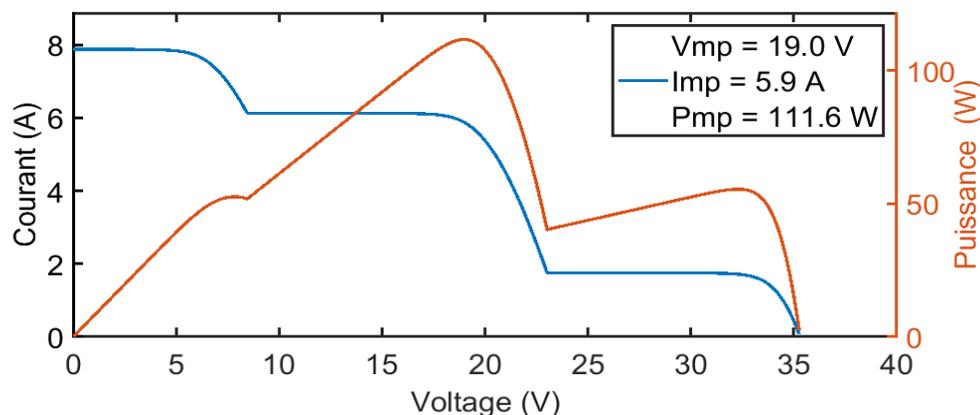
Dans le but de pouvoir visualiser les caractéristiques (I,V) et (P-V) sous l'effet de l'ombrage il faudra faire la schématisation électrique de ce phénomène, en modélisant le GPV, la diode et la variation de l'insolation. Pour cela l'environnement Matlab/simulink est convenable à faire cette simulation.

**Trois modules en série :** Cette architecture représente l'assemblage de trois générateur PV en série, la borne négative est relié à la borne positive du deuxième GPV ainsi de suite. Ces trois derniers sont connectés en parallèle avec trois diodes, comme citer précédemment. Pour mesurer la tension aux bornes du GPV nous introduisons toujours un voltmètre aux bornes de ce dernier, le courant produit par les trois GPV sera aussi mesurer par un ampèremètre introduit en série avec les trois générateurs. Ceux-ci nous permettront de calculer la puissance

produite par l'ensemble. les trois GPV sont soumis à des conditions météorologiques différents (1000 et 500 et 200 w/m<sup>2</sup>) et à une température constante  $T=25^{\circ}$ . Les résultats de simulation sous Simulink sont représentés par les figures suivantes :



**Figure VI.1 :** Schéma de simulation d'un panneau PV avec l'ombrage partiel



**Figure VI.2 :** Courbe de courant tension et puissance du panneau avec l'ombrage partiel

## 2.1. Résultat de simulation :

Dans cette figure on remarque l'apparence de trois points de maximum de puissance respectivement en insolation, cela est l'effet de l'ombrage de la branches de trois PV en série les mêmes remarquant sont valable pour la caractéristiques ci-dessous.

On effectue plusieurs simulations pour les différentes méthodes utilisées dans ce mémoire, voir PO, INC, cela pour connaître l'influence de l'ombrage partiel.

### 3. Commandes classiques sous l'ombrage partiel :

Il y a plusieurs types de commande MPPT existantes en les regroupant selon leur principe de base. Les méthodes les plus couramment rencontrées sont communément appelées respectivement Perturb & Observe (P&O), l'incrément de Conductance (Inc- Cond) [26].

#### 3.1 Commande P&O sous l'ombrage partiel :

Le principe de la méthode est de calculer  $\Delta P$  et  $\Delta V$  afin de se rapprocher du PPM. On analyse conception et la simulation d'une commande MPPT « perturbation et observation » qu'on a appliqué au GPV avec le convertisseur statique débitant sur une charge [27]. Nous avons simulé l'ensemble du modèle du panneau solaire en série pour des conditions d'éclairéments variables pour tester la performance de l'algorithme P&O. Le montage ci-dessous représente la simulation MATLAB/SIMULINK de la méthode P&O.

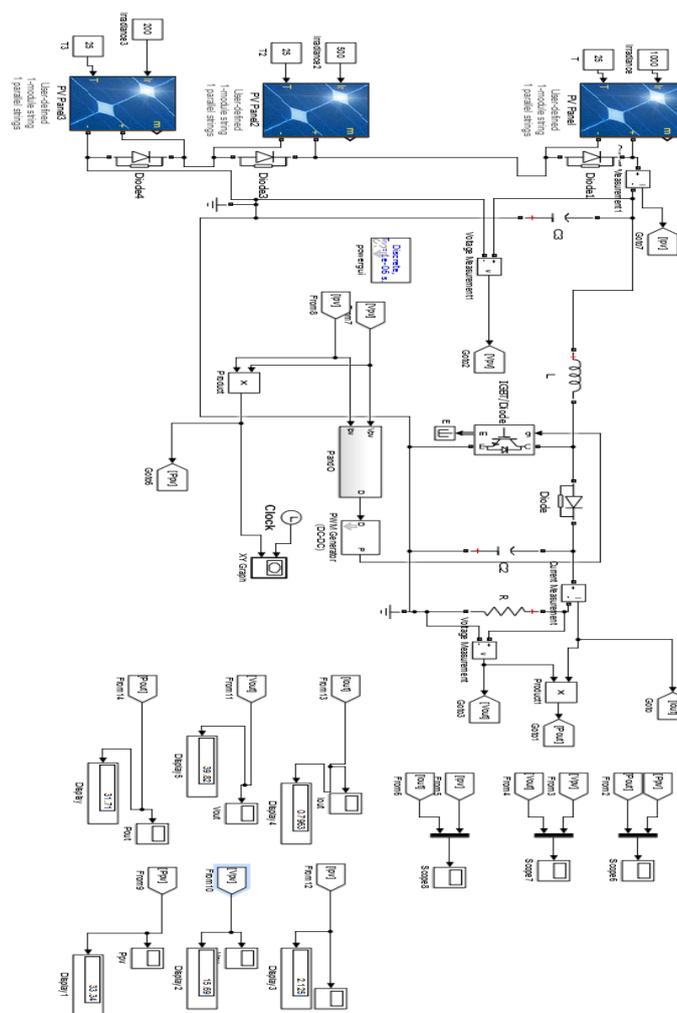
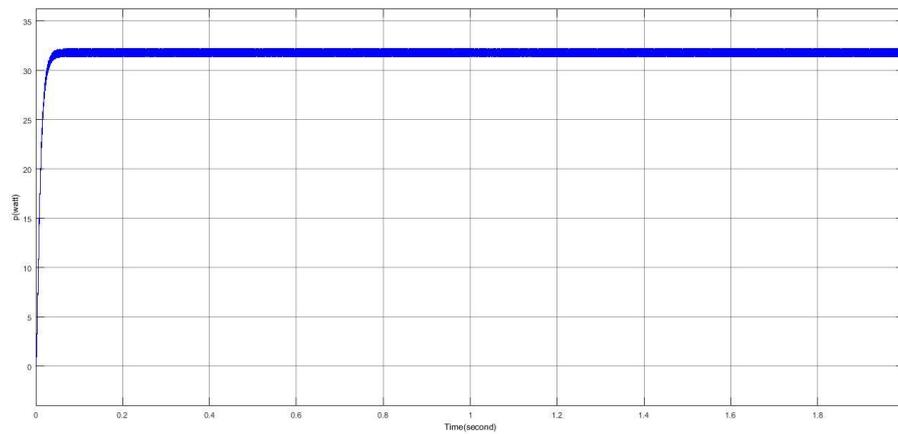
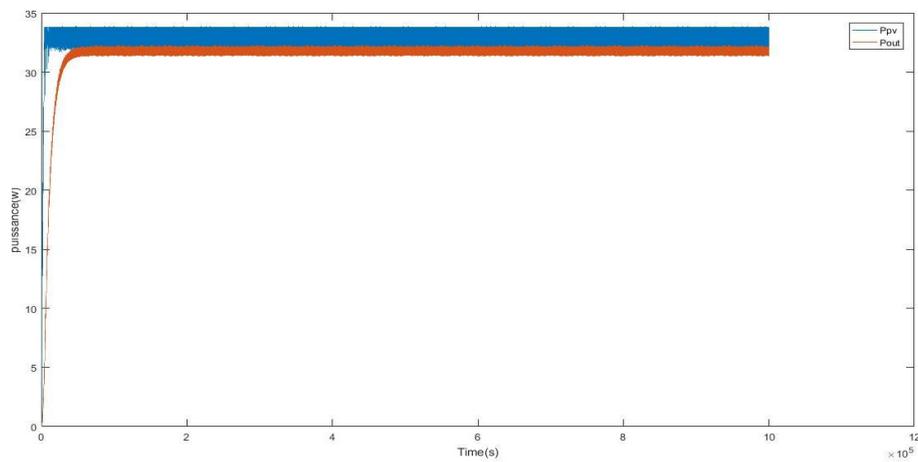


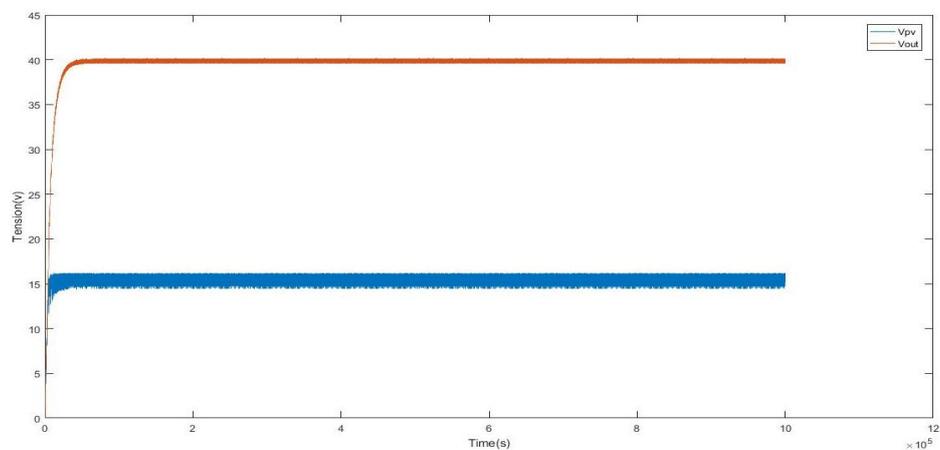
Figure VI.3 : Schéma SIMULINK de l'algorithme PO sous ombrage partiel



**Figure VI.4:** Réponse de puissance du panneau avec l'ombrage partiel.



**Figure VI.5:** Réponses de puissance d'entrée et sortie du panneau avec l'ombrage partiel



**Figure VI.6 :** Courbe de tension d'entrée et sortie p&o avec l'ombrage partiel

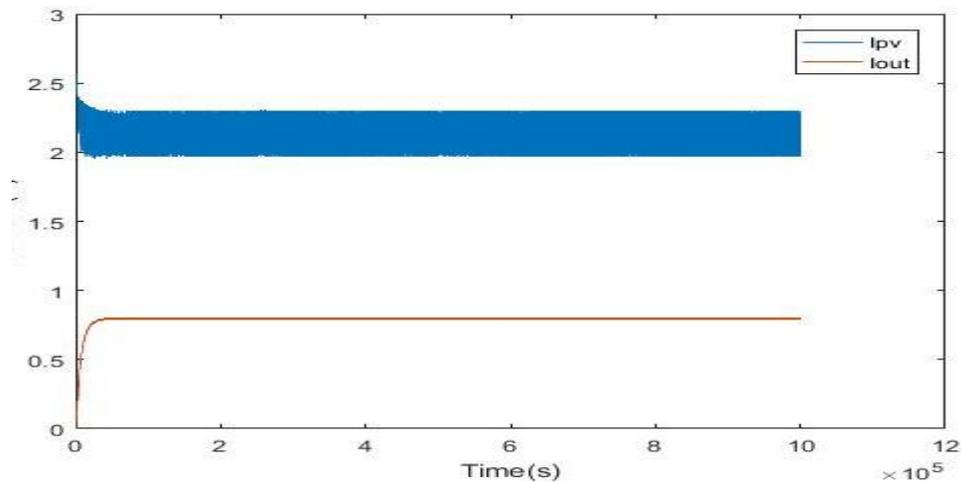


Figure VI.7 : Courbe de courant d'entrée et sortie p&o avec l'ombrage partiel

### 3.2 Simulation de la méthode INC :

Cette méthode est basée sur l'évolution de la conductance et la variation de la conductance du générateur PV. Pour atteindre le PPM, il faut comparer à chaque fois la valeur de la conductance avec celle de l'incrément de conductance ( $dI/dV$ ), s'il l'incrément de conductance est supérieur à l'opposé de la conductance on diminue le rapport cyclique[28].

Nous avons simulé l'ensemble du modèle du panneau solaire pour des conditions d'éclaircements variables pour tester la performance de l'algorithme INC.

La structure du schéma de simulation d'un système PV associé à une commande MPPT du type INC est représentée par les Figures suivantes :

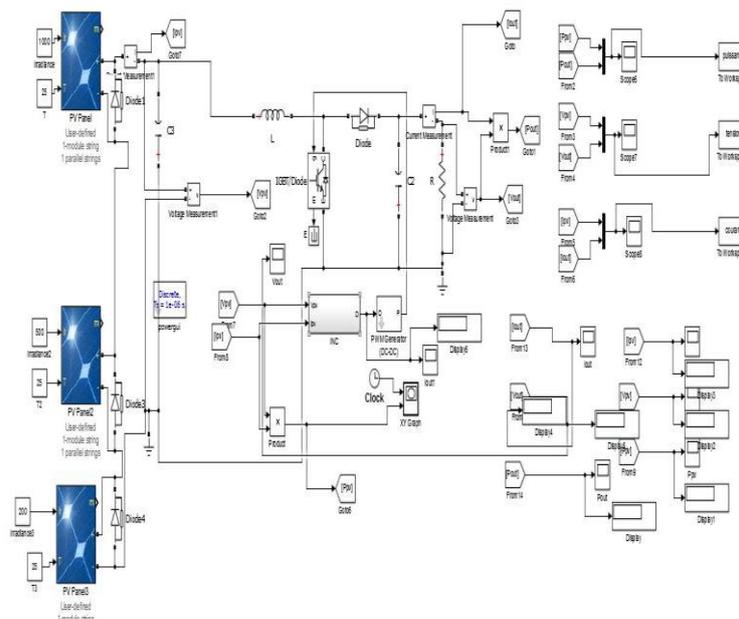
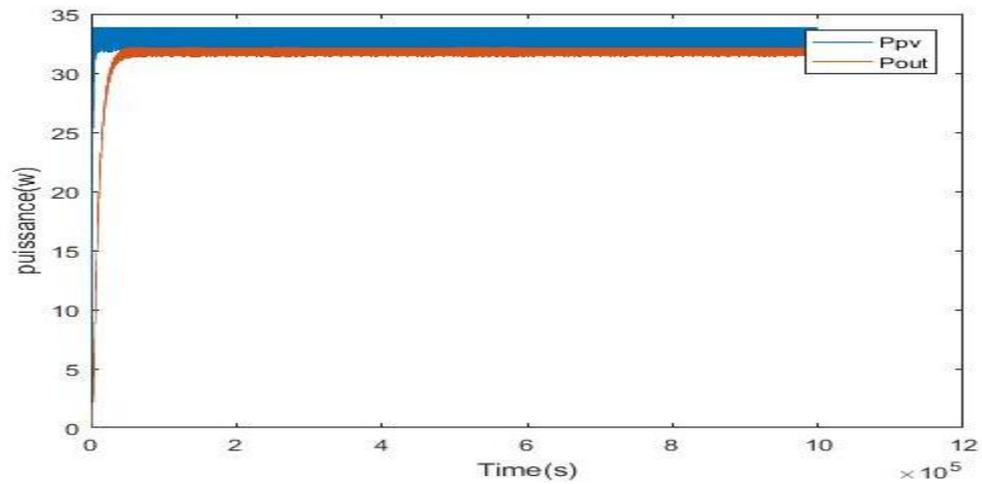
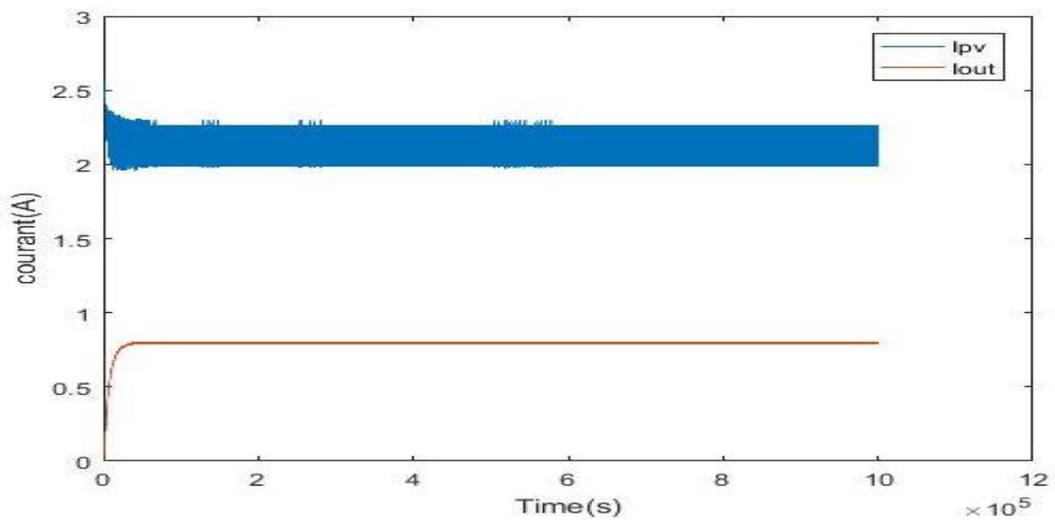


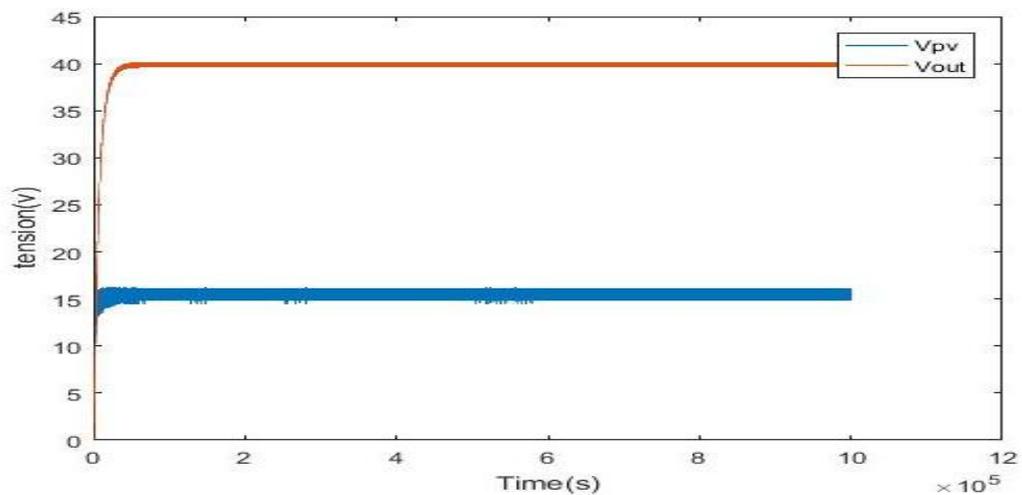
Figure VI.8: Schéma SIMULINK de l'algorithme incrémental sous ombrage partiel



**Figure VI.9:** Courbe de puissance d'entrée et sortie INC du panneau avec l'ombrage partiel



**Figure VI.10 :** Réponse de courant d'entrée et sortie INC avec l'ombrage partiel.



**Figure VI.11:** Répons de tension d'entrée et sortie INC avec l'ombrage partiel

La Figure VI.10 représente la puissance du panneau avec la technique INC. A partir des résultats de la courbe, on remarque que la méthode utilisée donne une puissance insuffisante. La puissance obtenue n'atteint pas le point PPM dont elle converge vers l'optimum locale. Si l'on compare ce résultat avec la technique PO, on remarque que les deux commandes donnent presque les mêmes résultats.

La méthode P&O	Ppv=32.7w	Pout=31.58w	Efficacité=96.57%
La méthode INC	Ppv= 33.74w	Pout= 31.06w	Efficacité= 92.06%

**Tableau VI.1** : Efficacité de commande

#### 4. Conclusion :

Dans ce chapitre la simulation des caractéristiques (I,V) et (P,V) pour la mise en série sous les conditions d'ombrage a été effectuée sous l'environnement matlab/simulink. Il est à noter que l'effet de l'ombrage sur les panneaux reliés en série Cette remarque est bien claire en exploitant les figures. L'affectation de l'ombrage sur les caractéristiques du panneau donne une modification importante sur le facteur de forme. En conséquence le rendement du GPV est affecté.

Deux méthodes de commande de MPPT appliqué à un générateur PV leurs résultats réalisés sous l'environnement MATLAB/SIMULINK sont présentés dans ce chapitre. Nous avons effectué une étude comparative entre deux méthodes MPPT, le premier est la méthode PO, le deuxième est la méthode INC. A partir les résultats obtenus, nous constatons aussi que la technique INC présente des oscillations autour de PPM avec une amplitude plus grande que celle de la méthode PO, car il est difficile de remplir la condition  $dp/dv=0$  mais l'efficacité statique est plus grand dans la méthode P&O.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

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

Nous avons dans ce travail introduit dans un premier paragraphe des généralités sur l'énergie solaire. Ensuite ; nous avons explicité la modélisation de la cellule, le module et le générateur PV avec et sans ombrage.

Dans ce travail nous avons également élaboré un modèle sous le logiciel Matlab Simulink du système photovoltaïque autonome qui nous a permis d'effectuer des essais de simulation sur le système avec et sans ombrage. Nous avons appliqué deux méthodes de commande MPPT : Perturbe et observe (P&O) et incrémentation de conductance (INC). Les résultats obtenus ont été comparés et analysés. Sur cette base, les points suivants ont été constatés :

Les deux méthodes permettent d'atteindre le point de puissance maximale de la caractéristique de (P-V) dans un essai sans ombrage.

Dans la présente étude, nous avons utilisé deux algorithmes MPPT, l'algorithme "Perturb and Observe" (P&O) puis l'algorithme "Incrément of Conductance" (IncCond). Les résultats de simulation ont illustré les Points de Puissance Maximale - PPM sur les caractéristiques puissance-tension pour différentes valeurs de l'ensoleillement. Nous pouvons aussi conclure que :

- Les performances du panneau PV se dégradent avec l'augmentation de la température et la diminution de l'intensité d'éclairement.
- Le convertisseur survolteur fournit une tension à sa sortie supérieure à celle fournie par le panneau PV.
- La commande MPPT adapte le point de fonctionnement du panneau PV à la demande de la charge. -la technique MPPT utilisant l'algorithme INC.

## Conclusion générale

---

les plus utilisés sont : Perturbe & Observe, Incrémental Conductance. Ces méthodes sont basées sur la recherche du maximum de la caractéristique P-V et ne sont efficaces que lorsque celle-ci ne contient qu'un seul maximum. Cependant, dans le cas d'un ombrage partiel, plusieurs collines peuvent apparaître dans la caractéristique P-V rendant la recherche du point de puissance maximale avec les algorithmes MPPT conventionnelles inefficaces.

---

**Références bibliographiques**

- [1] MESSAOUDI Mohammed Tahar «Simulation d'un système photovoltaïque autonome régulé par logique floue», UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, Thèse de Master, 08/06/2015.
- [2] Labani Imad Eddine riadh et Attig Abdelkrim, « modélisation simulation d'un system photovoltaïque adapte par une commande MPPT perturbation et observation (P&O) », Université Dr. Tahar Moulay de Saïda, Thèse de Master, 22/06/2017.
- [3] BELKAID ABDELHAKIM, « Conception et implémentation d'une commande MPPT de haute performance pour une chaine de conversion photovoltaïque autonome» UNIVERSITE FERHAT ABBAS - SETIF 1, Thèse de Doctorat, 19/10/2015.
- [4] DJELLAL LEILA IMEMNE & DIB YASMINA, «Etude comparative de deux commandes MPPT appliquées à un Système Photovoltaïque», Université Abou-Berk Belaud de Tlemcen, Thèse de Master, 22 Juin 2017.
- [5] <http://energiespropres.e-monsite.com>.
- [6] IDIR Zaher et ADRAR Amazigh «Etude et simulation du comportement d'un générateur photovoltaïque en présence de problème de désadaptation», Université A.MIRA-BEJAIA, Thèse de Master, 26/06/2016.
- [7] SalmaFath «Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique», UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF, Thèse de Magister, 01 /04/2011.
- [8] <http://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/ensoleillement-belgique.html>.
- [9] GUESMIA Mohamed takieddine „mémoire de fin d'étude master : étude et dimensionnement d'un système PV pour une habitation saisonnière isolée“, université de Biskra,2017.
- [10] Mlle BENHADDOUCHE narineFatima“ mémoire de fine d'étude master : la commande d'un système photovoltaïque d'un satellite“, université aboubelkaid- tlemcen2014.
- [11] Belaout Abdeslam «Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension», UNIVERSITE –SETIF-1, Thèse de Magister, 28/10/2014.
- [12] Youcef ABDELAZIZ «Contribution à l'Optimisation des Performances d'un Générateur

- Photovoltaïque en Présence d’Ombrage Partiel», UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI-BEL-ABBES, Thèse de Doctorat, 14 /09/2017.
- [13] FABRIZIO OLITA «ADVANCED CONTROL AND CONDITION MONITORING PV SYSTEMS», Université Aalborg, Dane mark, Master Thesis, Jaune 2012.
- [14] Andrew S Golder «PhotovoltaicGeneratorModeling for Large Scale Distribution System Studies», UniversityDrexel, Master Thesis, Octobre 2006.
- [15] A. Fortin, Analyse numérique pour ingénieurs, 2eme édition, Presses internationales polytechnique, 1996.
- [16] BENADEL Faiza «Etude Et Simulation D’une Commande MPPT Pour Système PV», UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M’SILA, Thèse de Master, 2015 – 2016.
- [17] R. Jimmy et al., Le pompage photovoltaïque, Édition Multi mondes, 1999.
- [18] L’obtention du diplômé de doctorat «intitulé optimisation de la gestion de l’énergiephotovoltaïque utilisée dans une zoomé agricole», UNIVERSITE BADJI MOKHTAR –ANNABA-2016/2017
- [19] F.Belhachat ’’, Commande neuro-floue d’un hacheurbMPPT’’, MAGISER ENP, juin 2007
- [20] Soufi Ali et Mohammad Abdel Haq «Evaluation of Global MPPT for stand-alone PV System».
- [21] Belaout Abdeslam «Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension».
- [22] UNIVERSITE –SETIF-1, Thèse de Magister, 28/10/2014.
- [23] GwinyaiDzimano, B.S « MODELING OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS »,
- [24] University Ohio State, This Master, 2008.
- [25] s. a. TADJER, « etuded’un système de compensation d’harmonique en utilisant un générateur photovoltaïque », mémoire de magister, université mouhamedbougara- boumerdes, algérie, 2008.
- [26] Khalid HamoodaMatter, «A Thesis Submitted to the Faculty of Engineering in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in ElectricalEngineering»TheIslamicUniversity of Gaza, Palestine, Master Thesis, June. 27, 2014.

- [27] Farhan Mahmoud, <<Improving the Photovoltaic Model in Power Factory >> Electric Power Systems Second Level, Stockholm, Sweden, Master Thesis, 2012.
- [28] B. Nassim et B. Smail, Commande directe par la méthode incrémental conductance (Inc-cond) d'un panneau photovoltaïque, 17 Septembre 2018.

## Résumé

### ملخص

في هذه الذكرة نركز بشكل اكبر على نظام الضوئي الذي يخضع لتظليل الجزئي وقد تمتحقق من صحة التقنيات التحكم بالطاقة بشكل أساسي بطريقة اضطراب وملاحظ وتصريف تدريجي. وتم التحقق من صحتها من خلال تصميم نموذج

MATTLAB/SUMILINK

الكلمات المفتاحية: :

الظل اللوح الكهروضوئي نظام وحدة التحكم طاقة الضوئية و خوارزمية الاضطراب و الملاحظة وخوارزمية تصريف تدريجي.

### Résumé :

Dans ce mémoire, nous sommes davantage concentrés sur un système photovoltaïque qui subit un ombrage partiel, et les technique de contrôle de la puissance MPPT ont été validées principalement dans une méthode perturbe observe (P&O) et d'Incrémentale Conductance(INC) ont été validés par la conception d'un modèle sous MATTLAB/SUMILINK.

### Mots-clés :

Ombrage, Système photovoltaïque, commande MPPT, perturbe observe (P et O), d'Incrémentale Conductance (INC)

### Abstarct:

In this thesis, we are more focused on a photodiode system that undergoes partial shading, and the MPPT power control techniques have been validated mainly in a disturb observed (P&O) and incremental Constance (INC) method. Were validated by the design of a model under MATTAB/SUMILINK.

### Key words:

The shadow, photoelectric board, ordered MPPT, disturb observed (P&O) , incremental Constance (INC)