

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Projet de Fin d'Études

présenté par

BENBLIDIA HOUSSAM

&

KERKAR AMAR

Pour l'obtention du diplôme master en système de vision et robotique

Thème

Etude de l'Effet de l'Ombrage Sur un Système Photovoltaïque

Proposé par : Mr.hassani adnane

Année Universitaire 2014-2015

Remerciement

Avant tout, je remercie ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail.

Nous tenons bien sur à remercier nos parents qui nous ont soutenues psychiquement durant toutes nos études.

Nous tenons à remercier M.r hassani notre promoteur

Nos sincères remerciements vont également :

Mr. T. REZKI

Mr.M.Mamoune.

Nous adressons nos remerciements aux membres du jury qui ont bien voulu nous honorer de leurs présences en vue de juger notre travail.

Enfin, que tout ceux qui ont contribué de près ou de loin, à l'établissement de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

ملخص:

يتطرق هذا العمل إلى مدى تأثير الظل على الأنظمة الكهروضوئية الذي بدوره- الظل- يؤثر على خصائص اللوح الكهروضوئي . في ظل هذه الظروف ركزنا اهتمامنا أكثر على دراسة ومحاكاة هذه الظاهرة وفق محيط محاكاة مكننا إظهار المنحنيات المتعلقة بخصائص اللوح الكهروضوئي. تأثير الظل على هذه الخصائص يقوم بإحداث تغيير معتبر في معامل الشكل الذي بدوره يؤثر على المردود.

كلمات المفاتيح: الظل, اللوح الكهروضوئي

Résumé : Ce travail s'intéresse à l'effet de l'ombrage sur un système photovoltaïque et son impacte sur les différentes caractéristiques du Gpv. Notre intérêt s'est particulièrement consacré à l'étude et simulation sous l'environnement SIMULINK de l'effet de l'ombrage sur les Gpv. L'effet de ce phénomène sur les caractéristiques du panneau donne une modification importante sur le facteur de forme. En conséquence le rendement du GPV est affecté.

Mots clés : Panneaux Solaires; Ombrage ; Matalb/Simulink.

Abstract : This work is interested about the effect of shade on photovoltaic system and his impact on different characteristic of Gpv. Our interest is particularly devoted to the study and simulation in the Simulink environment from the effect of shading on Gpv. And the effect of this phenomenon on the panel characteristics give a significant change on the form factor. Consequently the performance of the GPV is affected.

Keywords : Shading ; Solar Panal ; Matalb/Simulink.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Ce mémoire est consacré à l'étude de l'effet de l'ombrage sur un système de production d'électricité photovoltaïque.

Dans le premier chapitre, nous avons procédé à la modélisation d'un générateur photovoltaïque en utilisant le modèle à une seule diode. Ce dernier est le modèle le plus adapté pour la simulation du fonctionnement des cellules solaires, car il nous a permis d'obtenir des caractéristiques très proches de celles du générateur photovoltaïque réel, ce qui nous a permis de valider notre modélisation.

Dans le deuxième chapitre, nous avons abordé la modélisation et le dimensionnement du hacheur dc/dc et les topologies de base de convertisseurs statiques *DC/DC*, ainsi que les différentes techniques de poursuite du point de puissance maximale (MPPT) ainsi nous avons rappelé le principe de fonctionnement de quelques algorithmes utilisés pour le suivi du point de puissance maximum. Nous signalons que dans notre travail l'étage d'adaptation et l'algorithme MPPT n'ont été pas envisagés, vu les contraintes que nous avons rencontrées, à savoir le suivi du MPPT lors de l'ombrage. Ce phénomène nécessite une maîtrise parfaite de l'effet de l'ombrage.

Dans le troisième chapitre, nous avons modélisé et simulé l'effet de l'ombrage sur différentes topologies des systèmes photovoltaïques. L'effet 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.

En perspective, nous proposons une étude élargie sur l'effet de l'ombrage afin d'introduire l'étage d'adaptation pour le suivi du MPPT. Ainsi l'implémentation sur cible FPGA de l'algorithme MPPT est très souhaitable.

Sommaire

Introduction général	1
----------------------------	---

Chapitre 1

****l'état de l'art sur le module PV****

1.1. Introduction	4
1.2. Cellules photovoltaïques.....	4
1.3. Modèles mathématiques d'une cellule solaire.....	6
1.3.1. Modèle à une diode.....	6
1.3.2. Schéma block.....	10
1.3.3. Influence des paramètres météorologiques sur le fonctionnement du GPV.....	12
1.3.4. Modélisation d'un champ photovoltaïque.....	14
1.4. L'ombrage.....	17
1.4.1. Définition d'Ombrages	17
1.4.2. Phénomène d'ombrage sur les modules photovoltaïques	19
Conclusion.....	22

Chapitre 2

**** Étude de l'étage d'adaptation****

2.1. Introduction.....	24
2.2. Principe de la Recherche du MPP.....	25
2.3. Gestion de la MPPT.....	27
2.4. Classification de l'algorithme de suiveur la puissance max.....	28
2.4.1. Les méthodes indirectes.....	28
2.4.2. Les méthodes directes.....	29
2.5. Autres méthodes.....	31
2.6. Convertisseur continu- continu (Hacheur).....	32
2.7. Type de convertisseurs.....	32
2.8. Hacheur survolteur 'Boost converter '.....	33
2.9. Dimensionnement Du Hacheur Dc/Dc (Boost).....	36
2.10. Conclusion.....	37

Chapitre 3 **** simulation et résultat ****

3.1. Introduction.....	38
3.2. Simulation d'ombrage.....	38
3.3 L'influence de l'effet de l'ombrage sur le facteur de forme (FF).....	44
3.3.1 Introduction.....	44
3.3.2 Test montage Gpv en série.....	44
3.3.3 Test montage Gpv en parallèle	48
3.3.4 Analyse des résultats.....	52
Conclusion.....	53
Conclusion générale.....	54
Bibliographie	55

Chapitre 1 ****l'état de l'art sur le module PV****

Tableau I. 1 : Différentes technologies de cellules solaires.

Tableau I. 2 : Caractéristique du panneau.

Chapitre 3 ****Simulation et Resultat****

Tableau III. 1 : valeurs des insolation sur les modules en serie.

Tableau III. 2 : valeurs des insolation sur les modules en parallèle.

Tableau III. 3 : puissance au point maximum et facteur de forme (connexion en serie).

Tableau III. 4 : puissance au point maximum et facteur de forme (connexion en parallèle).

Chapitre 1

****l'état de l'art sur le module PV****

Figure I.1 : Structure d'une cellule photovoltaïque au silicium (jonction PN).

Figure I.2 : Schéma du circuit électrique équivalent d'une cellule solaire réelle.

Figure I.3 : caractéristique courant/tension ($I = f(V)$) d'une cellule.

Figure I.4 : Caractéristique I/V pour différentes valeurs de R_s .

Figure I.5 : Caractéristique I/V pour différentes valeurs de R_p .

Figure I.6 : Schéma bloc du GPV.

Figure I.7 : Caractéristiques (I-V) d'un générateur photovoltaïque.

Figure I.8 : Caractéristiques (P-V) d'un générateur photovoltaïque.

Figure I.9 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique courant-tension d'un GPV.

Figure I.10 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique puissance-tension d'un GPV.

Figure I.11 : Influence de la température sur la caractéristique courant-tension d'un GPV.

Figure I.12 : Influence de la température sur la caractéristique puissance-tension d'un GPV.

Figure I.13 : Composantes d'un champ de modules photovoltaïques.

Figure I.14 : Champ de deux générateurs photovoltaïques associés en parallèle.

Figure I.15 : Puissance de Champ de deux générateurs photovoltaïques associés en parallèle.

Figure I.16 : Champ de deux générateurs photovoltaïques associés en série.

Figure I.17 : Puissance de Champ de deux générateurs photovoltaïques associés en série.

Figure I.18 : GPV dans des conditions partiellement ombragés causés par le passage de nuages.

Figure I.19 : Caractéristique I-V d'une cellule PV dans toute sa gamme de tension.

Figure I.20 : Principe de construction de la caractéristique d'un module PV pour un courant donné

Figure I. 21 : Une cellule ombragée sur un module PV.

Chapitre 2

****l'etat de l'art sur le module PV****

Figure II .1 : Courbe caractéristique de puissance d'un GPV.

Figure II .2 : La caractéristique P-V et la trajectoire de PPM.

Liste des figures

Figure II.3 : La caractéristique I-V et la trajectoire de PPM.

Figure II.4 : Schéma de principe du convertisseur MPPT.

Figure II.5 : Recherche et recouvrement du Point de Puissance Maximale a) suite à une variation d'éclairement, b) suite à une variation de charge, c) suite à une variation de température.

Figure II.6 : Schéma de converge vers le PPM par P&O.

Figure II.7 : Trajectoire par Incrémentation de Conductance.

Figure II.8 : Schéma équivalent d'un hacheur survolteur 'Boost'.

Figure II.9 : Schéma équivalent du hacheur pendant la fermeture de l'interrupteur K.

Figure II.10 : Schéma équivalent du hacheur pendant l'ouverture de l'interrupteur K.

Figure II.11 : Les formes d'ondes de la tension et du courant de sortie.

Chapitre 3

**simulation et resultat **

Figure III.1 : Schéma bloc de deux module en série.

Figure III.2 : Caractéristiques (I-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage.

Figure III.3 : Caractéristiques (P-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage.

Figure III.4 : Schéma bloc de trois modules en série.

Figure III.5 : Caractéristiques (I-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage.

Figure III.6 : Caractéristiques (P-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage.

Figure III.7 : schéma bloc de deux modules en série en parallèle avec deux autre modules en série.

Figure III.8 :Caractéristiques (I-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage de deux modules en série en parallèle avec deux modules en série .

Figure III.9.Caractéristiques (P-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage de deux modules en série en parallèle avec deux modules en série .

Figure III.10 : Caractéristiques (P-V) du test 1.

Figure III.11 : Caractéristiques (P-V) du test 2.

Figure III.12 : Caractéristiques (P-V) du test 3.

Figure III.13 : Caractéristiques (P-V) du test 4.

Figure III.14 : Caractéristiques (P-V) du test 5

Liste des figures

Figure III.15 : Caractéristiques (P-V) du test 6.

Figure III.16 : Caractéristiques (P-V) du test 1.

Figure III.17 : Caractéristiques (P-V) du test 2

Figure III.18 : Caractéristiques (P-V) du test 3.

Figure III.19 : Caractéristiques (P-V) du test 4.

Figure III.20 : Caractéristiques (P-V) du test 5.

Figure III.21 : Caractéristiques (P-V) du test 6

1.1 Introduction

L'énergie solaire est la source d'énergie la plus abondante parmi les énergies renouvelables. L'électricité photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule.

Nous nous intéressons dans ce chapitre à la conversion photovoltaïque; dans un premier temps, nous décrirons brièvement la structure et le fonctionnement des cellules et des générateurs photovoltaïques (GPV) dans un environnement *MATLAB/Simulink*. Ainsi, nous étudierons l'influence des paramètres météorologiques (Température et Eclairement) sur le comportement électrique d'une cellule solaire. Un modèle de GPV sera abordé dans ce chapitre, à savoir, le modèle à une seule exponentielle.

1.2 Cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques ont été découvertes par E. Becquerel en 1839, elles sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé «effet photovoltaïque» (Figure I.1). Ce dernier consiste en l'apparition d'une différence de potentiel au sein de la jonction PN lorsqu'elle est soumise à un rayonnement lumineux. L'énergie des photons lumineux captée par les électrons périphériques (couche N) leur permet de franchir la barrière de potentiel. Les électrons ainsi libérés créeront le courant électrique de la cellule appelé aussi «photo-courant» [5].

Chapitre 1: L'état de L'art Sur les Modules PV

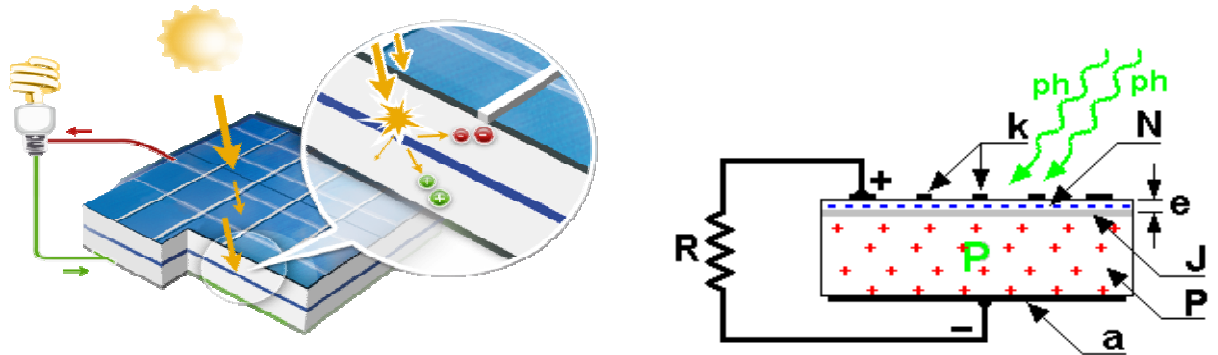


Figure 1.1 : Structure d'une cellule photovoltaïque au silicium (jonction PN) [6][7].

La puissance électrique produite par une cellule industrialisée est très faible typiquement de 1 à 3W avec une tension de moins d'un Volt. Pour élever la tension, les cellules sont commercialisées sous forme des modules photovoltaïques. Le tableau I.1 représente les différentes technologies d'une cellule [6][7].

Cellules	Rendement	Avantages et inconvénients	Application
Silicium monocristallin	14 à 16 %	-Matière première largement disponible. -Coût élevé de production. -Rendement faible sous faible éclairement.	-Appareil de faible puissance. -Application spatiale.
Silicium polycristallin	12 à 14 %	-Coût de production moins élevé.	-Générateurs à toutes tailles (relié au réseau où en sites isolés).
Silicium amorphe	6 à 8 %	-Coût de production le plus bas. -Fonctionnement sous faible éclairement. -Rendement faible.	-Appareil de faible puissance. -Production d'énergie (calculatrices et montres solaires).

Tableau I. 1 : Différentes technologies de cellules solaires

1.3. Modèles mathématiques d'une cellule solaire

Il existe plusieurs modèles de cellules solaires, dont le but est l'obtention de la caractéristique courant-tension $I=f(V)$ pour l'analyse et l'évaluation des performances des systèmes photovoltaïques. La différence entre ces modèles réside dans la procédure et le nombre des paramètres intervenants dans le calcul de la paire courant-tension.

1.3.1. Modèle à une diode

En ce qui concerne le comportement d'une cellule solaire réelle, deux résistances parasites sont prises en considération pour une description plus exacte [8] [9] [10]

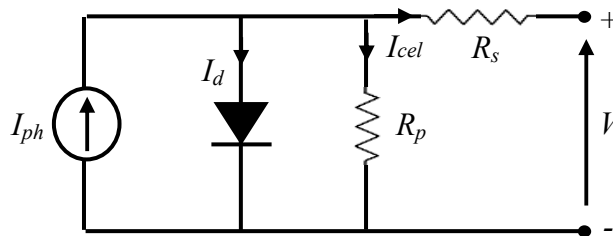


Figure 1.2: Schéma du circuit électrique équivalent d'une cellule solaire réelle

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{V_{cel}}{V_{th}}} - 1 \right) \quad (I-1)$$

$V_{th} = \frac{nkt}{q}$: est appelée tension thermique.

q : charge électrique élémentaire [$1.6 \cdot 10^{-19}$] ;

k : constante de Boltzmann [$K = 1.381 \cdot 10^{-23}$ J/K] ;

T : température absolue de la cellule ;

I_s : courant de saturation de la jonction non éclairée [A] ;

n : facteur d'idéalité de la jonction ;

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{qV_{cel}}{nkt}} - 1 \right) \quad (I-2)$$

Chapitre 1: L'état de L'art Sur les Modules PV

Lorsque les bornes du circuit sont court-circuités, la tension de sortie est nulle et d'après l'équation (I-3) le courant fournit par la cellule est à son maximum. Ce courant est appelé courant de court-circuit I_{sc} (short-circuit)

$$I_{sc} = I_{ph} \quad (I-3)$$

Pour une charge inanimés grande (circuit ouvert), le courant de sortie est nul et la tension aux bornes de la cellule est maximale. Cette tension est appelée tension de circuit ouvert V_{oc} (open-circuit). A partir de l'équation (I-3), on peut écrire:

$$\text{avec : } V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1\right) = V_{th} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1\right) \quad (I-4)$$

V_{oc} est déterminée par les propriétés du semi-conducteur, car elle dépend de I_s qui lui-même dépend de la densité de courant de saturation du matériau utilisé.

En pratique, la caractéristique courant/tension ($I = f(V)$) de la cellule peut être construite, point par point, en utilisant une résistance ajustable (Figure 3).

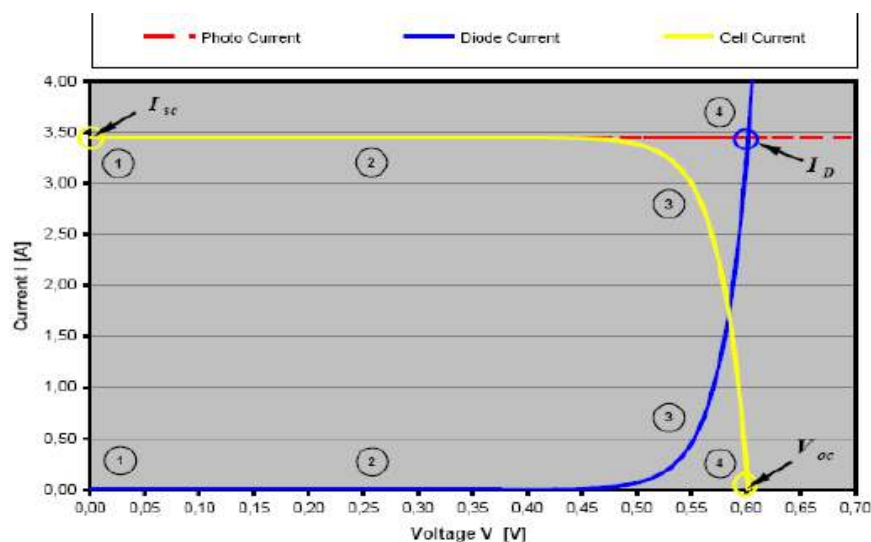


Figure I.3: caractéristique courant/tension ($I = f(V)$) d'une cellule [13] [14] [15]

Chapitre 1: L'état de L'art Sur les Modules PV

R_p : résistance parallèle caractérisant le courant de fuite à la surface de la cellule dû à la non idéalité de la jonction P-N et des impuretés près de la jonction.

R_s : résistance série représentant les diverses résistances de contact et la résistance du semi-conducteur.

En pratique, la résistance parallèle **R_p** est très importante (de l'ordre du méga Ohm) et la résistance série **R_s** est très faible (de l'ordre de quelques milli-ohms).

avec :

I_{ph} : photo-courant ;

V_{cel} : tension aux bornes de la cellule ;

I_d : courant à travers la diode ;

I_{cel} : courant délivré par la cellule ;

Le modèle mathématique d'une cellule PV idéale illuminée est donné par (Loi de Kirchhoff):

Avec un tel circuit électrique équivalent, on peut écrire:

$$I_{cel} = I_{ph} - I_d - \frac{v_d}{R_p} \quad (1-5)$$

$$I_d = I_s \left(e^{\frac{v_d}{V_{th}}} - 1 \right) \quad (1-6)$$

$$V_d = V_{cel} + R_s I_{cel} \quad (1-7)$$

D'où:

$$I_{cel} = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{V_{cel} + R_s I_{cel}}{V_{th}}} - 1 \right) - \frac{V_{cel} + R_s I_{cel}}{R_p} \quad (1-8)$$

L'effet des résistances **R_s** et **R_p** apparaît sur la caractéristique (I/V), comme le montrent les figures suivantes [12] :

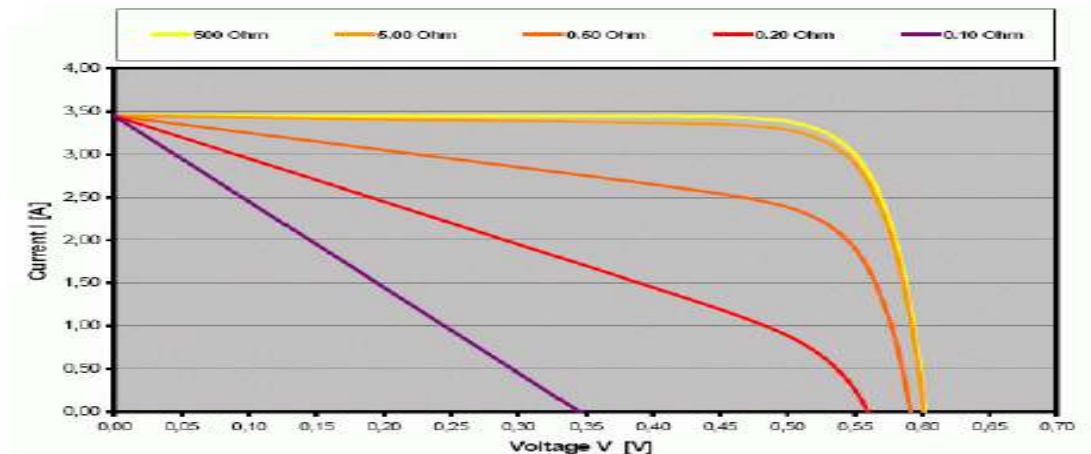


Figure 1.4 : Caractéristique I/V pour différentes valeurs de R_s [13] [14] [15]

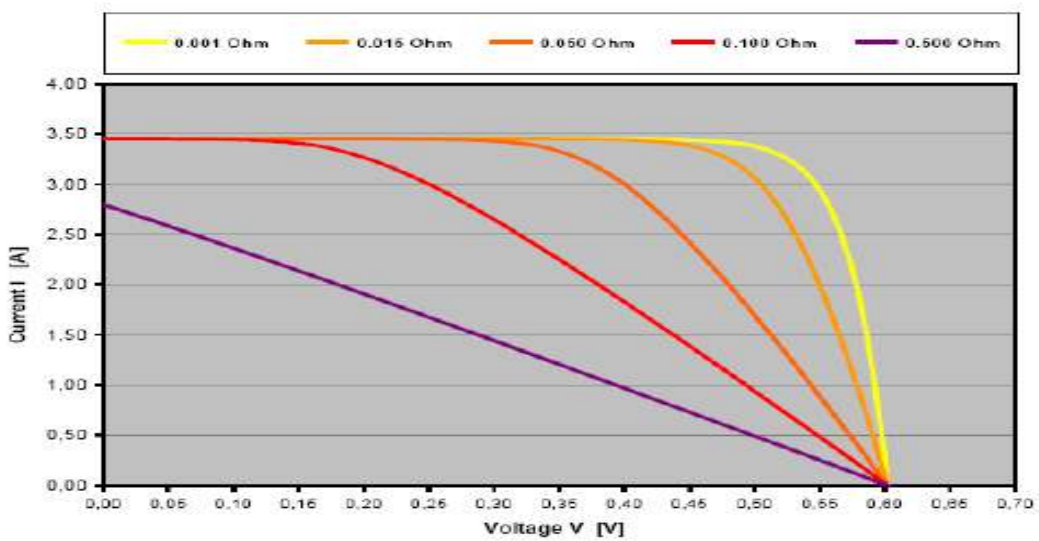


Figure 1.5 : Caractéristique I/V pour différentes valeurs de R_p [13] [14] [15].

Le courant de saturation I_s de la diode pour la température T_0 , est donné par:

$$I_{so} = \frac{I_{sco}}{\left(e^{V_{oc}/V_{tho}} - 1 \right)} \quad (I-9)$$

Le courant de saturation dépend de la température. Sa valeur pour une température donnée est calculée par l'équation suivante [13] [14] [15]

$$I_s = I_{so} \left(\frac{T}{T_o} \right)^{\frac{3}{n}} * e^{-\frac{qV_g}{nk} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right)} \quad (I-10)$$

Où : V_g est l'énergie du band gap.

1.3.2. Schéma bloc

Le schéma bloc du générateur photovoltaïque utilisant *MATLAB/Simulink* est présenté par la figure 1.6.

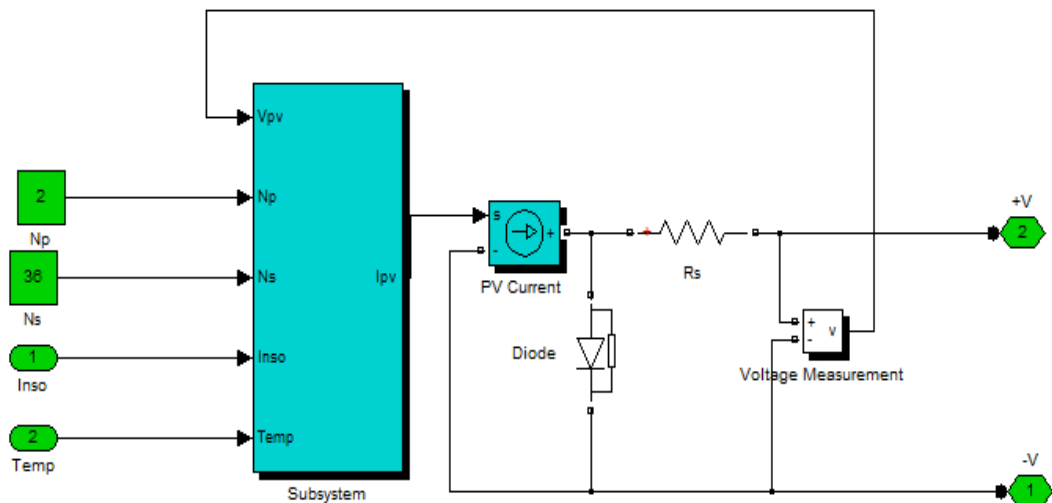


Figure 1.6 : Schéma bloc du GPV

L'étude est faite sur un générateur photovoltaïque, composé de 36 cellules multi-cristallines connectées en série constituant une branche, deux branches seront connectées en parallèle pour produire une puissance maximale de 60.2 Watts.

Chapitre 1: L'état de L'art Sur les Modules PV

Maximum Power (Pmax)	60.2 Watt
Maximum Voltage(Vmpp)	13.5 V
Maximum Current (Impp)	4.45 A
Open Circuit Voltage (Voc)	17.2 V
Short Circuit Current (Isc)	5.2 A

Tableau I. 2: Caractéristiques du panneau

Les différentes caractéristiques sont obtenues en sous les conditions standard ($T_0=25^{\circ}\text{C}$ et $E_0=1000\text{W}/\text{m}^2$)

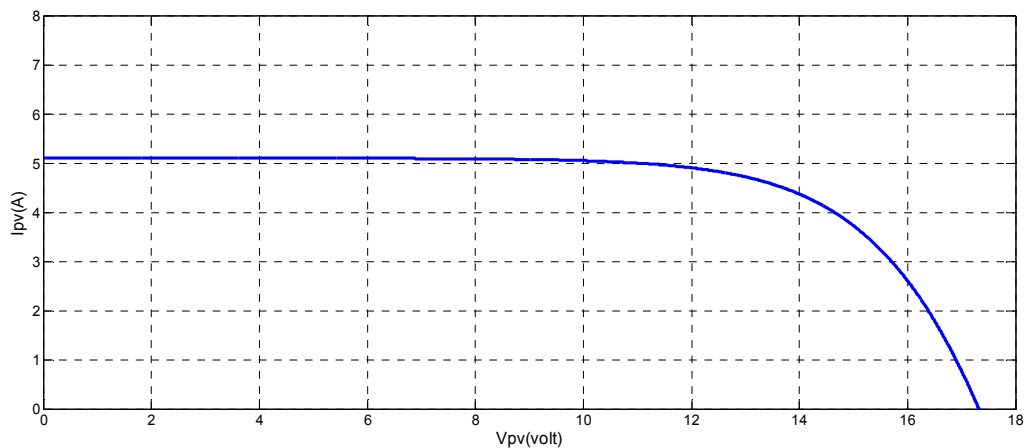


Figure I.7 : Caractéristiques (I-V) d'un générateur photovoltaïque

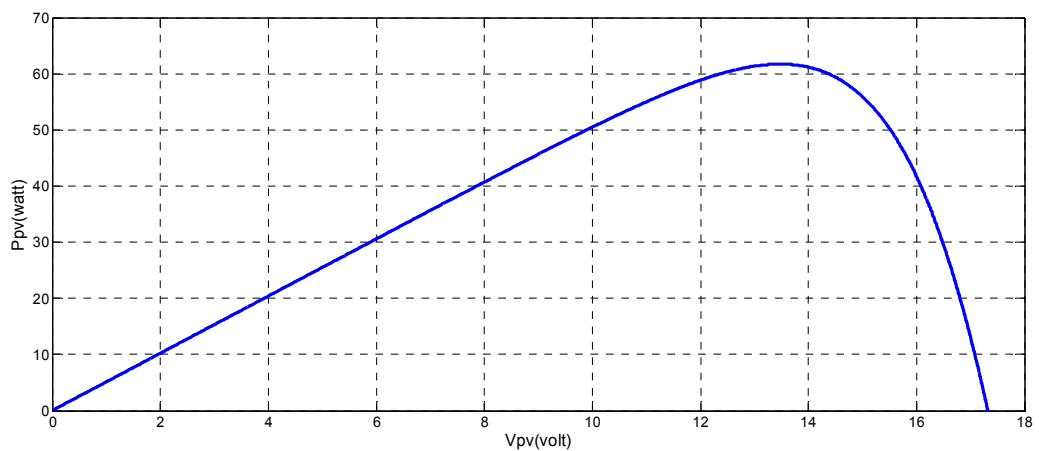


Figure I.8 : Caractéristiques (P-V) d'un générateur photovoltaïque.

On constate que la caractéristique courant-tension ($I-V$) a un courant maximum (courant de court circuit I_{sc}) et une tension maximale V_{oc} (tension de circuit ouvert). De même la caractéristiques puissance-tension ($P-V$) a un point de puissance maximale du générateur à une tension appelée V_{mpp} inférieure à la tension V_{oc} . Ce point est très important et doit être l'objet de toute l'étude d'un système PV, en effet c'est le point où le G_{pv} fournit la maximum de puissance. Tous les algorithmes MPPT dans leur fonctionnement cherchent à atteindre ce dernier quelque soit les variations météorologiques.

1.3.3. Influence des paramètres météorologiques sur le fonctionnement du GPV

1.3.3.1. Influence de l'éclairement

Les figures 1.9 et 1.10 représentent les caractéristiques courant-tension et puissance-tension d'un générateur photovoltaïque pour différentes valeurs de l'éclairement, à une température constante.

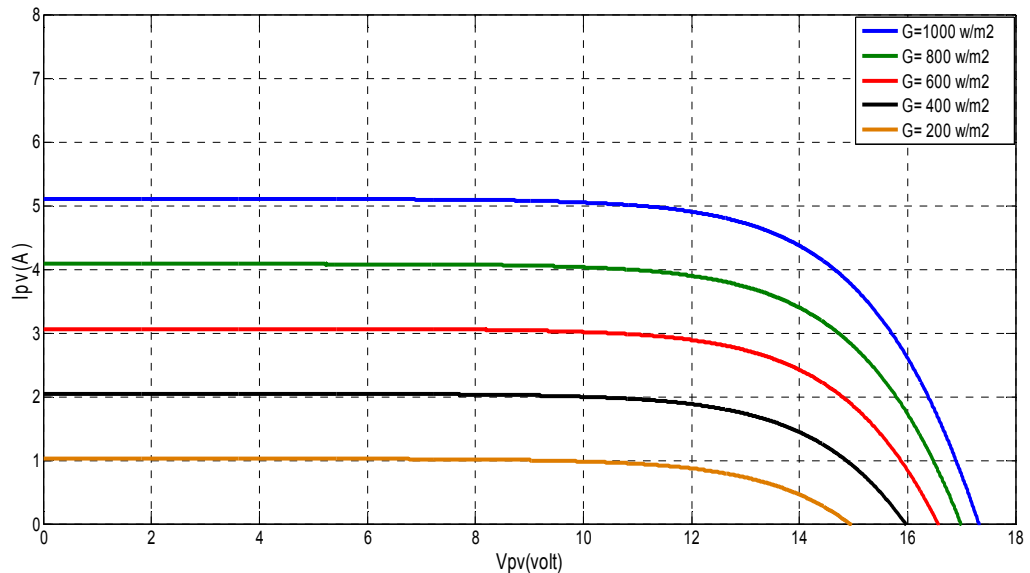


Figure 1.9 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique courant-tension d'un GPV

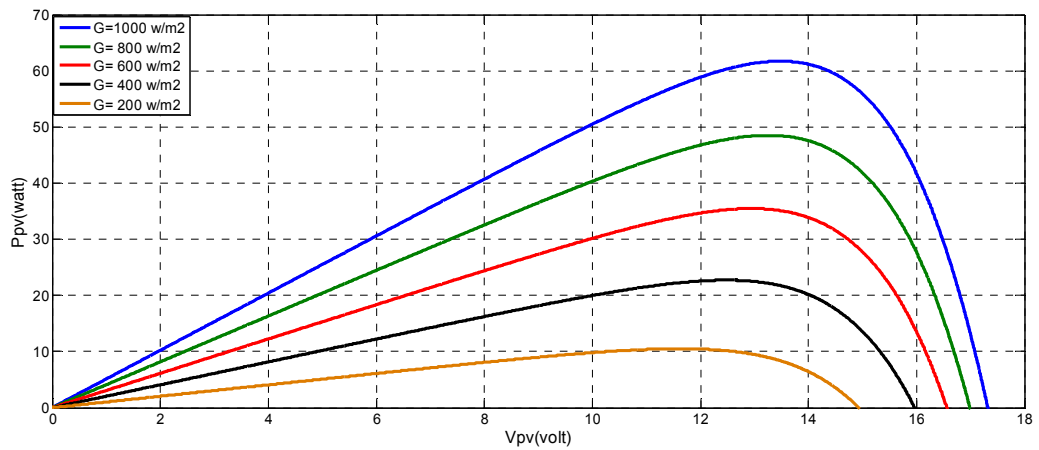


Figure 1.10 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique puissance-tension d'un GPV

On constate que les fortes variations du niveau d'éclairement provoquent des variations relativement importantes du courant optimal. Contrairement à la tension, qui varie très peu en fonction de l'éclairement (Figure 1.9), par conséquent la variation du point de puissance maximale (PPM) est proportionnelle à l'éclairement (Figure 1.10).

1.3.3.2. Influence de la température

Les caractéristiques électriques d'une cellule PV dépendent de la température de jonction au niveau de la surface exposée. Les figures 1.11 et 1.12 donnent l'allure générale des caractéristiques électriques d'un générateur photovoltaïque pour différentes valeurs de températures et un éclairement constant.

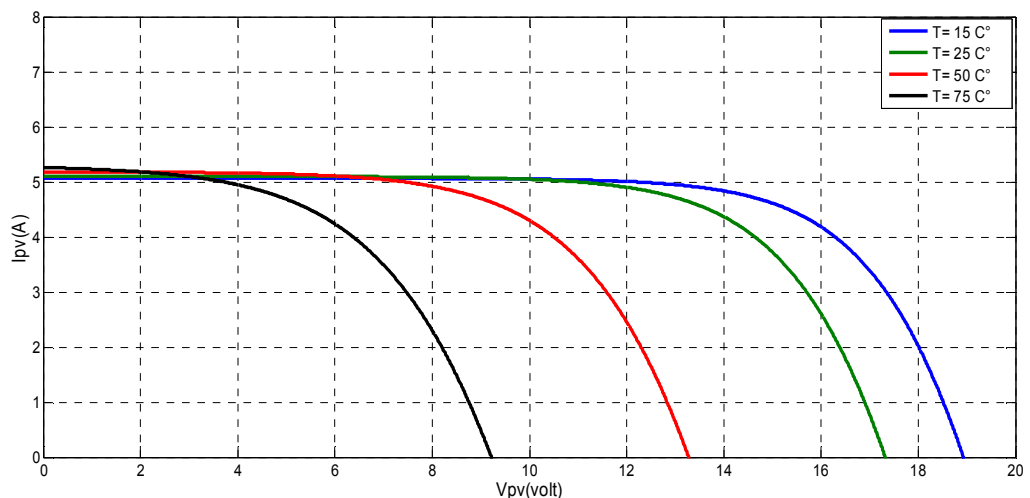


Figure 1.11 : Influence de la température sur la caractéristique courant-tension d'un GPV

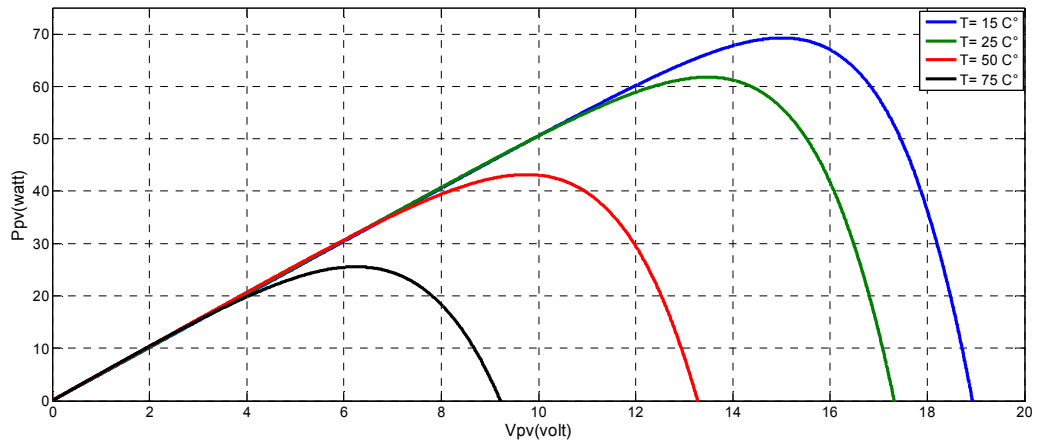


Figure 1.12 : Influence de la température sur la caractéristique puissance-tension d'un GPV

On remarque, que lorsque la température augmente, le courant photo générée augmente légèrement alors que la tension de circuit ouvert diminue considérablement.

1.3.4. Modélisation d'un champ photovoltaïque

Les modules PV sont les éléments de base de tout système photovoltaïque. Ils peuvent être branchés en série pour augmenter leur tension d'utilisation et en parallèle pour augmenter leur courant. Cet ensemble est appelé le champ de modules PV (Figure 1.13). L'énergie fournie par le champ peut être utilisée pour charger des batteries qui fourniront l'électricité au moment voulu elle peut aussi être utilisée en reliant directement les modules à la charge sans les batteries, ou en les branchant sur un réseau électrique. Il est également possible de combiner la sortie du champ PV avec d'autres sources d'énergie telles une génératrice ou une éolienne qui serviront d'appoint, si l'ensoleillement n'est pas suffisant.



Figure 1.13 : Composantes d'un champ de modules photovoltaïques [19],

Chapitre 1: L'état de L'art Sur les Modules PV

Le courant et la tension en sortie du champ de modules photovoltaïques utilisant le modèle à une diode sont liés par la relation suivante:

$$I = n_p N_p I_{ph} - n_p N_p I_0 \left(\exp \left(\frac{q \left(\left(\frac{V}{N_s} \right) + \left(\frac{I}{N_p} \right) R_s \right)}{n_s n k T} \right) - 1 \right) - n_p N_p \frac{\left(\left(\frac{V}{N_s} \right) + \left(\frac{I}{N_p} \right) R_s \right)}{R_p} \quad (I-11)$$

Où :

$$I = n_p N_p I_{ph} - n_p N_p I_0 \left(\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{n_s N_s k n_1 T} \right) - 1 \right) - \frac{(V + IR_s)}{R_p} \quad (I-12)$$

Pour le modèle à deux diodes le courant est lié à la tension par la relation suivante:

$$I = n_p N_p I_{ph} - n_p N_p I_{01} \left(\exp \left(\frac{q(V + R_s I)}{n_1 n_s N_s k T} \right) - 1 \right) - n_p N_p I_{02} \left(\exp \left(\frac{q(V + R_s I)}{n_2 n_s N_s k T} \right) - 1 \right) - \frac{(V + R_s I)}{R_p} \quad (I-13)$$

$$P = VI \quad (I-14)$$

1.3.4.1. Association en parallèle

En additionnant des modules identiques en parallèle [19], la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche (Figure 1.14).

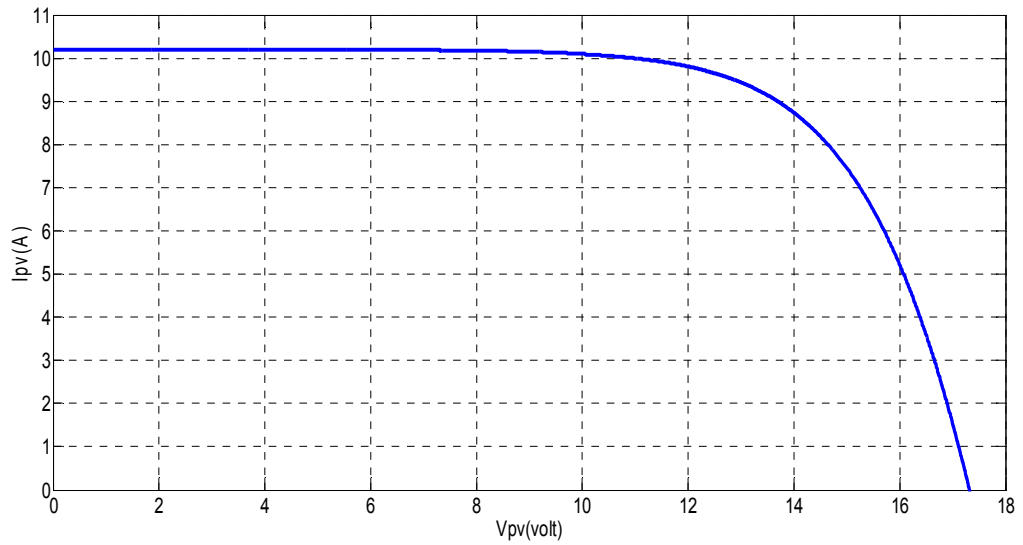


Figure I.14 : Champ de deux générateurs photovoltaïques associés en parallèle

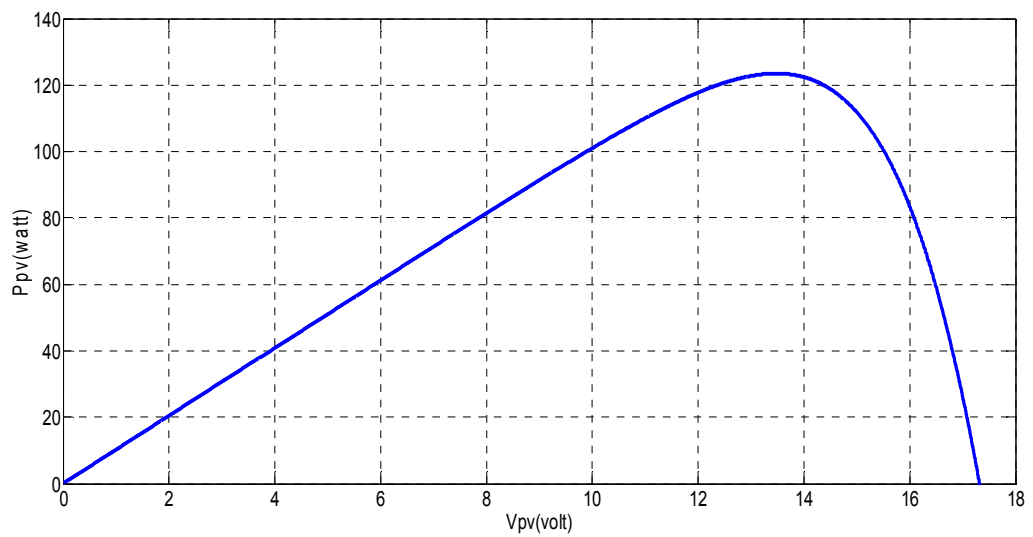


Figure I.15 : Puissance de Champ de deux générateurs photovoltaïques associés en parallèle

1.3.4.2. Association en série

En additionnant des cellules ou des modules identiques en série [11], le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série (Figure 16).

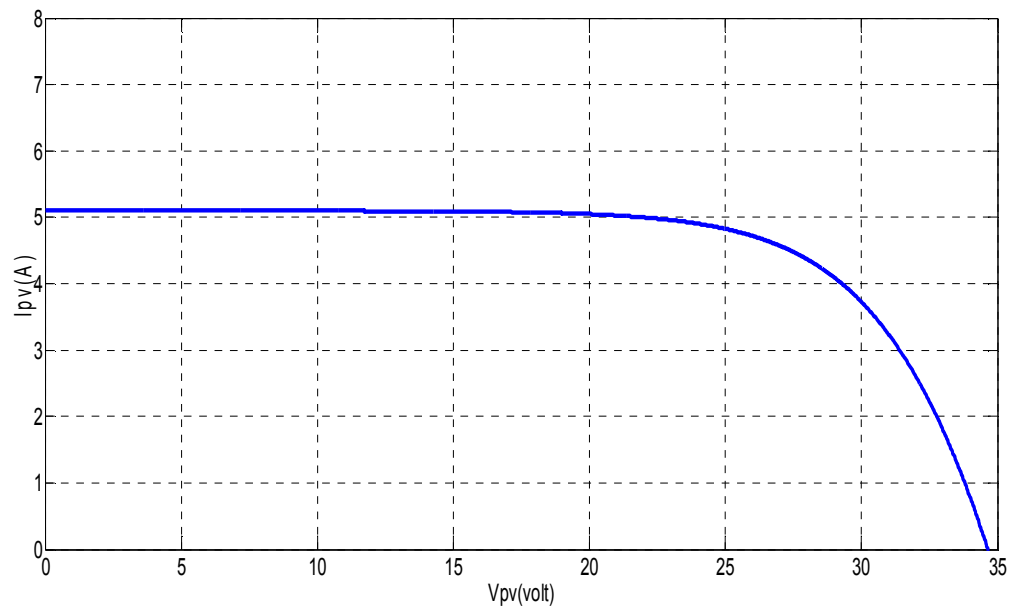


Figure I.16 : Champ de deux générateurs photovoltaïques associés en série

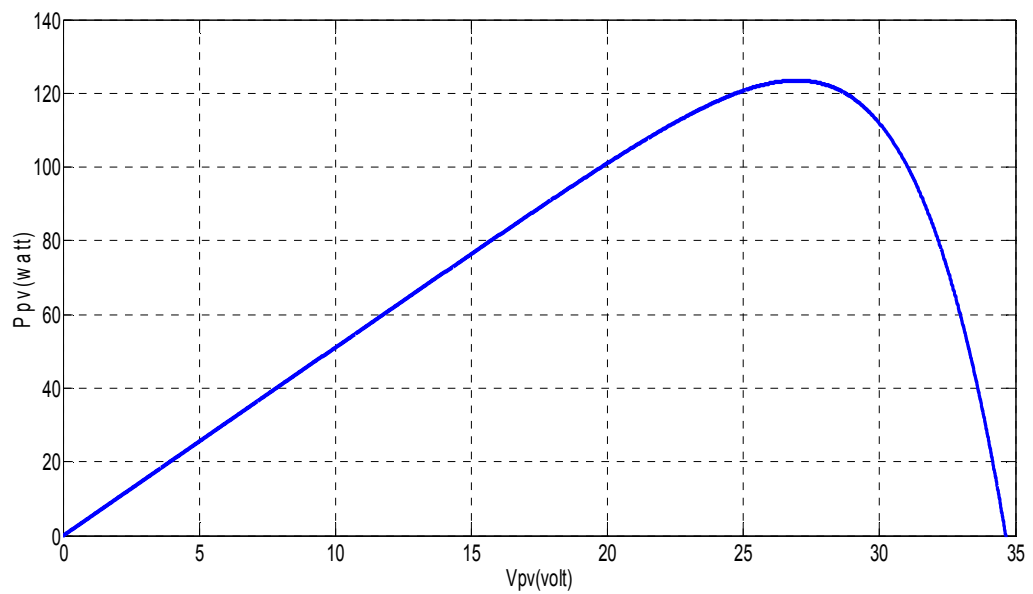


Figure I.17 : Puissance de Champ de deux générateurs photovoltaïques associés en série

1.4 L'ombrage:

1.4.1 Définition d'Ombrages:

Chapitre 1: L'état de L'art Sur les Modules PV

Il se peut qu'un obstacle, de quelque nature qu'il soit (bâtiment, arbre, etc.) fasse de l'ombre aux panneaux solaires.

Un ombrage sur les capteurs photovoltaïques entraîne une perte de production d'énergie. Cette perte de production varie en fonction de la taille et de la densité de l'obstacle. Mieux vaut quantifier l'importance de la perte avant d'entreprendre de poser ses panneaux photovoltaïques.

On peut distinguer deux types d'ombrages: l'ombrage partiel et l'ombrage total. On appelle ombrage total ou complet ce qui vient couvrir le panneau (couverture, branche cassée, saleté de toute nature, etc.). L'ombrage partiel laisse passer en partie les rayons du soleil.

Il faut savoir que les cellules photovoltaïques sont montées en série. La cellule la plus faible va donc avoir un impact sur le rendement des autres cellules. Ainsi, l'ombrage total d'une rangée de cellules peut rendre l'ensemble du module photovoltaïque inefficace.

Toutefois, les panneaux photovoltaïques sont aujourd'hui équipés de diodes by-pass, ce qui permet de limiter l'impact d'une ombre sur une partie du panneau.

Par exemple pour un panneau équipé d'un jeu de 3 diodes by-pass, si une ombre affecte une cellule alors la série de cellules branchée sur la même diode by-pass est court-circuitée et le reste du panneau continue de produire [Web 4].

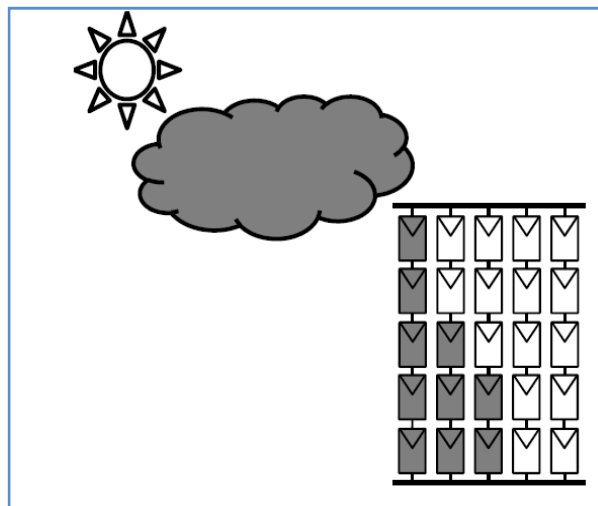


Figure I.18 : GPV dans des conditions partiellement ombragés causés par le passage de nuages

1.4.2 Phénomène d'ombrage sur les modules photovoltaïques

1.4.2.1 Principe

Additionner les tensions dans le cas d'un assemblage série de cellules PV est aisés toutes les cellules sont identiques et qu'elles travaillent sous les mêmes conditions d'ensoleillement et de température. Mais, comme nous l'avons précisé précédemment, dans les conditions réelles de fonctionnement, si les cellules sont légèrement différentes ou ne sont pas uniformément éclairées, le comportement électrique n'est pas facilement prévisible et dépend des caractéristiques de chaque cellule et des conditions d'éclairement. Plusieurs études ont présenté des modèles mathématiques afin de calculer les effets de cellules non-identiques dans un module [20-21-22-23].

La figure 1.19 montre la caractéristique $I-V$ d'une cellule PV dans toute sa gamme de tension. On constate que si, pour un éclairement solaire et une température ambiante donnés, le courant traversant une cellule est supérieur à son courant de court-circuit, alors la cellule fonctionnera en mode inversé avec une tension négative.

Dans ce cas, la puissance excessive sera dissipée dans la cellule ombragée et la cellule ou l'encapsulation de la cellule en plastic peuvent être irrémédiablement endommagées et peuvent conduire à un court-circuit dans la cellule. Cet effet est appelé 'hot spot'.

Dans le domaine en sens direct (mode normal de fonctionnement), la tension de circuit ouvert de la cellule est de l'ordre de 0,6 V pour les cellules cristallines alors que dans le sens inversé (polarisation inversée), les tensions peuvent atteindre plus de -20 V [24].

Dans un assemblage série, le courant est le même dans toutes les cellules. Si le courant de la rangée est plus grand que le photo-courant de la cellule ombragée (courant de court-circuit), ce qui se produit dans la plupart des cas, cette cellule ombragée se met à fonctionner en mode inversé et dissipe de la puissance. Une telle situation est illustrée sur la figure 1.20 dans le cas de trois cellules connectées en série.

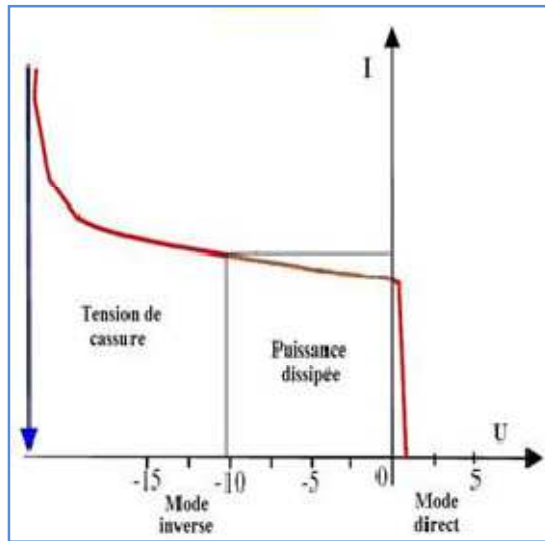


Figure 1.19: Caractéristique I –V d'une cellule PV dans toute sa gamme de tension [25] [26].

Si la rangée de cellules travaille à un point de fonctionnement correspondant à un courant I_m au-delà du courant de court-circuit de la cellule ombragée (cellule 2), le point de fonctionnement de la cellule ombragée se situe dans la région aux tensions négatives et cette tension négative de la cellule 2 peut être supérieure à la contribution positive de toutes les autres cellules.

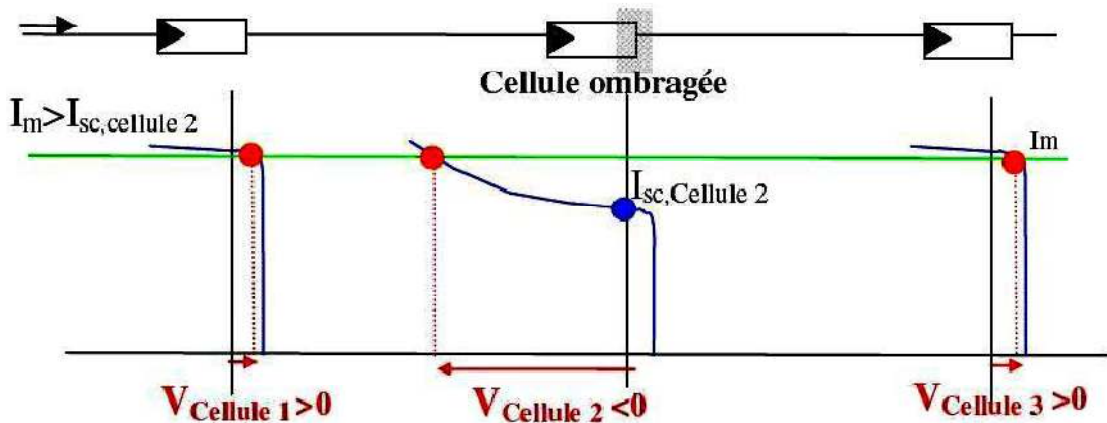


Figure 1. 20: Principe de construction de la caractéristique d'un module PV pour un courant donné [25] [26].

Pour résoudre ce problème, on utilise une diode by-pass connectée en parallèle sur chaque connexion série des multiples cellules PV. Si une telle diode by-pass était connectée dans chaque cellule alors le problème induit par l'ombrage serait fortement réduit. Cependant, ce n'est pas une solution envisageable d'un point de vue commercial [25] [26]. On

Chapitre 1: L'état de L'art Sur les Modules PV

utilise généralement une diode by-pass pour 18 cellules, ainsi deux diodes by-pass par module de 12 V sont montées dans la boîte de jonction.

La figure 1.21 illustre la situation d'un module photovoltaïque avec une cellule ombragée quand deux diodes by-pass sont utilisées.

La tension inverse maximale aux bornes de la cellule ombragée est limitée à environ 11 V ($17 \times 0,6 \text{ V} + 1 \text{ V (diode)} = 11 \text{ V}$) [26]. Ainsi, le courant à travers la cellule solaire pour cette tension ne causera pas de dommages irréversibles.

Pour des cellules, on utilise généralement une diode by-pass pour 18 cellules, ainsi deux diodes by-pass par module de 12 V sont montées dans la boîte de jonction.

La figure 21 illustre la situation d'un module photovoltaïque avec une cellule ombragée quand deux diodes by-pass sont utilisées .

La tension inverse maximale aux bornes de la cellule ombragée est limitée à environ 11 Volt ($17 \times 0,6 \text{ V} + 1 \text{ V (diode)} = 11 \text{ V}$) [26].

Ainsi, le courant à travers la cellule solaire pour cette tension ne causera pas de dommages irréversibles.

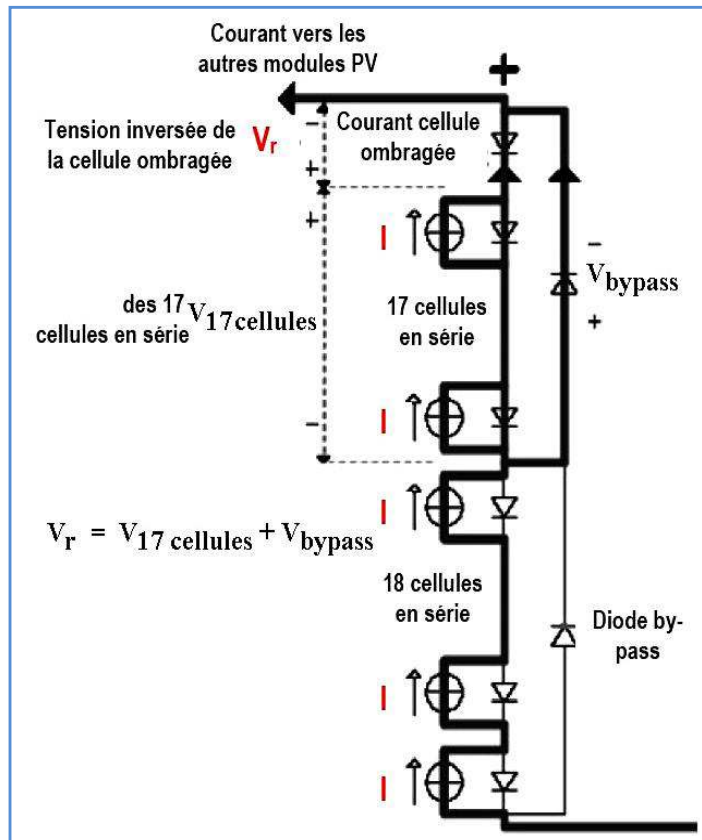


Figure I. 21: Une cellule ombragée sur un module PV [25] [26].

Chapitre 1: L'état de L'art Sur les Modules PV

Pour chaque diode court-circuitée, la tension de circuit ouvert de la rangée sera réduite environ à 11 V modifiant ainsi considérablement la courbe I-V et créant de sérieux problèmes pour contrôler le fonctionnement du MPPT [26].

Conclusion :

Dans ce chapitre la modélisation d'un générateur photovoltaïque en utilisant le modèle à une seule diode et le phénomène d'ombrage partiel et son effet sur le panneau PV ont été envisagés.

L'effet de la variation météorologique (température et insolation) sur l'énergie produite a été illustré par les figures ci-dessus. L'effet de l'ombrage dans ce chapitre a été largement discuté.

2.1 Introduction

La puissance délivrée par un GPV dépend fortement du niveau d'ensoleillement et de la température des cellules, de l'ombrage et aussi de la nature de la charge alimentée. Elle est de ce fait très imprévisible comme nous l'avons déjà vu dans les chapitres précédents, la courbe caractéristique de puissance du GPV présente un point de puissance maximale MPP (Maximum Power Point) correspondant à un certain point de fonctionnement de coordonnées V_{MPP} pour la tension et I_{MPP} pour le courant (voir Figure II .1). Vu que la position du MPP dépend du niveau d'ensoleillement et de la température des cellules, elle n'est jamais constante dans le temps. Un convertisseur MPPT (Maximum Power Point Tracker) doit donc être utilisé afin de suivre ces changements. Un convertisseur à MPPT est un système de conversion de puissance muni d'un algorithme de contrôle approprié permettant d'extraire le maximum de puissance que le GPV peut fournir [27].

Les premières utilisations du MPPT remontent à 1968 dans le cadre d'applications spatiales ayant pour générateur électrique des panneaux photovoltaïques. Le développement du MPPT a constitué un thème techniquement attrayant, si bien que finalement, un grand nombre de procédures et techniques ont été développées. Elles varient en complexité, capteurs nécessaires, vitesse de convergence, coût, efficacité, matériel pour la réalisation, etc.

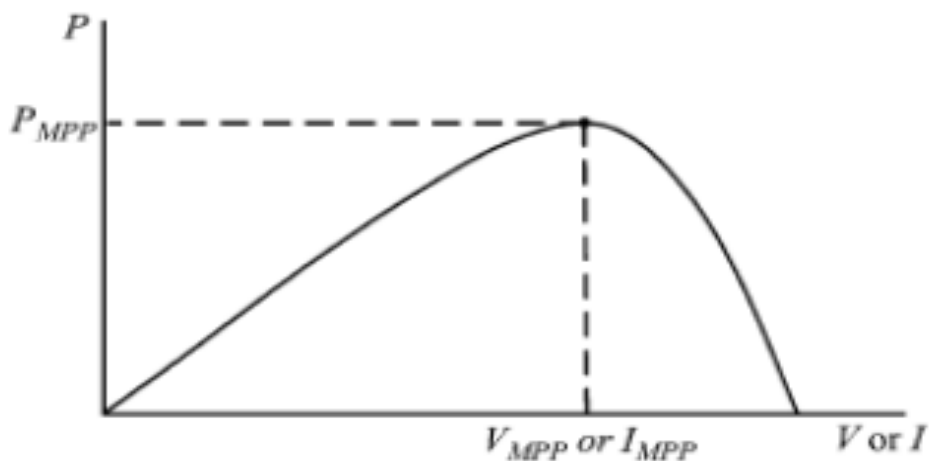


Figure II .1: Courbe caractéristique de puissance d'un GPV

2.2 Principe de la Recherche du MPP

Un MPPT, de l'anglais « Maximum Power Point Tracking » est un principe permettant de suivre, comme son nom l'indique, le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire. En conséquence, pour un même éclairement, la puissance délivrée sera différente selon la charge. Un contrôleur MPPT permet donc de piloter le convertisseur statique reliant la charge (une batterie par exemple) et le panneau photovoltaïque de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge à chaque instant. Les Figure II .2 et II.3 représentent la trajectoire du point de puissance maximale produite par le générateur.

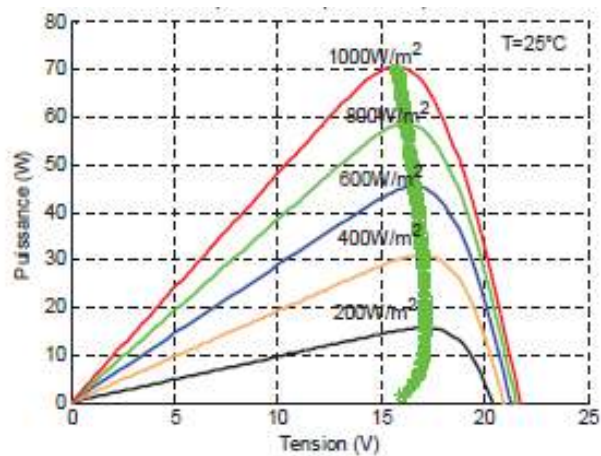


Figure II .2 : La caractéristique P-V et la trajectoire de PPM

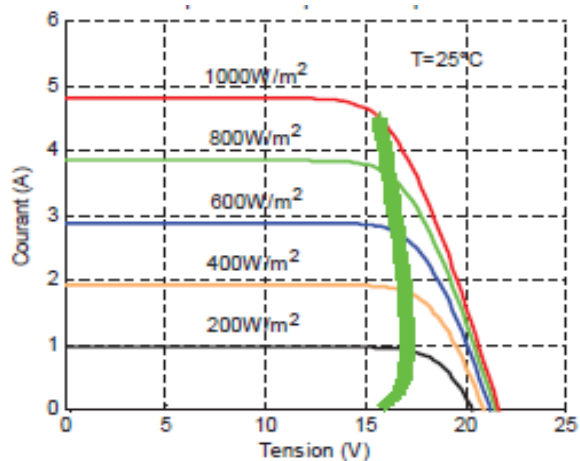


Figure II.3 : La caractéristique I-V et la trajectoire de PPM

Chapitre 2: Etage d'adaptation

La Figure II.2 présente le schéma de principe d'un module photovoltaïque doté d'un étage d'adaptation DC-DC entre le GPV et la charge de sortie. Cette structure correspond à un système plus communément appelé système autonome. Il permet le plus souvent d'alimenter une batterie servant de stocker l'énergie pour une charge qui ne supporte pas les fluctuations de tension. Cet étage d'adaptation dispose d'une commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) qui lui permet de rechercher le PPM que peut fournir un panneau solaire photovoltaïque. L'algorithme de recherche MPPT peut être plus ou moins complexe en fonction du type d'implantation choisi et des performances recherchées. Cependant au final, tous les algorithmes performants doivent jouer sur la variation du rapport cyclique du convertisseur de puissance associé [27].

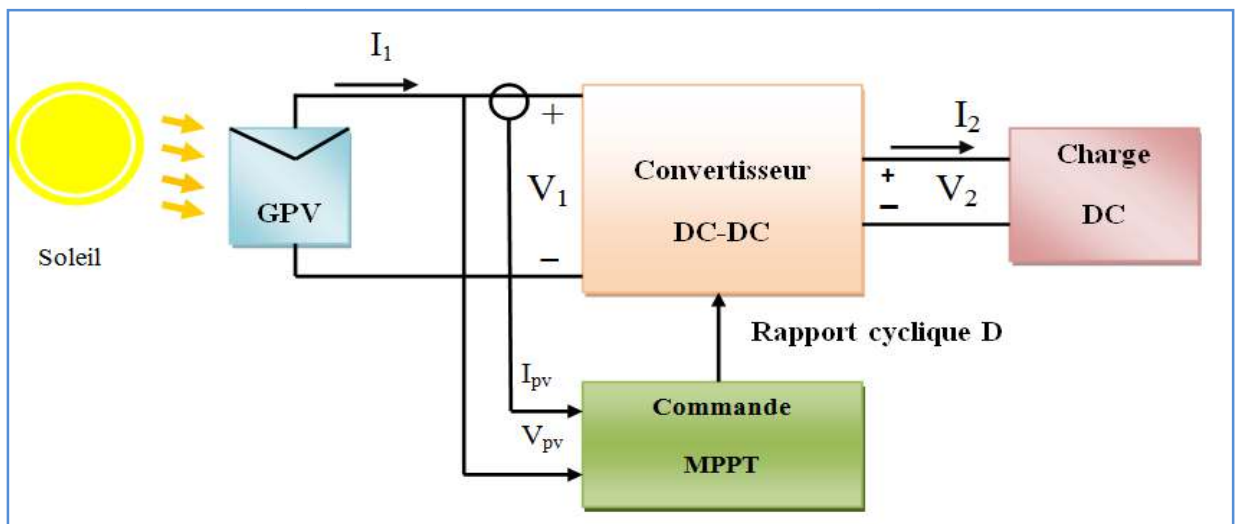


Figure II.4 : Schéma de principe du convertisseur MPPT

Pour assurer le fonctionnement d'un GPV à son point de puissance maximale (PPM), des contrôleurs MPPT sont utilisés, ces contrôleurs sont destinés à minimiser l'erreur entre la puissance de fonctionnement et la puissance maximale de référence variable en fonction des conditions climatiques baser sur des méthode optimale [28].

2.3 Gestion de la MPPT

La Figure II.5 illustre trois cas de perturbations. Suivant le type de perturbation, le point de fonctionnement bascule du point de puissance maximal PPM1 vers un nouveau point P1 de fonctionnement plus ou moins éloigné de l'optimum.

Dans ce cas est pour une variation d'ensoleillement il suffit de réajuster la valeur du rapport cyclique pour converger vers le nouveau point de puissance maximum PPM2. Dans le cas b pour une variation de charge on peut également constater une modification du point de fonctionnement qui peut retrouver une nouvelle position optimale grâce à l'action d'une commande. Enfin dans le dernier cas c de variation de point de fonctionnement peut se produire lié aux variations de température de fonctionnement du GPV. Bien qu'il faut également agir au niveau de la commande [29].

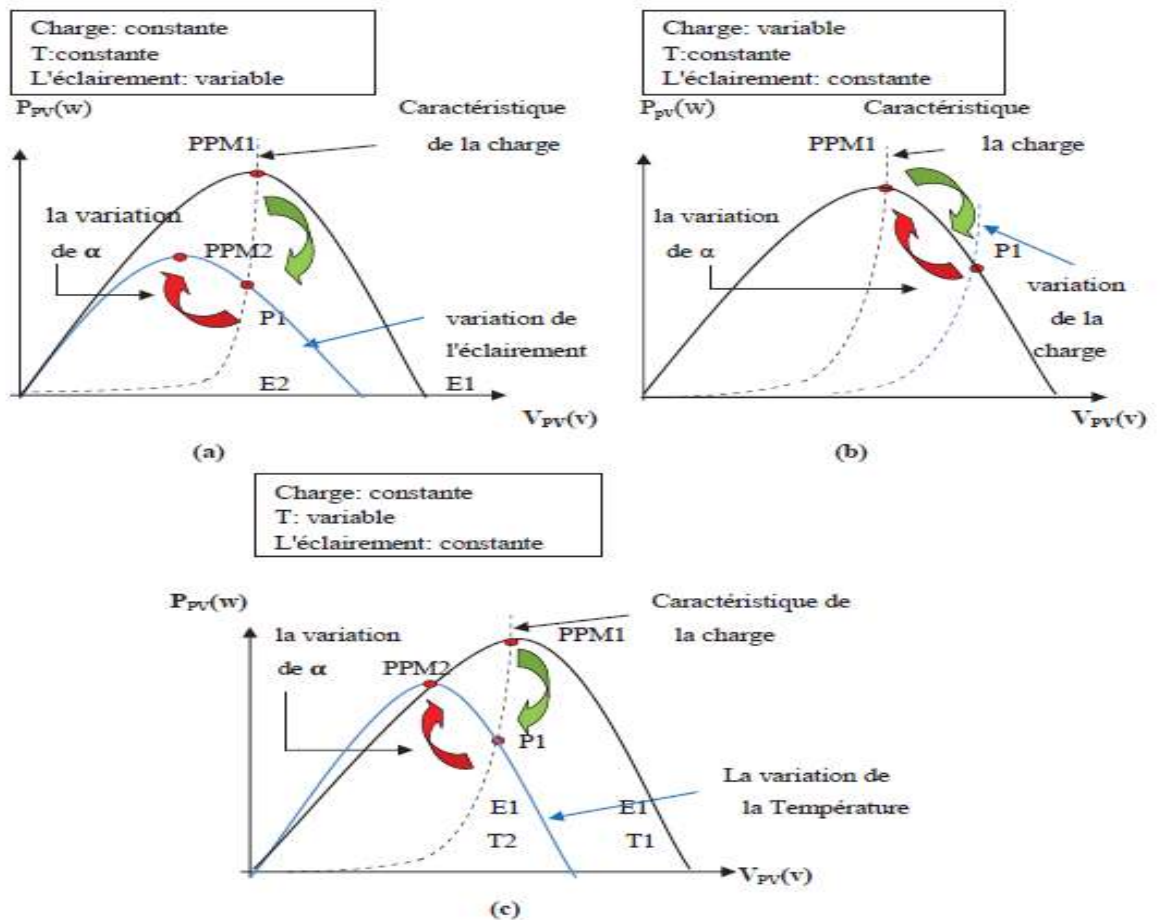


Figure II.5: Recherche et recouvrement du Point de Puissance Maximale a) suite à une variation d'éclairement, b) suite à une variation de charge, c) suite à une variation de température

2.4 Classification des l'algorithmes de suiveur la puissance max

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

2.4.1 Les méthodes indirectes

Les méthodes indirectes utilisent des bases de données regroupant les caractéristiques des panneaux photovoltaïques (PV) dans différentes conditions climatiques (température, ensoleillement...). Mais aussi des équations mathématiques empiriques permettant de déterminer le point de puissance maximum. Ces méthodes sont souvent propres à chaque type de panneau et donc difficile à généraliser: la méthode d'ajustement de courbe, la méthode « look-up table », la méthode de la tension de circuit ouvert du générateur, la méthode de court circuit.

a) La méthode de la tension de circuit ouvert du générateur

Cette méthode, est basée sur la tension du générateur PV au point de puissance maximale qui est approximativement proportionnelle à sa tension à circuit ouvert V_{oc} . La constante proportionnelle k_1 , dépend de la technologie de cellules photovoltaïques, du facteur de forme et des conditions météorologiques.

$$K_1 = \frac{V_{MPP}}{V_{OC}} \text{ Cte} < 1 \quad (II.1)$$

$$V_S = \frac{V_e}{1-\alpha} \quad (II.2)$$

La tension de circuit ouvert du générateur PV est mesurée et stockée en arrêtant le système, cette opération s'effectuant à une certaine fréquence. Le MPP est calculé suivant l'équation (II.2) et la tension de fonctionnement est ajustée sur le point de puissance maximale. Bien que cette méthode soit apparemment simple, il est difficile de choisir une valeur optimale de k_1 .

Cette méthode souffre donc d'inexactitude mais présente l'avantage d'être simple et à bas prix. Aussi, l'interruption de service à la limite des systèmes avec stockage où la déconnexion des panneaux est « transparente » pour l'utilisateur.

b) La méthode de court-circuit

Cette méthode est similaire à la précédente et est basée sur la proportionnalité existant entre le courant de court circuit et le courant au point de puissance maximale.

$$K2 = \frac{IMPP}{Isc} \cong Cte < 1 \quad (II.3)$$

Cette méthode présente les mêmes avantages et inconvénients que ceux de la méthode de la tension de circuit ouvert.

2.4.2 Les méthodes directes

Les méthodes directes sont des méthodes qui utilisent les mesures de tension et de courant des panneaux et dont l'algorithme est basé sur la variation de ces mesures. L'avantage de ces algorithmes est qu'ils ne nécessitent pas une connaissance préalable des caractéristiques des panneaux PV. Parmi ces méthodes, on retrouve la méthode de différenciation, la méthode Perturbe & Observe (P&O), l'incrément de conductance...

a) La méthode Perturbe & Observe (P&O)

Le principe des commandes MPPT de type P&O consiste à perturber la tension V_{PV} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance P_{PV} qui en résulte ainsi, comme l'illustre la figure 26, on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{PV} engendre un accroissement de la puissance P_{PV} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM.

Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $P_{PV}(V_{PV})$, 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.

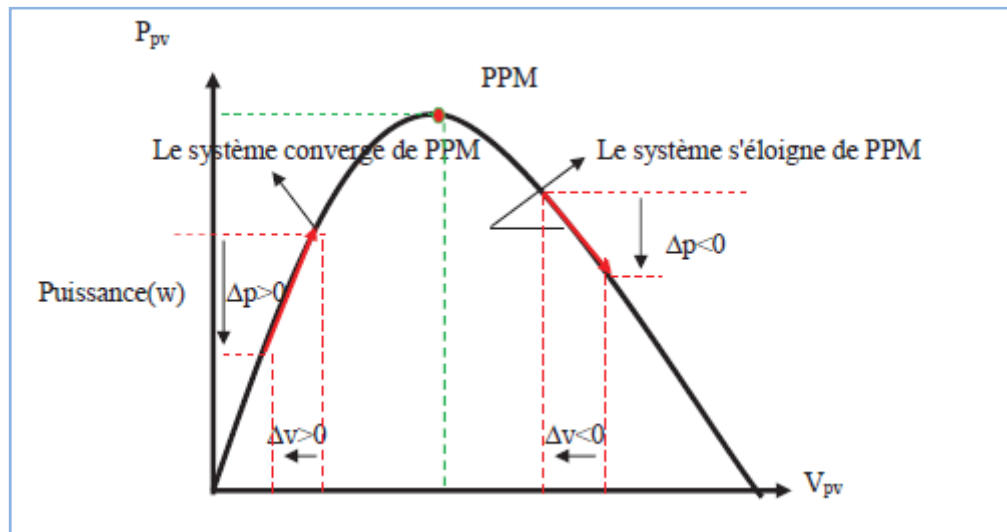


Figure II.6: Schéma de convergence vers le PPM par P&O

La méthode P&O est aujourd'hui largement utilisée de part sa facilité d'implémentation, cependant elle présente quelques problèmes liés aux oscillations autour du PPM qu'elle engendre en régime établi car la procédure de recherche du PPM doit être répétée périodiquement, obligeant le système à osciller en permanence autour du PPM, une fois ce dernier atteint. Ces oscillations peuvent être minimisées en réduisant la valeur de la variable de perturbation. Cependant, une faible valeur d'incrément ralentit la recherche du PPM, il faut donc trouver un compromis entre la précision et la rapidité. Ce qui rend cette commande difficile à optimiser [30].

b) La méthode incrémentation de la conductance

L'avantage de cet algorithme est la vitesse de recherche du point de puissance maximale quand les conditions atmosphériques changent rapidement.

La puissance produite par le générateur PV peut être exprimé par:

$$P_{pv} = I_{pv} \cdot V_{pv} \tag{II.4}$$

La conductance et l'incrément de la conductance peuvent être identifiées en dérivant l'équation par rapport à la tension P_{pv} :

$$\frac{1}{V} \frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = \frac{I_{pv}}{V_{pv}} + \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \tag{II.5}$$

Ainsi on a noté avec G la conductance et avec ΔG l'incrément de la conductance:

$$G = \frac{I_{pv}}{V_{pv}} \quad (II.6)$$

$$\Delta G = \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \quad (II.7)$$

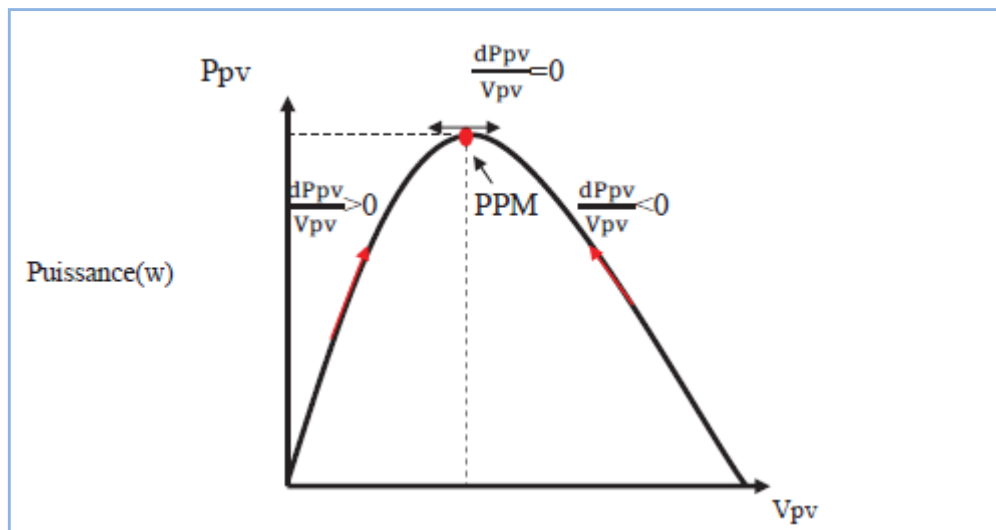


Figure II.7: Trajectoire par Incrémentation de Conductance

2.5 Autres méthodes

Il existe dans la littérature d'autres algorithmes MPPT plus complexes qui font parfois appel à des techniques nouvelles. On peut citer :

- les algorithmes basés sur la logique floue [31][32][33][34] ;
- les algorithmes à base de réseau de neurones [31] ;
- les algorithmes d'identification en temps réel du MPP [35] ;
- Dans le cas où la charge est une batterie, il existe un algorithme qui vise à maximiser uniquement le courant de charge puisque la tension en sortie est constante. Cet algorithme fait ainsi appel à un seul capteur ce qui réduit considérablement le coût ;
- l'algorithme de la capacité parasite (Parasitic Capacitance) [36] ;
- la méthode de l'oscillation forcée [37].

2.6 Convertisseur continu- continu (Hacheur):

Pour convertir l'énergie solaire avec un meilleur rendement, il est indispensable de travailler avec un point de fonctionnement à puissance maximale. Le générateur photovoltaïque fournit sa pleine puissance en un point de fonctionnement bien déterminé dans la caractéristique $I=f(V)$.

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 et de l'éclairement. 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 maximale est assuré par le contrôle continu du rapport cyclique de ce convertisseur de puissance. Néanmoins, ce dispositif nécessite beaucoup d'attention que ce soit sur l'aspect dimensionnement, contrôle ou asservissement afin d'éviter l'instabilité du système [38].

2.7 Type de convertisseurs:

Il y a différents types de convertisseurs DC-DC. Une première distinction est à faire entre le convertisseur à isolement galvanique entre la sortie et l'entrée et le convertisseur qui présente une borne commune entre l'entrée et la sortie (Notez que dans le cas de l'isolement galvanique le rendement se verra affecté d'au moins 10%, ce qui est inadmissible dans le cas par exemple des applications en énergie photovoltaïque).

Dans les convertisseurs à stockage d'énergie, on distingue :

- Les élévateurs (BOOST) dans lesquels $V_S > V_e$;
- Les abaisseurs (BUCK) dans lesquels $V_S < V_e$.

Il y a aussi un type (BUCK-BOOST), mélange entre les deux précédents: c'est le « FLYBACK » traduction: volant sur le dos, car V_S est inversée par rapport à V_e [39].

Le convertisseur DC-DC étudié est le hacheur parallèle 'survolteur' car il a été démontré que la poursuite du point optimale basée sur la configuration de convertisseur de ce type a un meilleur rendement et donc une utilisation plus efficace des modules solaires que dans le cas des hacheurs dévolteur [40], [41].

2.8 Hacheur survolteur 'Boost converter :

Le hacheur parallèle commande le débit d'un générateur de courant dans un récepteur de tension. On appelle ce hacheur 'survolteur' car la tension de sortie est supérieure à la valeur moyenne de la tension d'entrée. La self est mise en série avec la source pour empêcher les courts-circuits quand l'interrupteur K est fermé d'une part, et pour limiter les ondulations du courant d'autre part [41]. Le schéma équivalent du convertisseur est représenté dans **Figure II.8:**

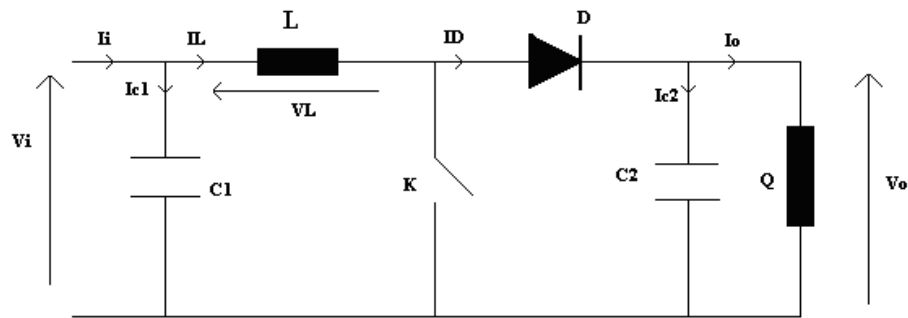


Figure II.8: Schéma équivalent d'un hacheur survolteur 'Boost'

a) Pendant la fermeture de l'interrupteur K entre $[0, dT]$, 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 $[dT, T]$, le courant traverse l'inductance L et la diode pour limiter la charge Q.

Par application de la loi de Kirchoff :

a) pour $t \in [0, dT]$, K fermé, on a les équations suivantes :

$$I_{C1}(t) = C_1 dV_i(t)/dt = I_i(t) - I_L(t) \quad (II.8)$$

$$I_{C2}(t) = C_2 dV_o(t)/dt = -I_o(t) \quad (II.9)$$

$$V_L(t) = L dV_L(t)/dt = V_i(t) \quad (II.10)$$

Chapitre 2: Etage d'adaptation

Figure II.9 illustre le fonctionnement du hacheur pendant la fermeture de l'interrupteur K c'est-à-dire dans l'intervalle $[0, dT]$.

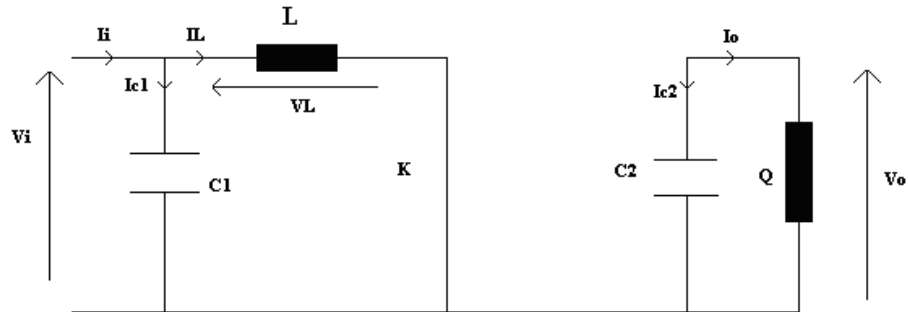


Figure II.9: Schéma équivalent du hacheur pendant la fermeture de l'interrupteur K

a) pour $t \in [dT, T]$, K ouvert, on a les équations suivantes :

$$I_{C1}(t) = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_L(t) \quad (II.11)$$

$$I_{C2}(t) = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = I_L(t) - I_o(t) \quad (II.12)$$

$$V_L(t) = L \frac{dV_L(t)}{dt} = V_i(t) - V_o(t) \quad (II.13)$$

La Figure II.10 représente le principe de fonctionnement du hacheur pendant l'ouverture de l'interrupteur K c'est-à-dire dans l'intervalle $[dT, T]$.

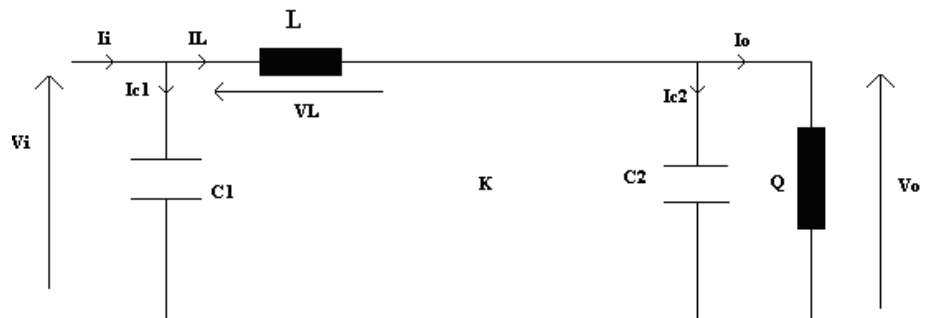


Figure II.10: Schéma équivalent du hacheur pendant l'ouverture de l'interrupteur K

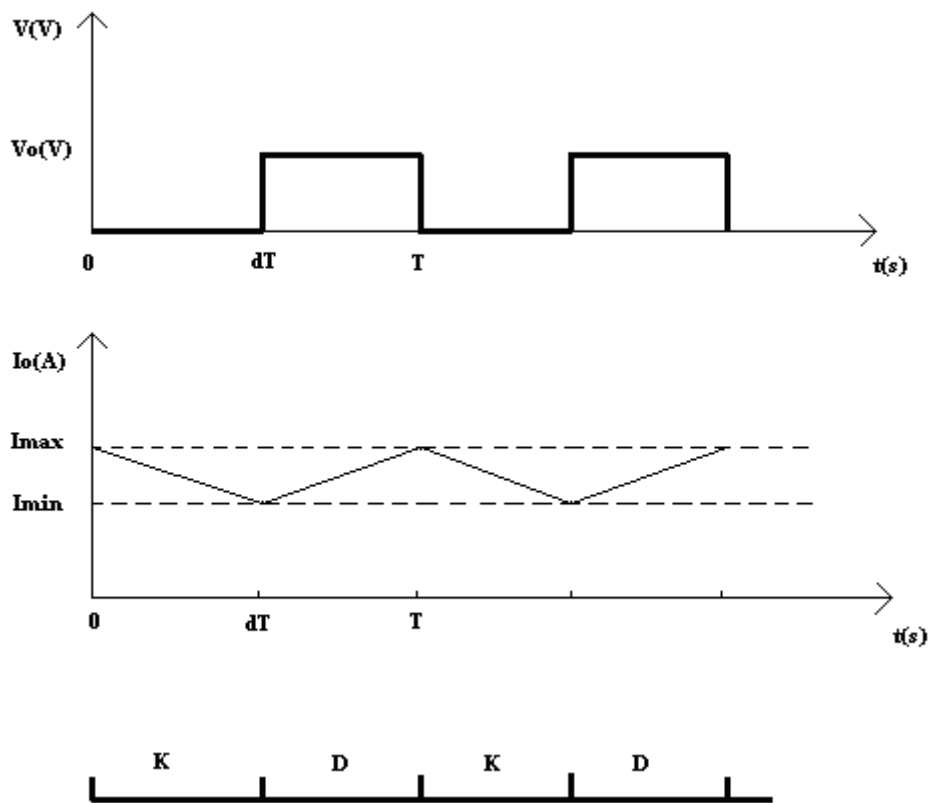


Figure II.11: Les formes d'ondes de la tension et du courant de sortie.

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

$$V_0 = V_i / (1 - d) \tag{II.14}$$

$$I_0 = I_i * (1 - d) \tag{II.15}$$

2.9 Dimensionnement Du Hacheur Dc/Dc (Boost) :

Pour une tension d'entrée de $V_{mpp} = 27V$ et $I_{mpp} = 4.45A$ on fixe la sortie à $48V$ avec une fréquence de découpage de $f_s = 25 \text{ kHz}$, $d_{Vout} = 2$ et pour une puissance de 120.15 W on aura donc :

$V_{mpp} = V_{in} = 27V$ (deux GPV en série)

$V_{out} = 48V$

Rapport cyclique :

$$D = 1 - \left(\frac{V_{in}}{V_{out}} \right) = 1 - \left(\frac{27}{48} \right) = 0.437 \quad (\text{II.16})$$

Resistance de charge :

$$R_{ch} = \left(\frac{(V_{out})^2}{P} \right) = \left(\frac{48^2}{120.15} \right) = 19.17 \Omega \quad (\text{II.17})$$

Courant sur la charge :

$$I_{Rch} = \left(\frac{V_{out}}{R_{ch}} \right) = \left(\frac{48}{19.17} \right) = 2.5A \quad (\text{II.18})$$

Courant de sortie :

$$I_{out} = I_{Rch} * \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) = 2.5 * \left(\frac{48}{27} \right) = 4.44A \quad (\text{II.19})$$

Inductance L:

$$L = \left(\frac{D * V_{in}}{0.1 * I_{out} * f_s} \right) = \left(\frac{0.437 * 27}{0.1 * 4.44 * 25 * 10^3} \right) = 1.092 \text{ mH} \quad (\text{II.20})$$

Condensateur 1 :

$$C1 = \left(\frac{D * Vin}{(1-D) * Vout * 0.05 * fs * Rch} \right) = \left(\frac{0.437 * 27}{(1-0.437) * 48 * 0.05 * (25 * 10^3) * 19.17} \right) = 18.22 \mu f \quad (II.21)$$

Condensateur 2 :

$$C1 = \left(\frac{D * (1-D) * Iin}{dVout * fs} \right) = \left(\frac{0.437 * (1-0.437) * 4.45}{2 * (25 * 10^3)} \right) = 21.9 \mu f \quad (II.22)$$

2.10 Conclusion :

Dans ce chapitre l'étude du principe de la recherche du point de puissance maximum MPP pour différent algorithmes a été envisagée. Un rappels sur différent type de convertisseur dc/dc comme étage d'adaptation ont été étudié. Le dimensionnement du convertisseur boost envisagé dans notre travaille a été élaboré. Nous avons aussi rappelé le fonctionnement de l'MPPT et citer quelle-que algorithmes qui existent. L'étude et le dimensionnement du hacheur (boost) utilisé sont détaillés.

3.1 Introduction

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. Nous examinons plusieurs cas possible de connections des modules PV.

3.2 Simulation d'ombrage:

a) Deux modules en série : cette architecture représente l'assemblage de deux générateurs PV en série, la borne négative est reliée à la borne positive du deuxième GPV. Les deux modules sont connectés en parallèle avec deux diodes Bypass, celle-ci protège le GPV des tensions inverse. Pour mesurer la tension au borne du GPV nous introduisant un voltmètre au bornes de ce dernier, le courant produit par les deux GPV sera mesurer par un ampèremètre introduit en série avec les des deux générateurs. Ceux-ci nous permettront de calculer la puissance produite par l'ensemble. La source de voltage contrôlée par une rampe sert à faire varier la tension d'entrée produite. Les deux GPV sont soumis à des conditions météorologiques différents (1000 et 500 w/m²) et une température constante $T=25^\circ$. Les résultats de simulation sous Simulink pour ces conditions sont donnés sur les figures suivantes :

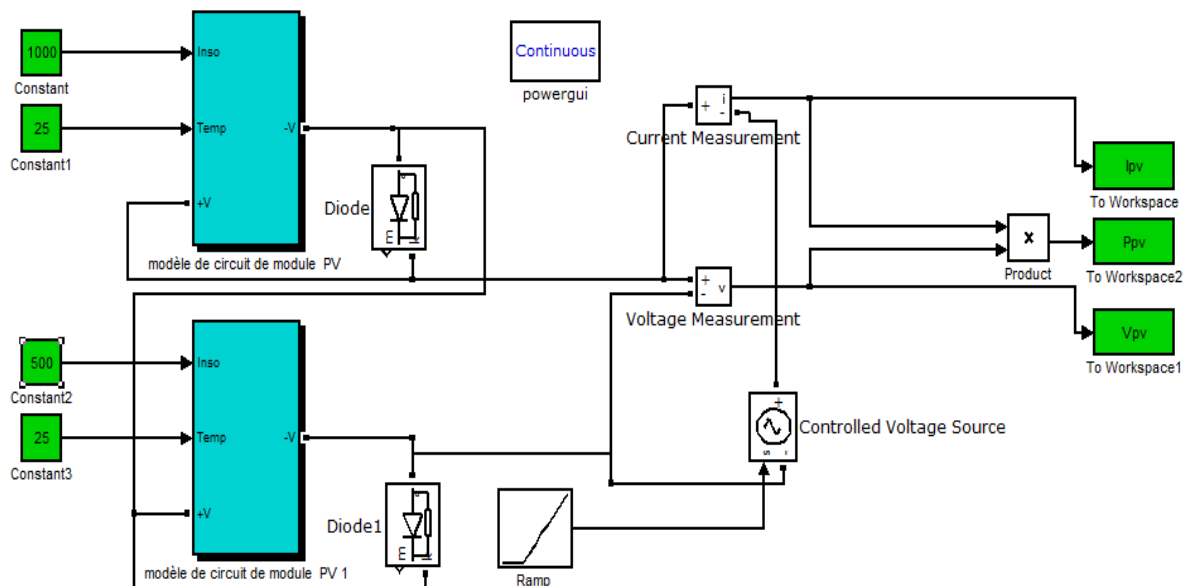


Figure III.1. Schéma bloc de deux modules en série

a1) Les résultats :

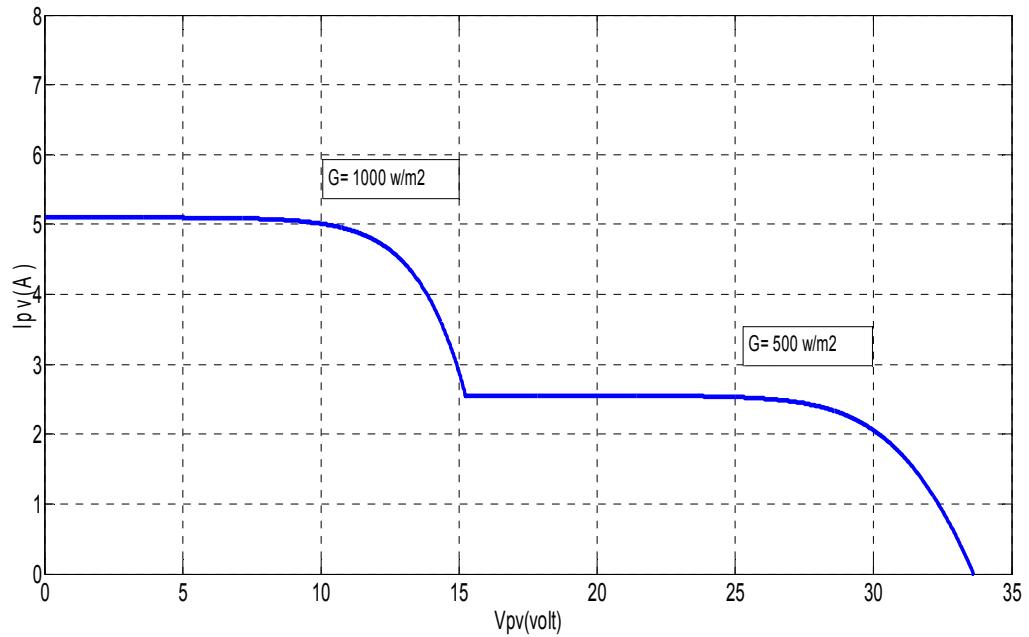


Figure III.2. Caractéristiques (I-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage

Dans cette figure on remarque l'apparence de deux point de maximum de puissance respectivement aux insolation $G=1000 \text{ w/m}^2$ et 500 w/m^2 , cela est dû à l'effet de l'ombrage.

Les mêmes remarques sont valables pour la Caractéristiques ci dessous.

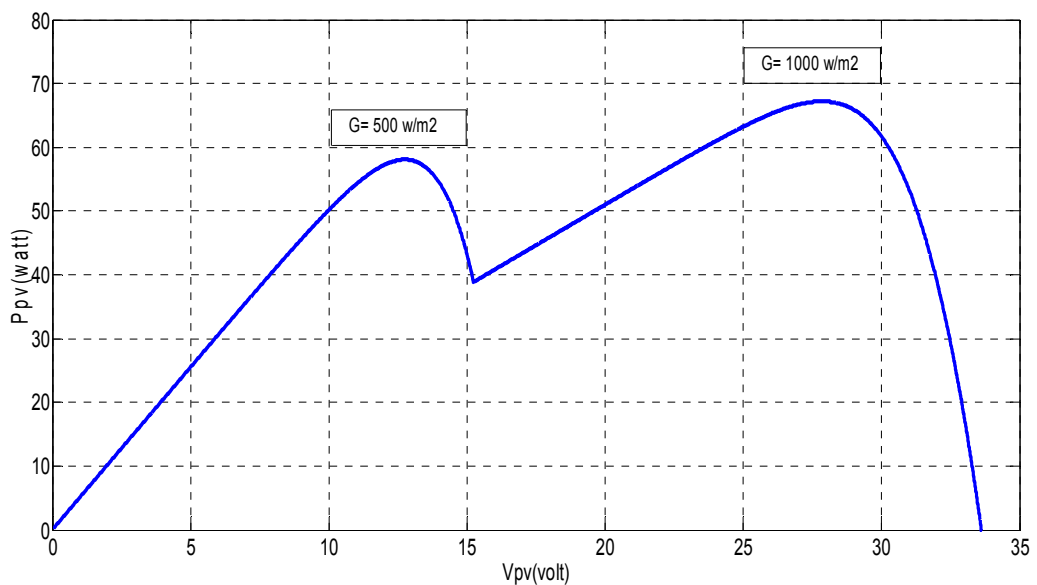


Figure III.3. Caractéristiques (P-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage.

a) 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 Bypass, 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. La source de voltage contrôlée par une rampe qui sert à faire varier la tension d'entrée produite. les trois GPV sont soumis à des conditions météorologiques différents (1000 et 500 et 200 w/m²) et à une température constante $T=25^{\circ}$. Les résultats de simulation sous Simulink sont représentés par les figures suivantes :

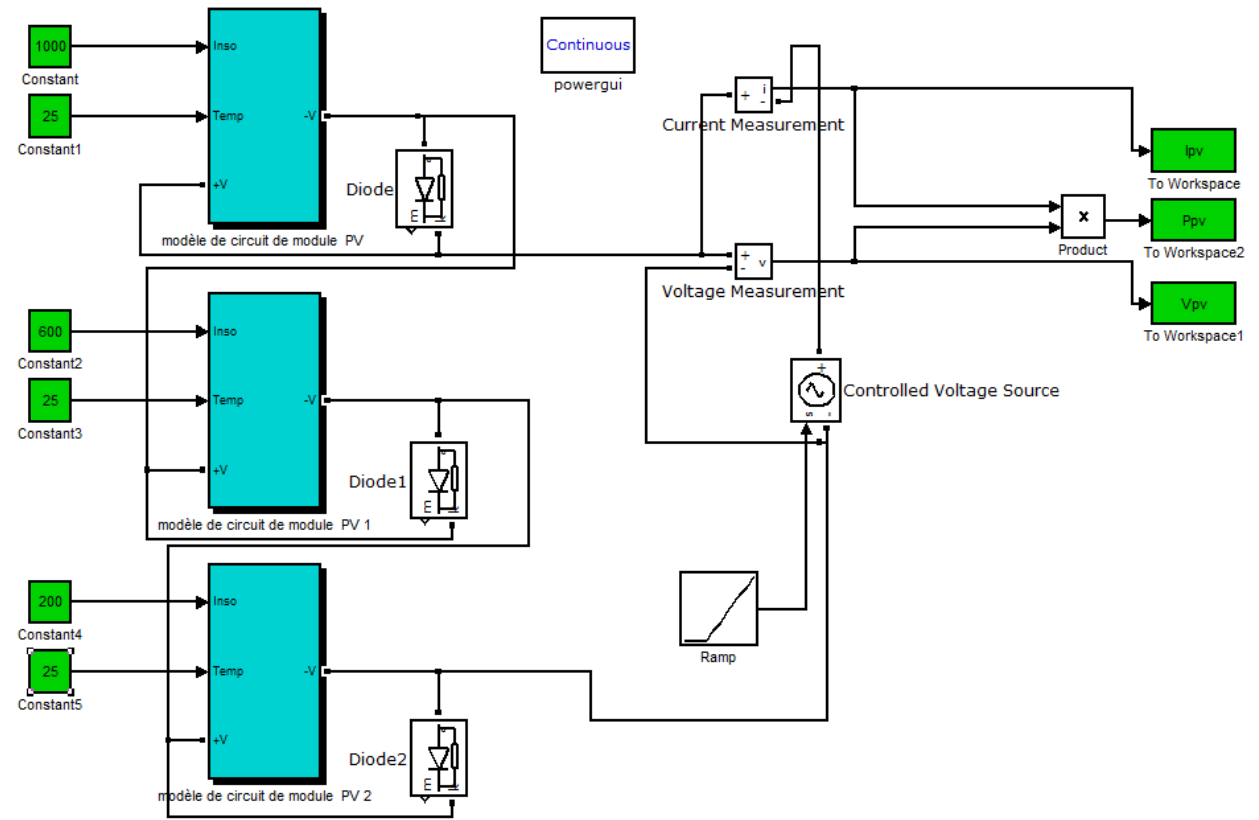


Figure III.4. Schéma bloc de trois modules en série.

b1) Les résultats :

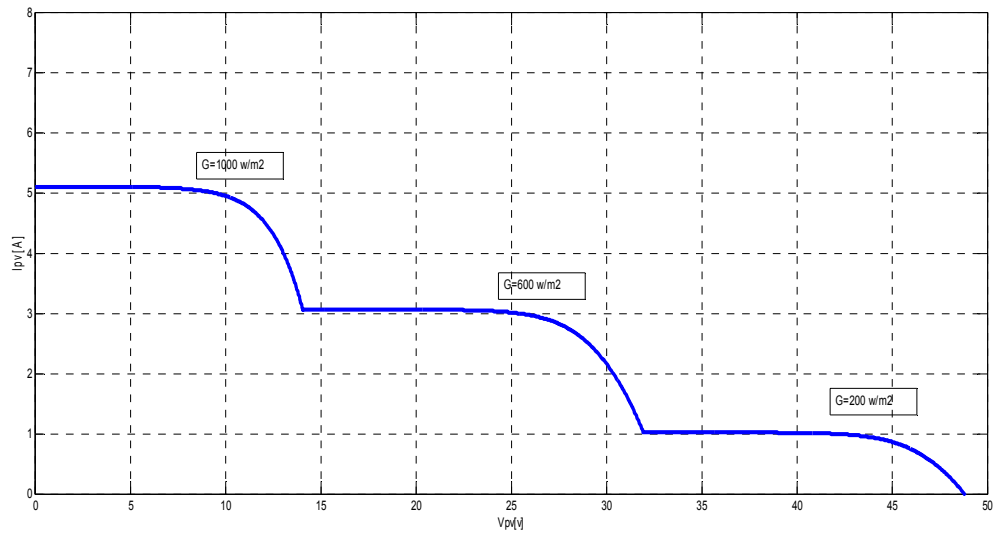


Figure III.5. Caractéristiques (I-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage

Dans cette figure on remarque l'apparence de trois point de maximum de puissance respectivement aux Insolations $G=1000\text{w/m}^2$ et 600w/m^2 et 200w/m^2 , exactement comme les figures précédentes sauf que l'ombrage affecte deux G_{pv} en même temps avec différente insolation.

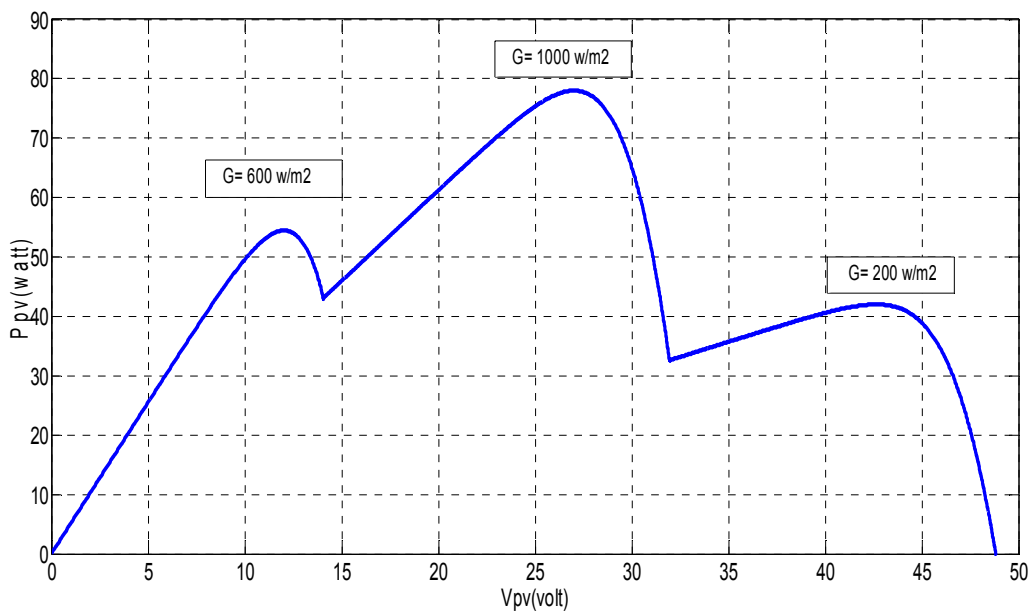


Figure III.6. Caractéristiques (P-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage.

C) Deux modules en série/parallèle:

Cette architecture représente l'assemblage de deux branches de deux générateurs PV en série et en parallèle. Chaque module est connecté en parallèle avec la diode Bypass, l'intérêt de cette diode est cité précédemment. Nous introduisons toujours un voltmètre aux bornes de ce dernier, le courant produit par les deux GPV sera aussi mesuré par un ampèremètre introduit en série avec les trois générateurs. Ceux-ci nous permettront aussi de calculer la puissance produite par l'ensemble. La source de voltage contrôlée par une rampe qui sert à faire varier la tension d'entrée produite. Les trois GPV sont soumis à des conditions météorologiques différents (1000 et 500 w/m²) et à une température constante T=25°. Les résultats de simulation sous Simulink pour ces conditions sont illustrés par les figures suivantes :

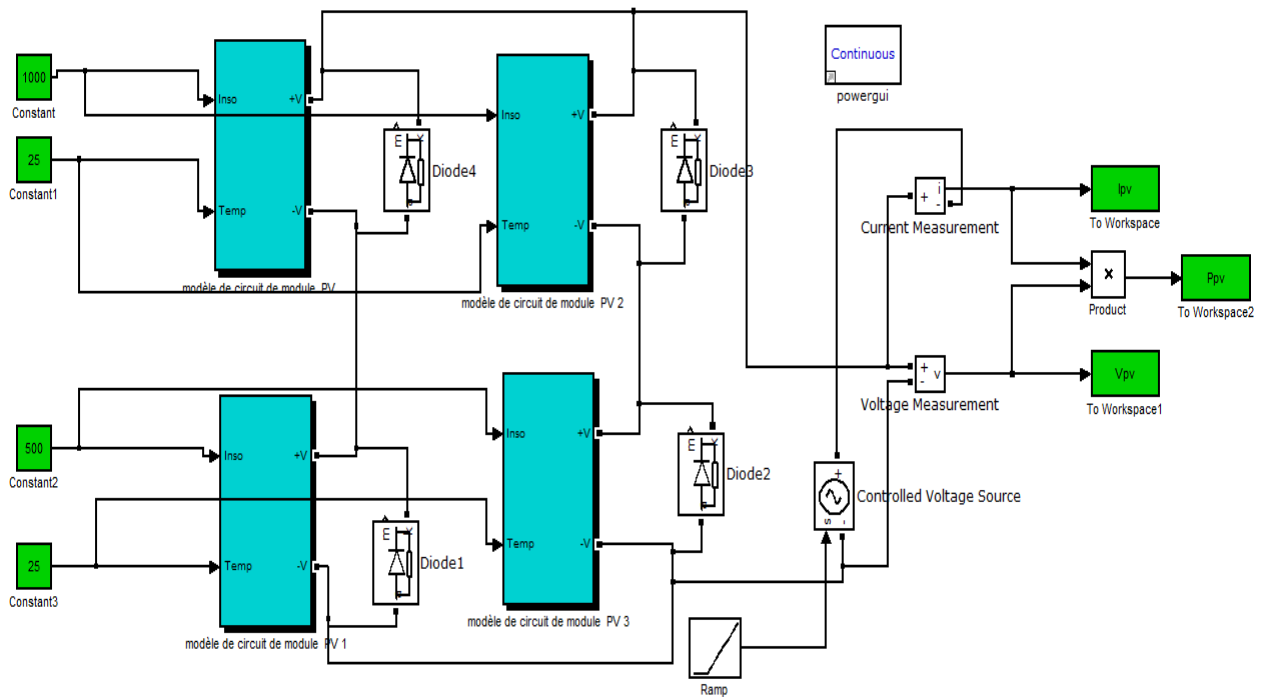


Figure III.7. Schéma bloc de deux modules en série / parallèle

C1) Les résultats:

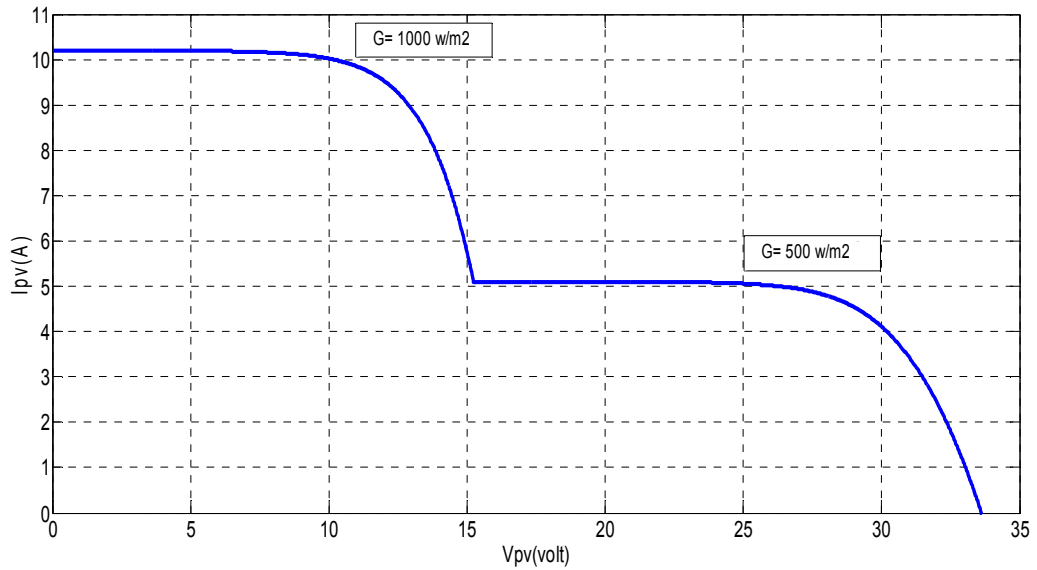


Figure III.8. Caractéristiques (I-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage de deux modules en série / parallèle.

Dans cette figure on remarque l'apparence de deux point de maximum de puissance respectivement aux insolation $G=1000 \text{ w/m}^2$ et 500 w/m^2 , c'est dû à l'ombrage de la branches des deux G_{pv} en série. Les mêmes remarques sont valable pour la Caractéristiques ci dessous.

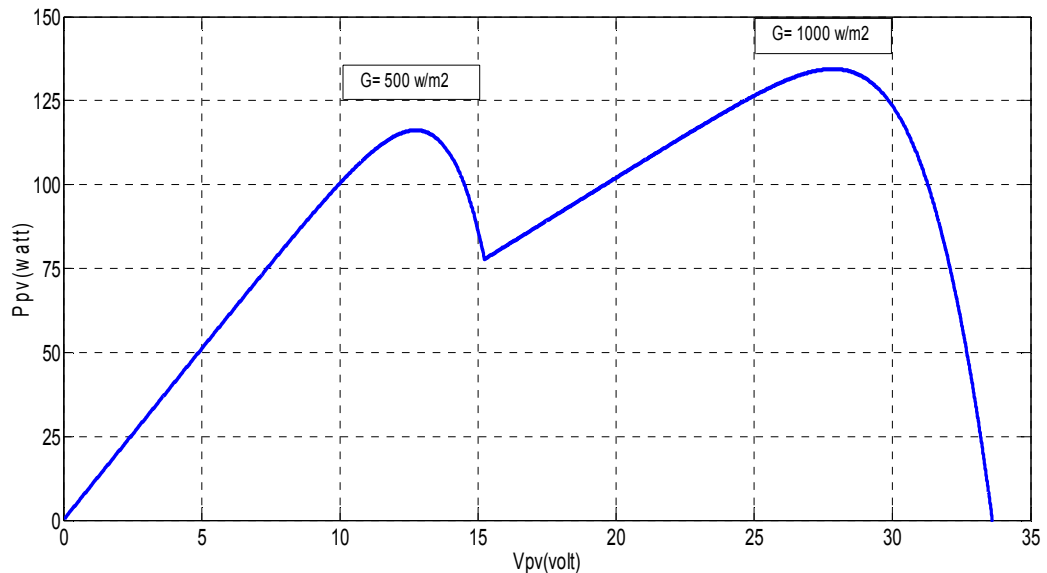


Figure III.9. Caractéristiques (P-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage de deux modules en série / parallèle.

3.3 Influence de l'effet de l'ombrage sur le facteur de forme (FF):

3.3.1 Introduction :

Il existe un paramètre important qui affecte directement le rendement d'une cellule PV, il connue comme un indice propre au Gpv connue sous le nom de facteur de forme, son expression est comme suit :

$$FF = \frac{V_{mpp} \cdot I_{mpp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (III.1)$$

Il représente la mesure de la qualité de la cellule solaire. Sa valeur pour une cellule solaire est entre 0.7 et 0.8. Le rendement est alors exprimé par la relation suivante :

$$\eta = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot ff}{P_{in}} \quad (III.2)$$

Avec P_{in} : puissance fournie par le soleil.

Plusieurs profils d'ombrage ont été effectués sur des modules PV, en utilisant deux différentes configurations, série et parallèle. Les tableaux (3.1) et (3.2) ci-dessous résumant les tests d'ombrage pour les cas des modules connectés en série respectivement parallèle pour des ombrages différents.

3.3.2 Test montage Gpv en série

Ces test on été fait avec trois modules Gpv aux caractéristique évoquer dans le tableau (3.1) :

Test	Condition d'ombrage
1	Trois modules connecté en série (G=960 w/m ² ,T=25 °C).
2	Module1 ombré Gsh=115 w/m ² ,module2 G=970 w/m ² , module3 G=970 w/m ²
3	Module1 ombré Gsh=115 w/m ² ,module2 G=980 w/m ² , module3 ombré Gsh=70 w/m ²
4	Module1 Gsh=1020 w/m ² ,module2 G=1020 w/m ² , module3 ombré de 50% Gsh=115w/m ²
5	Module1 ombré de 50% Gsh=110w/m ² , module2 G=975 w/m ² , Module3 ombré de 50% Gsh=110w/m ²

Simulation Et Résultat

6	Module1 ombré Gsh=400 w/m2 , module2 G=930 w/m2 , module3 ombré Gsh=700 w/m2
----------	---

Tableau III. 1 : Valeurs des insulations sur les modules en serie.

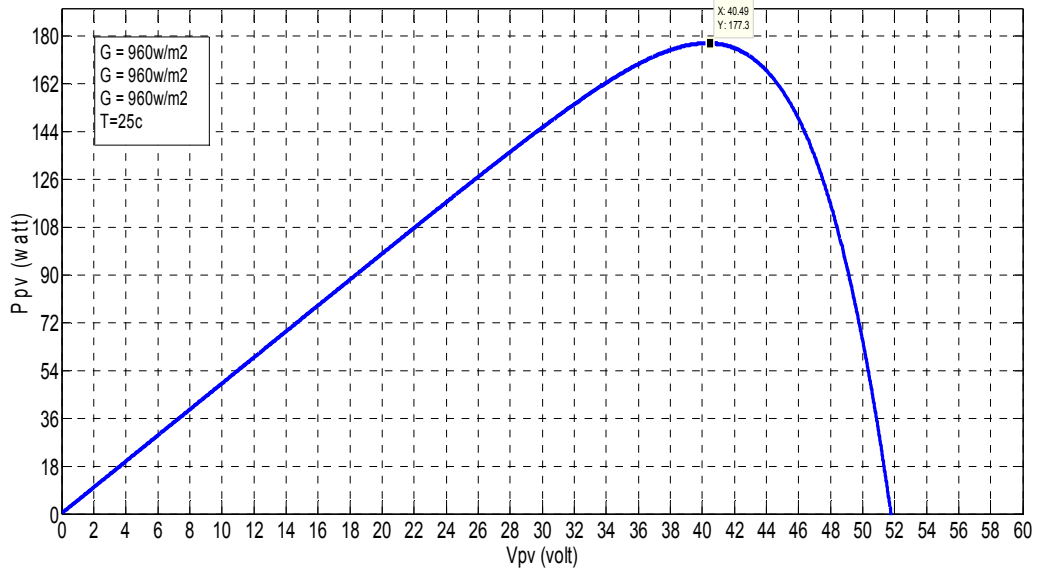


Figure III.10. Caractéristiques (P-V) du test 1.

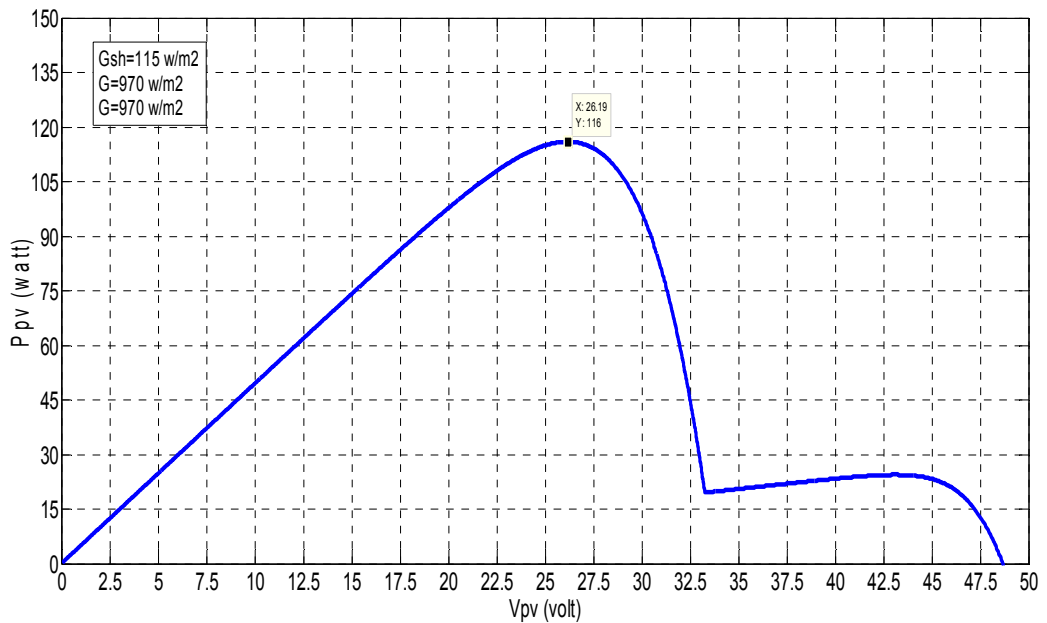


Figure III.11. Caractéristiques (P-V) du test 2.

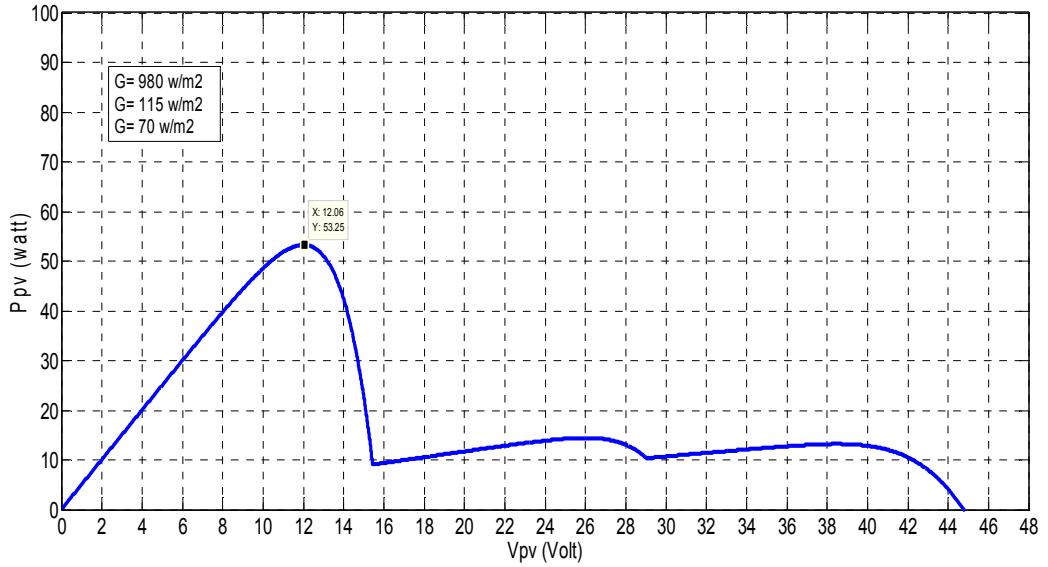


Figure III.12.Caractéristiques (P-V) du test 3.

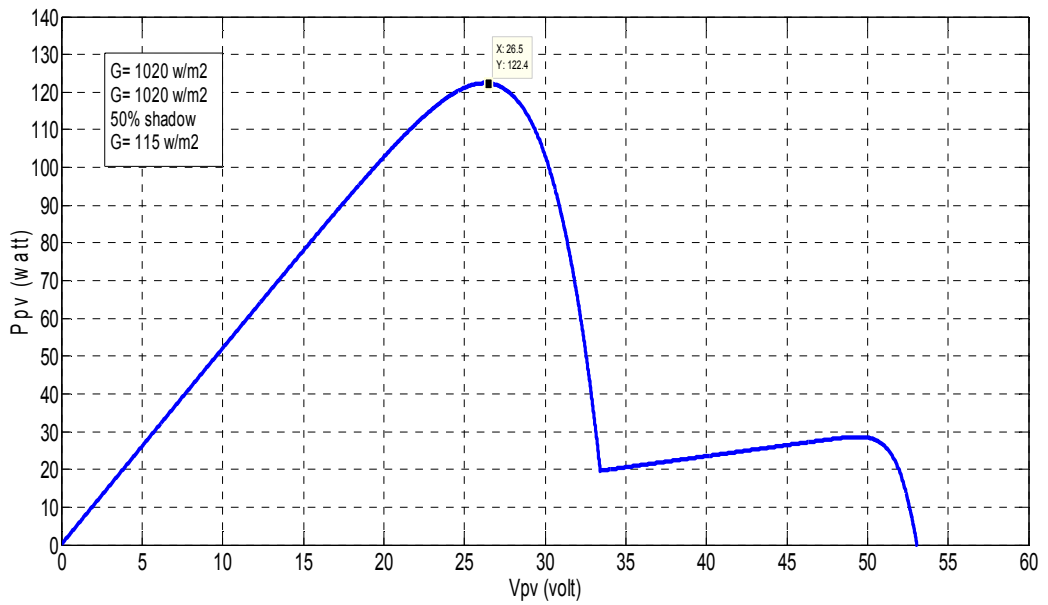


Figure III.13. Caractéristiques (P-V) du test 4.

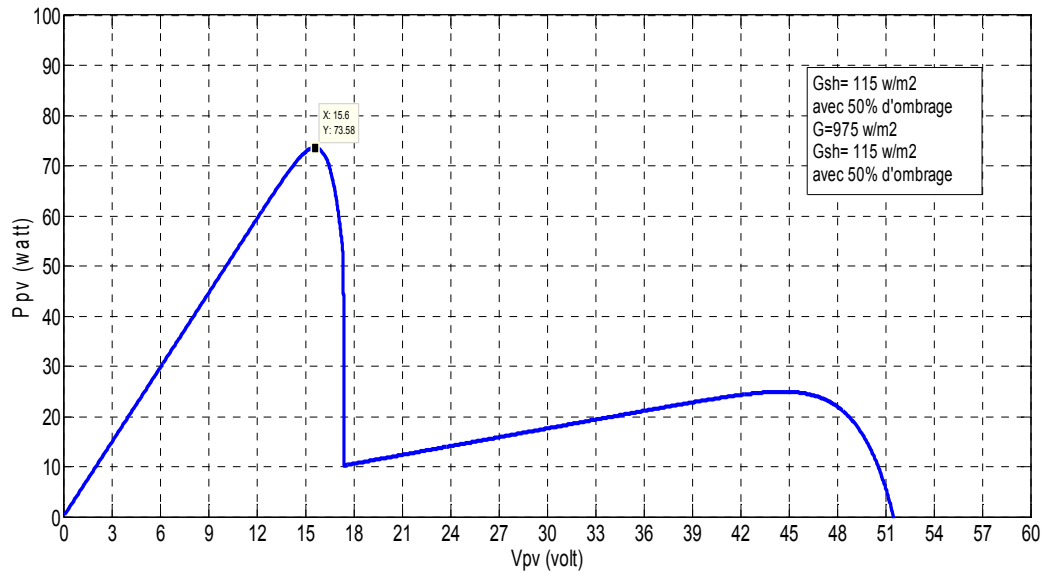


Figure III.14. Caractéristiques (P-V) du test 5.

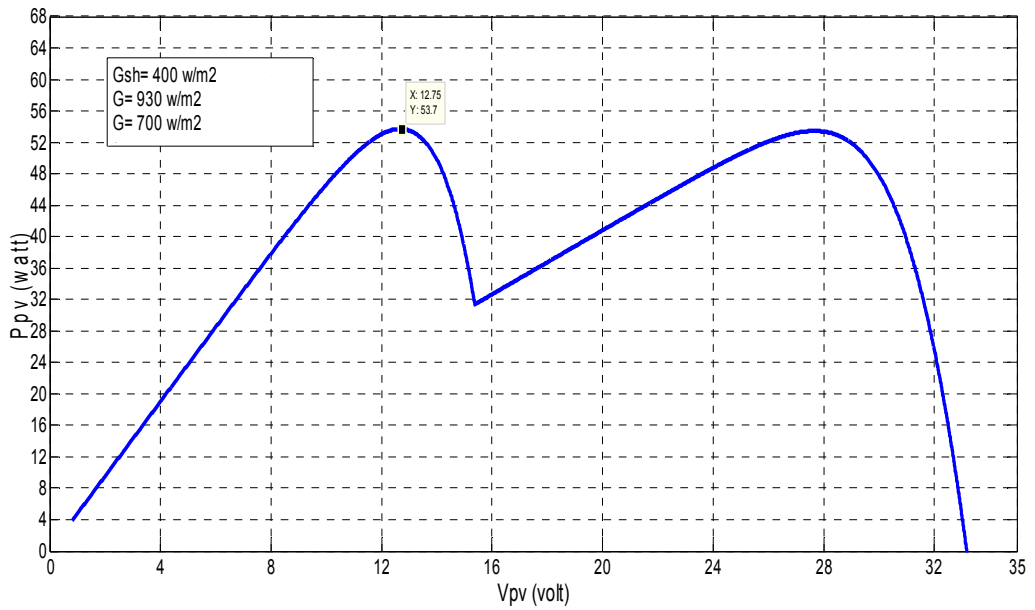


Figure III.15. Caractéristiques (P-V) du test 6.

3.3.3 Test montage Gpv en parallèle

test	Condition d'ombrage
1	Trois modules connecté en parallèle ($G=1000 \text{ w/m}^2$, $T=25 \text{ °C}$)
2	Module1 ombré $G_{sh}=120 \text{ w/m}^2$,module2 $G=983 \text{ w/m}^2$, module3 $G=983 \text{ w/m}^2$
3	Module1 ombré $G_{sh}=120 \text{ w/m}^2$,module2 $G=985 \text{ w/m}^2$, module3 ombré $G_{sh}=75 \text{ w/m}^2$
4	Module1 $G_{sh}=985 \text{ w/m}^2$,module2 $G=985 \text{ w/m}^2$, module3 ombré de 50% $G_{sh}=115 \text{ w/m}^2$
5	Module1 ombré de 50% $G_{sh}=110 \text{ w/m}^2$, module2 $G=975 \text{ w/m}^2$, Module3 ombré de 50% $G_{sh}=110 \text{ w/m}^2$
6	Module1 ombré $G_{sh}=400 \text{ w/m}^2$,module2 $G=930 \text{ w/m}^2$, module3 ombré $G_{sh}=700 \text{ w/m}^2$

Tableau III. 2 : Valeurs des insolation sur les modules en parallèle.

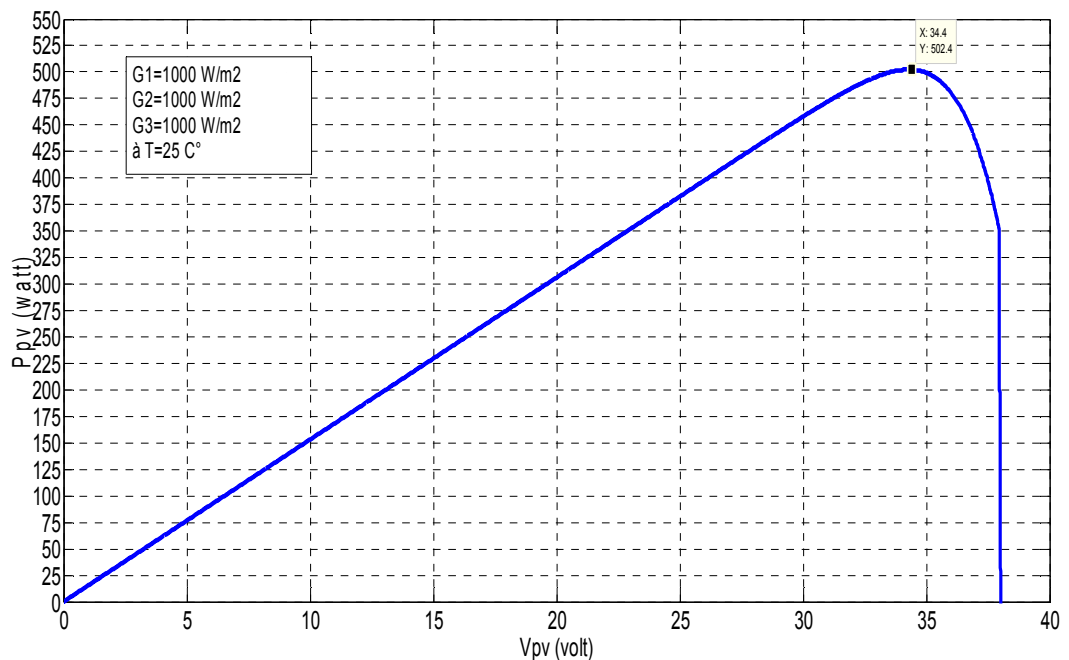


Figure III.16. Caractéristiques (P-V) du test 1.

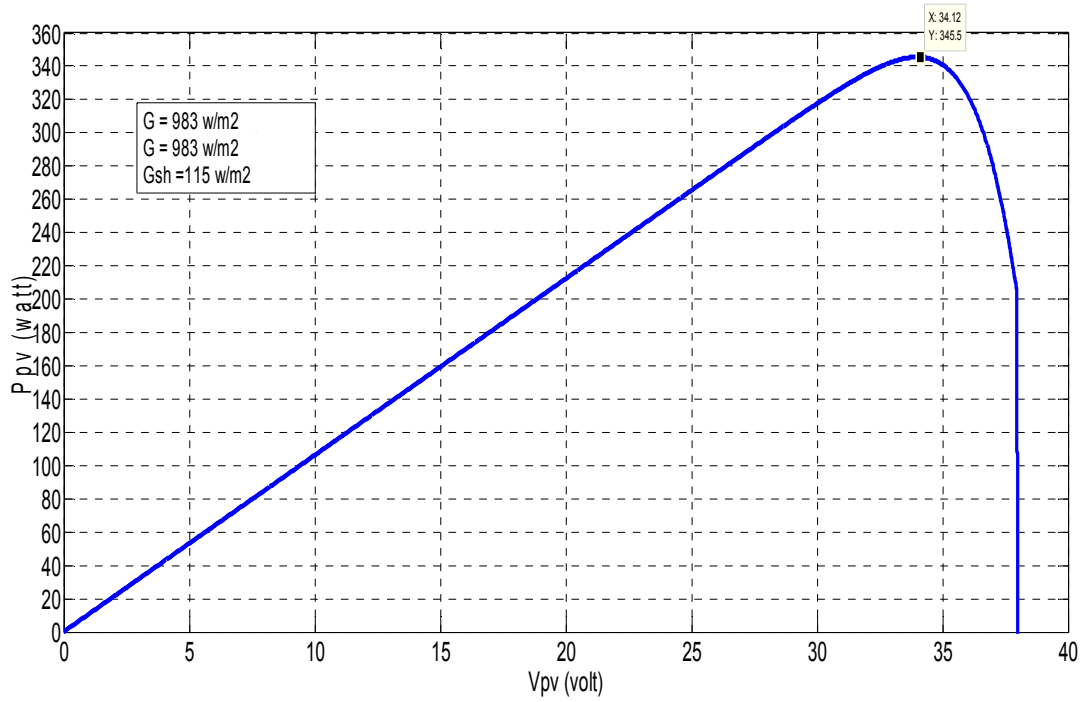


Figure III.17. Caractéristiques (P-V) du test 2.

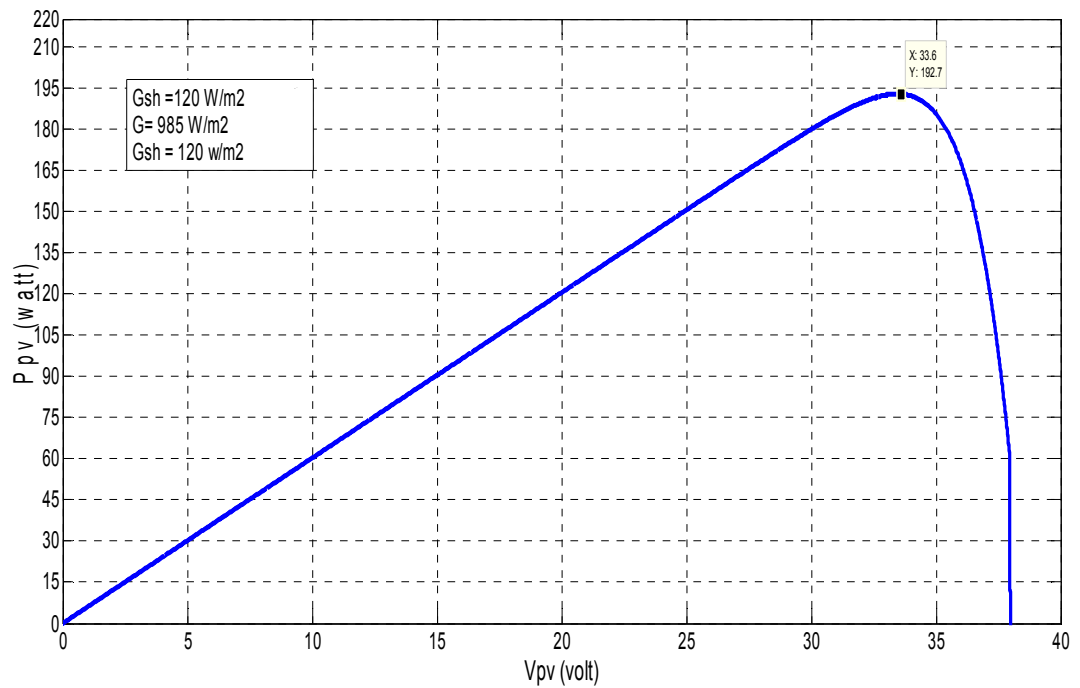


Figure III.18. Caractéristiques (P-V) du test 3.

Simulation Et Résultat

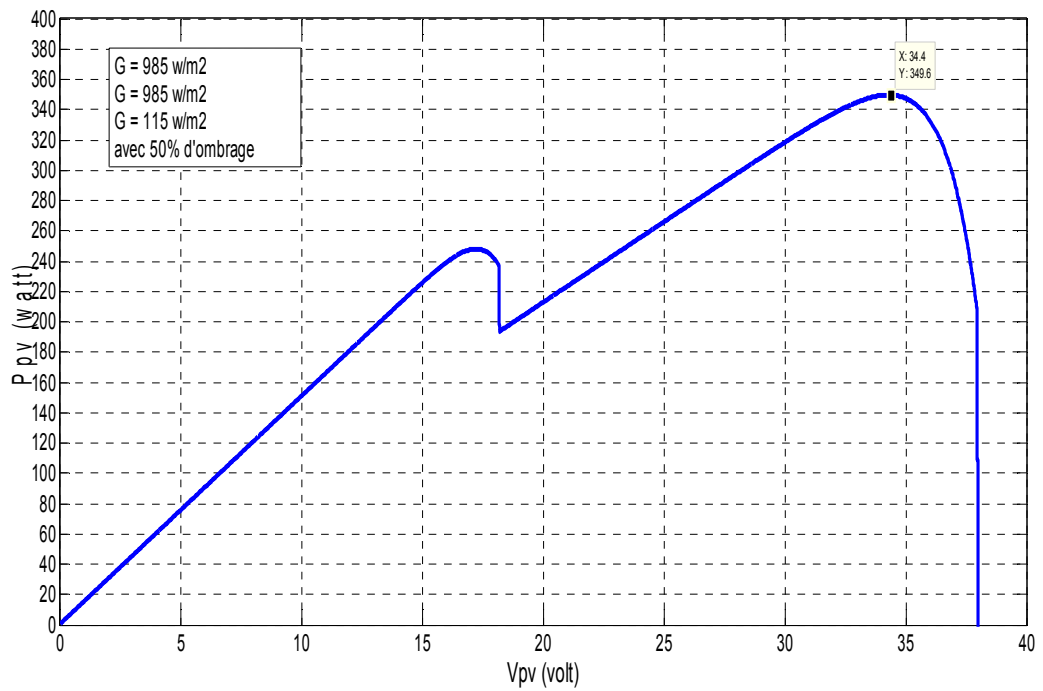


Figure III.19. Caractéristiques (P-V) du test 4.

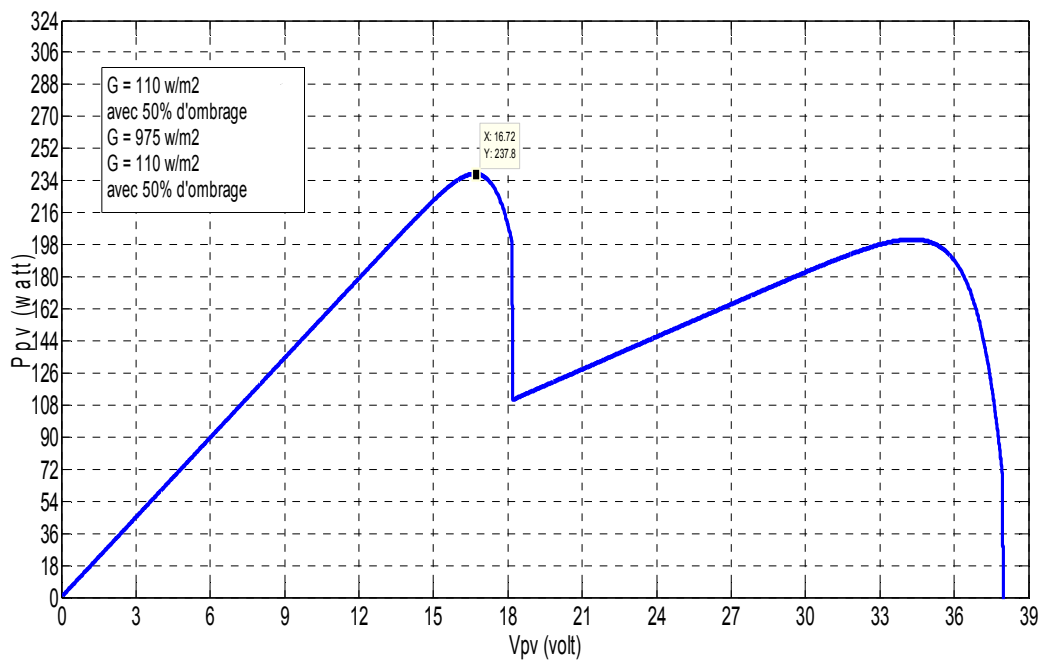


Figure III.20. Caractéristiques (P-V) du test 5.

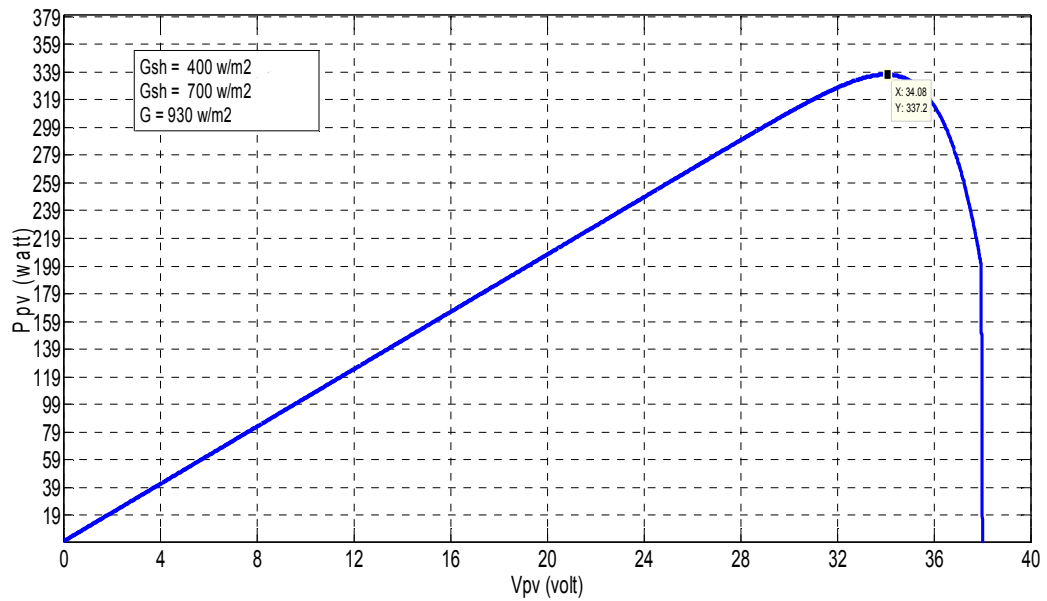


Figure III.21. Caractéristiques (P-V) du test 6

En exploitant les résultats des figures III. 10 jusque 'à III. 21, les valeurs maximales de la puissance, du courant et de la tension sont résumés dans les deux tableaux ci-dessous pour les deux cas de connexion série et parallèle dans le but de calculer le facteur de forme:

test	Pmax(watt)	Imax(A)	Vmax(volt)	F.F
1	177.3	4.37	40.49	0.66
2	116	4.42	26.29	0.48
3	53.25	4.41	12.06	0.23
4	122.4	4.61	26.5	0.31
5	73.58	4.71	15.6	0.13
6	53.7	4.21	12.75	0.22

Tableau III. 3 : Puissance au point maximum et facteur de forme (connexion en série).

test	Pmax(watt)	I _{max} (A)	V _{max} (volt)	F.F
1	502.4	14.60	34.4	0.86
2	345.5	10.12	34.12	0.85
3	192.7	5.73	33.6	0.84
4	349.6	10.16	34.4	0.61
5	237.8	14.20	16.74	0.42
6	337.2	9.89	34.08	0.80

Tableau III. 4 : Puissance au point maximum et facteur de forme (connexion en parallèle).

3.3.4 Analyse des résultats:

L'analyse des deux tableaux montre que le facteur de forme est généralement sensible dans un montage en série qu'en parallèle. Lorsque plusieurs Gpv sont ombré à 50% le facteur de forme atteint des valeurs très basses. Ca affecte directement le rendement d'un module PV.

Il à noter aussi la différence entre l'ombrage partiel et l'ombrage totale.

Dans l'ombrage partiel il ya apparition de plusieurs points de puissance maximale, tandis que dans le cas de l'ombrage totale, il apparait un seul point de puissance maximale avec une chute de courant I_{sc} bien sur a température nominale de T=25°C.

Conclusion

Dans ce chapitre la simulation des caractéristiques (I,V) et (P,V) pour la mise en série de deux, trois Gpv en série, de deux branche de deux Gpv en série/parallèle sous les conditions d'ombrage a été effectuée sous l'environnement matlab/simulink. Il est à noté que l'effet de l'ombrage sur les panneaux relies en série est important que les panneaux relies en parallèle. Cette remarque est bien claire en exploitant les figures (III.5) et (III.6). 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.

Il est à noter aussi que le taux d'augmentation d'ombrage déplace le point de puissance maximum à des tensions correspondante plus faible.

Nous déduisons de cette étude que l'ombrage affecte directement le rendement d'un système PV. Le taux de perte de puissance augmente avec l'augmentation de nombre de modules ombrés.

Cette problématique de l'ombrage sur les générateurs photovoltaïques est primordiale pour une meilleure intégration des systèmes dans le bâti et pour augmenter la rentabilité économique de tels systèmes.

Chapitre I : L'état De l'art Sur Les modulas PV.

GPV	: Générateur Photovoltaïque
PV	: Photovoltaïque
MPPT	: Maximum Power Point Tracking.
MPP	: Maximum Power Point.
V_g	: Energie de gap.
I_d	: Courant de direct la diode.
V	: Tension imposée à la diode.
P	: Puissance débitée par la cellule photovoltaïque.
P_m	: La puissance maximale de la cellule photovoltaïque.
I_m	: Le courant pour le quel la puissance de la cellule PV est maximale.
V_m	: La tension pour la quel la puissance de la cellule PV est maximale.
I_{cc}	: Courant de court-circuit.
I_{sat}	: Courant de saturation de la diode.
I_{ph}	: Photo-courant de la cellule PV.
R_s	: Résistance série.
R_{sh}	: Résistance shunt.
I_{sh}	: Courant dérivé par la résistance shunt.
E	: Eclairement.
V_{co}	: Tension de circuit ouvert.
I	: Le courant générer par le générateur photovoltaïque.
A	: Facteur d'idéalité.
R_{opt}	: La charge optimale.
V_{opt}	: La tension optimale.
I_{opt}	: Le courant optimum.
P_{opt}	: La puissance optimale.
n_s	: Nombre de cellule en série.
n_p	: Nombre de cellule en parallèle.
q	: La charge d'électron $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.
K	: Constante de Boltzmann $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K.

Chapitre II : Etage D'adaptation.

P&O.	: perturbation et observation
DC /DC	: Convertisseur continu/continu.
C1, C2	: Les capacités du convertisseur.
L	: L'inductance du convertisseur.
v_{in}	: La tension d'entrée du convertisseur.
v_{out}	: La tension de sortie du convertisseur.
V_L	: Tension aux bornes de l'inductance L
I_L	: Courant traversant l'inductance L
i_{c1}	: Le courant du condensateur C1.
i_{c2}	: Le courant de condensateur C2.
v_{lc}	: La tension aux bornes de l'inductance L.
D	: Le rapport cyclique.
M (α)	: Le rapport de conversion.
α_0	: La valeur initiale du rapport cyclique d.
C	: Le pas d'incrémentement du rapport cyclique.
I_{c2}	: Le courant de condensateur C2

Chapitre III : Simulation et Resultat.

FF	: facteur de forme
η	: rendement
P_{in}	: puissance reçu du soleil

Introduction général

La découverte de l'effet photovoltaïque est attribuée à **Edmond Becquerel**, découvreur de la radioactivité. C'était en 1839, il avait 19 ans et venait de constater que l'éclairement des lames métalliques provoquait l'apparition d'un courant. Ainsi la lumière était capable de faire apparaître un courant électrique, ce qui ouvrait la voie à la conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique. En 1869, l'ingénieur français **Augustin Mouchot** confirme le potentiel énergétique du rayonnement solaire, dont la puissance est déterminée quantitativement « Chaque mètre carré de sol reçoit entre 0,8 mégawatt heure par ans en Finlande et 2,9 au Sahara (1,3 en moyenne en France). Cela représente entre 80 et 290 litres d'équivalent pétrole: c'est considérable ». L'énergie solaire reçue par la terre chaque année représente environ 10 000 fois la consommation énergétique mondiale [Web1].

La recherche des ressources d'énergie alternatives est donc devenue une question cruciale de nos jours. Beaucoup de recherches scientifiques ont été menées, non seulement, dans le domaine de la production d'énergie nucléaire, mais également dans le secteur des sources d'énergie illimitées, telles la production d'électricité par le vent et par la transformation d'énergie solaire [Web 2].

Les panneaux solaires, tant dis qu'ils soient de plus en plus performants, ont des taux de rendements qui restent aussi faibles (en environ de 20%), c'est pour cela qu'il faut profiter du maximum de puissance qu'ils peuvent générer en réduisant au maximum les pertes d'énergie.

Pour cela, l'optimisation et la réalisation des systèmes photovoltaïques sont des problèmes d'actualité puisqu'ils conduisent sûrement à une meilleure exploitation de l'énergie solaire. Pour une installation photovoltaïque, la variation de 50 % de l'éclairement ou de la charge induit une dégradation de la puissance fournie par le générateur **PV** de l'ordre de 50 % ; de plus le générateur PV ne fonctionne plus dans la condition optimum.

L'utilisation de cette énergie renouvelable nécessite la combinaison des moyens de commande et de gestion de la puissance où chaque panneau **PV** devrait fonctionner en un point maximale, surnommé le point de puissance maximale (**PPM**), défini par une tension et un courant max donnés ; ce point se déplace en fonction des conditions météorologiques (ensoleillement, température, etc.) ainsi que des variations de la charge.

Introduction général

Pour extraire le maximum de puissance d'un ensemble de panneaux **PV**, un contrôleur électronique ou bien un étage d'adaptation est incorporé entre le générateur **PV** et la charge, dont le rôle principal est la surveillance en continu et à chaque instant du point de puissance maximale du générateur **PV** appelé communément **MPPT** (*Maximum Power Point Tracking*) et cela en général par action sur un dispositif de conversion DC-DC.

Les techniques de régulation et de contrôle assurent la fonction d'adaptation d'impédance, en transférant à la charge la puissance électrique maximale issue du panneau **PV** quelles que soient les conditions de température et d'ensoleillement.

La comparaison des systèmes avec et sans les dispositifs poursuivant le point de puissance maximale montre que les unités avec un **MPPT** produisent 80 à 90% de leur puissance maximale théorique, tandis que les unités sans **MPPT** fonctionnent seulement à 30% de leur rendement de puissance maximale [01]

Il est bien connu que la puissance électrique générée par un module photovoltaïque peut être fortement diminuée par rapport aux conditions optimales de production (point Maximum de puissance) pour des conditions météorologiques données par de nombreux Facteurs, tels qu'ombrage, mauvais fonctionnement du **MPPT**, déséquilibres, Un module photovoltaïque (**PV**) consiste en l'association série de plusieurs cellules PV. Ainsi, si toutes les cellules sont identiques, la courbe I –V résultante sera aisément Déterminée en sommant les tensions de chaque cellule.

Sous des conditions réelles de Fonctionnement, si les cellules **PV** sont légèrement différentes les unes des autres ou si elles ne sont pas uniformément éclairées, la courbe I –V résultante n'est pas facilement calculable et dépend alors d'une combinaison complexe du comportement individuel de chaque cellule. Plusieurs articles présentent des modèles mathématiques permettant de calculer les effets de cellules non identiques ou non soumises aux mêmes conditions au sein d'un module [2-3].

Ombrager une partie d'un module PV a de dramatiques conséquences sur sa courbe puissance-tension (P –V) et ce, même si une très faible partie du module ou de la cellule est à l'ombre, une diminution importante de la puissance produite en est alors la conséquence. Cet ombrage partiel peut être dû à des cheminées, à des arbres ou à d'autres parties de construction.

Introduction général

Une attention toute particulière doit être portée sur ce problème sous peine d'une forte réduction de la productivité des systèmes rendant moins attractif le photovoltaïque d'un point de vue économique et ce en particulier dans le cas de systèmes PV intégrés dans le bâti [4].

Dans ce mémoire, l'étude de l'effet de l'ombrage sur des modules PV connectés en plusieurs façons sera détaillée. L'effet de ce phénomène sera et son affection sur le rendement des GPVs sera aussi mise en évidence par une simulation sous Simulink.

Le premier chapitre sera consacré à l'état de l'art sur l'énergie photovoltaïque, où une explication brève des différents composants d'un système photovoltaïque: modules photovoltaïques et l'effet de l'ombrage sera exposée.

Dans le deuxième chapitre nous présentons l'étude théorique sur l'étage d'adaptation, les méthodes de poursuite du point de puissance maximale MPPT ainsi le dimensionnement de l'étage d'adaptation.

Dans le troisième chapitre nous nous consacrons à l'implémentation de l'effet de l'ombrage dans l'environnement Simulink.

Nous terminerons notre mémoire par une conclusion générale dans laquelle nous proposerons des perspectives pour la continuité de ce travail.

Abréviations

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

***Introduction
Générale***

Chapitre I

***État de l'art sur les modules
Photovoltaïques***

Chapitre II

Étude de l'étage d'adaptation

Chapitre III

Simulation et résultats

***Conclusion
Générale***

***Références
Bibliographiques***

Bibliographie

Référence Web:

[Web1 WWW.encosources.info]

[Web 2 WWW.cipcsp.com]

[Web 3 www.panneausolairephotovoltaique.wordpress.com]

[Web 4 <http://www.edfenr.com/>]

Référence :

- [01] S.Issaadi « Commande d'une poursuite du point de puissance maximum (MPPT) par les réseaux de neurones », Mémoire de Magistère, ENP, Alger, 2006.
- [2] J.W. Bishop, 'Computer Simulation of the Effects of Electrical Mismatches in Photovoltaic Cell Interconnection Circuits', Solar Cells, Vol. 25, N°1, pp. 73 - 89, 1988..
- [3] L.A. Hecktheuer, A. Krenzinger, C.W.M. Prieb, 'Methodology for Photovoltaic Modules Characterization and Shading Effects Analysis', Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences, Vol. 24, N°1, pp. 26 -32, 2002.
- [4] Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°1 (2010) 49 – 62 Influence d'un ombrage partiel sur la production électrique d'un module photovoltaïque en silicium monocristallin
- [5]. M. Belhaj, "Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome", Mémoire de Magister, Université de Bechar, 2007
- [6] O. Gergaud, "Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couple au réseau et associe a un accumulateur", PhDThesis, Ecole Normale Supérieure de Cachan, France, 2002.
- [7] S.Tadger, "Etude d'un système de compensation d'harmonique en utilisant un générateur photovoltaïque GPV", Thèse de Magister, Université de Boumerdes, 2008
- [8] R.A. Messenger, J. Ventre, "Photovoltaic Systems Engineering (Second Edition)", CRC Press,2004

Bibliographie

- [9] T. Markvart & Luis Castaner, "Handbook of Photovoltaics : Fundamentals and Applications", ELSEVIER, 2003
- [10] F.A. Farret, M. Godoy Simoes, "Integration of Alternative Sources of Energy", John Wiley & Sons Ltd, 2006
- [11] A. Luque and Steven Hegedus, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering", John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [12] F. Kinninger, "Photovoltaic Systems Technology", University of Kassel, 2003
- [13] Akihiro Oi, "Design and Simulation of Photovoltaic Water Pumping System", Faculty of California Polytechnic State University, 2005
- [14] N.Pongratananukul, "Analysis and Simulation Tools for Solar Array Power Systems" University of Central Florida, 2005
- [15] D.Sera, Remus Teodorescu, "PV panel model based on datasheet values", Aalborg University, 2006:
- [16] J. Royer, T. Djiako , E. Schiller et B. Sada Sy, "Le Pompage Photovoltaïque" ,Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa
- [17] S .Kreuawan, "Etude d'un mini réseau hybride associant une centrale photovoltaïque et une micro turbine à gaz", Thèse de Master, Ecole Centrale Lille, 2005:
- [18] W. De Soto, "Improvement and validation of model for photovoltaic array performance", M.S. thesis, Solar energy laboratory, University of Wisconsin Madison, 2004.
- [19] A. Benatiallah, R. Mostefaouib, M. Boubekric and N. Boubekrid "A simulation model for sizing PV installations", Elsevier Ltd, 2007, pp. 97–101.
- [20] J.W. Bishop, 'Computer Simulation of the Effects of Electrical Mismatches in Photovoltaic Cell Interconnection Circuits', Solar Cells, Vol. 25, N°1, pp. 73 - 89, 1988.
- [21] E. Karatepe, M. Boztepe and M. Colak, 'Development of a Suitable Model for Characterizing Photovoltaic Arrays With Shaded Solar Cells', Solar Energy, Vol. 81, N°8, pp. 977 - 992, 2007.
- [22] H. Kawamura, K. Naka, N. Yonekura, S. Yamanaka, H. Kawamura, H. Ohno and K. Naito, 'Simulation of I-V Characteristics of a PV Module with Shaded PV Cells', Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 75, N°3, pp. 613 - 621, 2003.
- [23] H. Oldenkamp, I. de Jong, B. de Boer, H. de Moor and W.C. Sinke, 'PV-Wirefree Versus Conventional PV Systems: Detailed Analysis of Difference in Energy Yield Between Series and Parallel Connected PV Modules', In the Proceedings of the 19th EPSEC Conference, Paris, June 2004.

Bibliographie

- [24] W. Hermann and W. Wiesner, 'Modeling of PV Modules – the Effects of non uniform Irradiance on Performance Measurements with Solar Simulators' In Proceedings of the 16th EPSEC, Glasgow, 2000.
- [25] A. Woyte, J. Nijs and R. Belmans, 'Partial Shadowing of Photovoltaic Arrays with Different System Configurations: Literature Review and Field Test Results', Solar Energy, Vol. 74, N°3, pp. 217 - 233, 2003.
- [26] H. Oldenkamp, 'Detailed Analysis of Currents in PV-Shunts', 2002 available at www.okeservices.com.
- [27] S.ABADA ' Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic', Mémoire Maître es Sciences , Université laval, 2011.
- [29] M.ARROUF 'Optimisation de l'ensemble onduleur, moteur et pompe branche sur un générateur photovoltaïque', thèse doctorats université de Constantine,2007.
- [28] C. CABAL 'Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque ', Thèse de doctorat université de Toulouse III ,2008.
- [30] V.Boitier , P. Maussion , C. CABAL 'Recherche du maximum de puissance sur les générateurs photovoltaïques', université de Toulouse, revue 3E.I, N°54, pp 90-96, septembre 2008
- [31] Trishan Eram, Student Member, IEEE, and Patrick L. Chapman, Senior Member, IEEE, "Com- parison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", IEEE TRANSAC- TIONS ON ENERGY CONVERSION, 2006
- [32] M.Hatti, IEEE Member, "Contrôle Flou pour la Poursuite du Point de Puissance Maximum D'un Système Photovoltaïque", JCGE.08 LYON, 16 et 17 decembre 2008
- [33] M. A. S. Masoum and M. Sarvi, "Design, Simulation and Implementation of a Fuzzy-Based MPP Tracker Under Variable Insolation and Temperature Conditions", Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, Vol. 29, No. B1, 2005
- [34] H.Boumaaraf1, A.Talha, "Modeling of a Photovoltaic Panel and the Search for its Maximum Power Point Tracking", EFEEA.10 I nternational Symposium on Environment Friendly Energies in Electrical Applications, 2010
- [35] W. Xiao, "Improved Control of Photovoltaic Interfaces", The University of British Columbia,2007

Bibliographie

- [36] N.Pongratananukul, "Analysis and Simulation Tools for Solar Array Power Systems", University of Central Florida, 2005
- [37] H.Knopf, "Analysis, Simulation and Evaluation of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Methods for a Solar Powered Vehicule", Portland State University, 1999
- [38] F. Belhachat " Commande neuro-floue d'un hacheur MPPT ", MAGISTER ENP, juin 2007.
- [39] M. ISSAADI Salim, "Commande d'une poursuite du point de puissance maximum (MPPT) par les Réseaux de Neurones", MAGISTER ENP, 2006.
- [40] A.Tsamda. K-Mahmoud, "Développement d'un logiciel de dimensionnement des installations photovoltaïque ", PFE ENP, juin 2007.
- [41] B. Ramdane, B. Dabouz, " Contribution à l'étude et la command d'un Moteur Asynchrone Alimenté par un système Solaire, Application au Pompage PV". PFE ENP, 2002.