

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



Université de Ghardaïa

Faculté des Sciences et Technologies
Département d'automatique et électromécanique

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Spécialité : *Energie renouvelables*

Par : *daheur abdelhak et hanichi abdelmalek*

Thème

Optimisation de l'énergie issue d'un générateur photovoltaïque dans le cas d'ombrage partiel

Soutenu publiquement le/2021

Devant le jury :

Nom et prénom	Grade	Université	Président
Nom et prénom	Grade	Université	Examineur
Nom et prénom	Grade	Université	Examineur
Nom et prénom	Grade	Université	Encadreur

Année universitaire 2020/2021

Remerciement

Nous remercions Dieu Tout-Puissant qui nous a donné de la patience et nous a permis de terminer ce travail.

Tout d'abord, nous remercions le professeur encadrant : Abdelkarim Mosbah

En reconnaissance de sa beauté d'abord pour avoir accepté la supervision du sujet

Qui nous a donné son temps et son attention et n'a épargné aucun effort pour guider et guider

Avec ses conseils et ses conseils, que Dieu le protège et prolonge sa vie.

Nous adressons également nos sincères remerciements au comité de discussion pour sa gentillesse d'accepter la discussion de cette note et de la juger.

Nous adressons également nos sincères remerciements à nos distingués professeurs, membres du corps professoral de l'Université de Ghardaïa.



Listes des matières

Remerciement	
Indice	
Liste Figure	
Liste Tableaux	
Introduction générale	1
Chapitre 1 Généralité sur l'énergie solaire	1
I-1- Introduction	4
I-2- Rayonnement solaire	4
I-2-1- caractéristique du rayonnement solaire	5
I-2-2 Mesure de rayonnement solaire :	6
I-3-L'énergie solaire	7
I-4-Energie solaire photovoltaïque	7
I-4-1- Effet photovoltaïque	8
I-4-2-Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	8
I-4-3 Caractéristique de la jonction PN utilisée comme capteur	9
I-4-4-Cellules photovoltaïques	9
I-4-5-Les type et rendements des cellules photovoltaïques -Le silicium amorphe ..	10
I-5-les avantages et les inconvénients d'un générateur photovoltaïque	11
I-5-1- Avantage :	11
I-5-2- Inconvénients	12
I-6-Future l'énergie solaire photovoltaïque en Algérie	12
I-7-conclusion	13
Chapitre 2_Problématique de production de la puissance maximale	14
II-1 Introduction	15
II-2 Suivi de la puissance maximale du générateur photovoltaïque	15
II-2.1 Principe de la recherche du point de puissance maximale :	15
II-2.2 L'ombrage :	17
II.2.3 -Principe de la recherche du point de puissance maximale cas ombragé : ...	18
II.2.4 Protection des modules PV en cas d'ombrage	18
II. 3 Conclusion :	20

Chapitre3 Etude de comportement d'un générateur photovoltaïque ombragé (ou bien soumis à une distribution de radiation solaire non-uniforme).....	21
III.1.Introduction	
III.2 Partie I : étude de comportement d'un générateur photovoltaïque en simulation	22
III.3 mesure de Tension à vide d'une cellule PV	22
III.4 mesure courant de court-circuit d'une cellule PV :	23
III.5.Mesure de la caractéristique U/I (en charge) :	24
III.6.Association Montage en série non ombragé :	25
III.7.Association Montage en parallèle non ombragé :	27
III.8.Association Montage en série ombragé :	28
III.9.Association Montage en parallèle ombragé :	29
III.10.Partie 02 : étude de comportement d'un générateur photovoltaïque en pratique	31
III.11 mesure Tension à vide d'une cellule PV	31
III.12 mesures courant de court-circuit d'une cellule PV	33
III. 13 Mesure de la caractéristique U/I (en charge) :	34
III.14 Association Montage en série non ombragé :	36
III.15 Association Montage en parallèle non ombragé :	38
III.16 Association Montage en série ombragé :	40
III.17 Association Montage en parallèle ombragé :	41
Chapitre4 Extraction de la puissance maximal dans le cas d'ombrage partiel	44
IV. 1 INTRODUCTION	43
IV. 2 Algorithme Perturbation et Observation (P&O) :	43
IV.2.1 Principe de la méthode	43
IV. 3 Algorithme "Escalade de la Colline (Hill Climbing)"	47
IV. 4 Choix de l'Algorithme	47
IV.5 : Algorithme P &O dans le cas ombrage	48
IV.6: Résultats et discussions	50
Conclusion generale	51

Résumé

Résumé : Ce travail s'intéresse à l'effet de l'ombrage sur un système photovoltaïque et son impact 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 ; Matlab/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 gives a significant change on the form factor. Consequently, the performance of the GPV is affected.

Keywords: Shading ; Solar Panel ; MATLAB/Simulink.

المخلص:

يتطرق هذا العمل الى مدى تأثير الظل على الانظمة الكهروضوئية الذي بدوره 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 الكهروضوئية تأثير الظل على هذه الخصائص يقوم باحداث تغيير معتبر في معامل الشكل الذي بدوره يؤثر على المردود.
كلمات المفاتيح: الظل. الكهروضوئي

Liste Figure

Numéro	Titre	Page
I.1	Répartition spectrale du rayonnement	05
I.2	composante du rayonnement solaire au sol	07
I.3	Caractéristique courant-tension d'une cellule PV sous différents éclairagements	09
I.4	Structure d'une cellule photovoltaïque au silicium (jonction PN)	10
I.5	répartition énergétique en Algérie	13
II.1	Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque	16
II.2	Recherche et recouvrement du Point de Puissance Maximal : Suite à une variation d'ensoleillement	17
II.3	GPV dans des conditions partiellement ombragés causés par le passage de nuage	18
II.4	Utilisation de la diode by-pass	19
II.5	réseau réel effet des diodes de protection	20
III.1	simulation d'un panneau PV essai à vide	21
III.2	caractéristique voltage en fonction rédaction essai à vide	21
III.3	simulation d'un panneau PV essai de court-circuit	22
III.4	caractéristique voltage en fonction rédaction essai de court-circuit	22
III.5	simulation d'un panneau PV essai en charge	23
III.6	caractéristique voltage et courant en fonction rédaction essai en charge	23
III.7	simulation trois panneaux en série non ombragé	24
III.8	Caractéristique P-V de 3 modules montés en série non ombragé	24
III.9	Caractéristique I.V de 3 modules montés en série non ombragé	25
III.10	simulation trois panneaux en parallèle non ombragé	25
III.11	Caractéristique P-V de 3 modules montés en parallèle non ombrage	26
III.12	Caractéristique I.V de 3 modules montés en parallèle non ombrage	26
III.13	simulation trois panneaux en série ombragé	27
III.14	Caractéristique P-V de 3 modules ombragés monté en série	27
III.15	Caractéristique I.V de 3 modules ombragés monté en série	28
III.16	simulation trois panneaux en parallèle ombragé	28
III.17	Caractéristique P-V de 3 modules ombragés monté en parallèle	29
III.18	Caractéristique I.V de 3 modules ombragés monté en parallèle	29
III.19	essai a vide	30

III.20	Variateur de lumière	31
III.21	caractéristique tension v/intensité rayonnement essai à vide	32
III.22	caractéristique tension v/intensité rayonnement essai à vide	32
III.23	caractéristique courant I / intensité rayonnement	33
III.24	essai en charge	34
III.25	paramètres de réglage de l'enregistreur X/Y essai en charge	34
III.26	calibre essai en charge	35
III.27	caractéristique I/V essai en charge	35
III.28	3 modules en série non ombrage	36
III.29	photo réelle de 3 modules en série non ombrage	37
III.30	paramètres de réglage de l'enregistreur X/Y 3 modules en série non ombrage	37
III.31	calibre de 3 modules en série non ombrage	37
III.32	caractéristique S/V série non ombragé	38
III.33	3 modules en parallèle non ombrage	39
III.34	photo réelle de 3 modules en parallèle non ombrage	39
III.35	3 modules en parallèle non ombrage	40
III.36	3 modules en parallèle non ombrage	40
III.37	caractéristique I/V parallèle non ombragé	40
III.38	paramètres de réglage de l'enregistreur X/Y 3 modules en sérié ombrage	41
III.39	calibre de 3 modules en sérié ombrage	41
III.40	caractéristique S/V série ombrage	42
III.41	paramètres de réglage de l'enregistreur X/Y 3 modules en parallèle ombrage	42
III.42	calibre de 3 modules en parallèle ombrage	43
III.43	caractéristique S/V parallèle ombrage	43
IV.1	Le fonctionnement de l'algorithme PO	44
IV.2	Organigramme de l'algorithme Perturbation et Observation (P&O)	45
IV.3	Programme et schéma block de la technique PO	46
IV.4	Divergence de la commande PO lors de variation d'irradiation	46
IV.5	Relation entre PPV et le rapport cyclique D de convertisseur	47
IV.6	Organigramme P&O	49

Liste Tableaux

Numéro	Titre	page
I.1	Rendement énergétique des différents types de cellules photovoltaïques	11
III.1	voltage en fonction de rédaction essai à vide	21
III.2	voltage en fonction de rédaction essai de court-circuit	22
III.3	voltage en fonction de rédaction et voltage essai en charge	23
IV.1	Tableau de vérité de l'algorithme « perturbation & observation	44
IV.2	Tableau comparatif entre les commandes MPPT	48

Introduction générale

L'exploitation directe de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes : l'une produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique, et l'autre produit de l'électricité, et c'est cette dernière, énergie solaire photovoltaïque, qui fait l'objet de ce mémoire. La consommation énergétique mondiale est principalement couverte par les énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel et nucléaire), qui ont un effet négatif sur l'environnement. La demande sur l'énergie électrique ne cesse d'augmenter ces dernières années ainsi les contraintes liées à sa production, tels que l'effet de pollution et de réchauffement climatique global, conduisent les recherches vers le développement des sources d'énergie renouvelable telle que les énergies photovoltaïques (PV), thermiques, hydraulique ...etc. Ces énergies propres et durables sont considérées comme une alternative à l'énergie fossile. L'énergie solaire photovoltaïque est considéré parmi les énergies renouvelables qui possèdent le plus large potentiel de développement surtout en Algérie, cette source d'énergie a un grand avantage elle est inépuisable, propre et elle offre une grande sécurité d'utilisation. Cependant, le cout élevé de l'installation la faible efficacité dans la conversion d'énergie limitent l'utilisation des systèmes PV. Les panneaux solaires, tant dis qu'ils soient de plus en plus performants, ont des taux de rendements qui restent aussi faible (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'énergies ; Pour cela, l'optimisation et la réalisation des systèmes photovoltaïques sont des problèmes d'actualité puisqu'ils conduisent surement 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 les conditions optimums. L'utilisation de cette énergie renouvelable nécessite la combinaison des moyens de commande et de gestion de la puissance ou 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. Pour extraire le maximum de Puissance d'un ensembles 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)

Introduction générale

Les techniques de régulations 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 températures et d'ensoleillement. La comparaison des systèmes avec et sans 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. Il est bien connu que la puissance électrique générée par un module photovoltaïque peut être fortement diminuée par rapport aux conditions optimales de productions (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 association série ou parallèle 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 l'effet de cellules non identiques ou non soumises aux mêmes conditions au sein d'un module. 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 puissance produite 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 constructions.

Dans ce mémoire, l'étude de l'effet d'ombrage sur des modules PV connectés en plusieurs façons en utilisant les méthodes de MPPT tels que P&O, HPLL, seront détaillées. L'effet de ce phénomène sera et son affection sur le rendement des GPVs sera aussi mise en évidence par une simulation sous MATLAB/SIMULINK.

Le premier chapitre aura consacré les généralités de l'énergie photovoltaïque, avec une explication brève de différentes composantes d'un système photovoltaïque : modules photovoltaïque et cellules photovoltaïque ...etc.

Dans le deuxième chapitre nous présentons le principe de la commande MPPT et poursuite de point maximale, ainsi on explique les différentes méthodes d'MPPT

Introduction générale

Le dernier chapitre sera consacré aux résultats de simulation d'optimisation de la puissance d'un système photovoltaïque

Enfin, une conclusion générale résume les principaux résultats auxquels nous avons

Abouti et les perspectives qu'ouvre ce travail.

Chapitre 1

Généralité sur l'énergie solaire

I-1- Introduction

L'énergie solaire est l'énergie diffusée par le rayonnement du soleil. L'énergie solaire 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 ou énergie photovoltaïque [1]. 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. 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 [1].

Dans ce chapitre, nous présentons le rayonnement solaire et l'énergie solaire ainsi que l'énergie photovoltaïque et leurs caractéristiques enfin nous avons présentons un aperçu sur le futur d'énergie photovoltaïque en Algérie.

I-2- Rayonnement solaire

Le soleil est une étoile âgée de 4,5 milliards d'années et elle est distante d'environ 150 millions de kilomètres de la Terre. L'énergie du soleil est issue de réactions thermonucléaires se produisant en permanence dans son noyau [2].

Le soleil représente le centre du système solaire auquel appartient notre planète la Terre. Cette étoile qui nous procure de la chaleur et de la lumière, est une source d'énergie abondante disponible, renouvelable et propre. Le soleil produit une puissance d'environ $1.7 \cdot 10^{23}$ kW. Une partie de cette puissance alimente la terre, elle est de l'ordre de $8.5 \cdot 10^{13}$ kW ; Uniquement 70% (environ $6 \cdot 10^{13}$ kW) de cette puissance pénètre l'atmosphère. Le soleil nous envoie de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. La longueur d'onde du rayonnement varie de $0.22\mu\text{m}$ à $10 \mu\text{m}$. La Fig. 1.4 représente la variation de la répartition spectrale de ce rayonnement [17,22,23]. Le rayonnement solaire incident à la limite de l'atmosphère est égal à $342 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. La surface terrestre n'absorbe que $168 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, ce rayonnement est composé de 60 % de rayonnement direct et 40 % sous forme de rayonnement diffus [3].

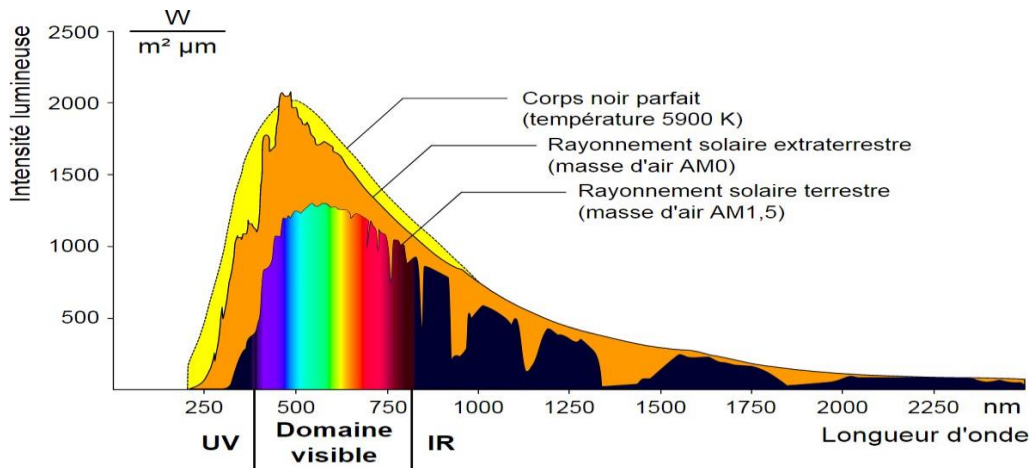


Figure (I.1) : Répartition spectrale du rayonnement

I-2-1- caractéristique du rayonnement solaire

a) L'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 cendres, des micros cristaux, des micros gouttelettes, des fumées de pollution Industrielle dont la taille varie de 0.5 à 10 µ m.). Ainsi la couche d'ozone absorbe la majeure Partie du rayonnement ultraviolet, tandis que la vapeur d'eau absorbe le rayonnement Infrarouge [4].

b) Masse d'air

On appelle masse d'air, la perte de l'énergie solaire par l'absorption atmosphérique AM Elle est donnée en fonction de l'angle entre le soleil et le zénith.

Où : α : représente l'angle entre la position du soleil et le zénith exprimé en (Degrée) [5].

$$AM = 1 / \sin \alpha$$

I-2-2 Mesure de rayonnement solaire :

L'enseillement (**G**) correspond à l'intensité du rayonnement solaire reçu sur un plan à un moment donné. Il s'exprime habituellement en watts par mètre carré (W/m^2). Comme on l'explique à la section « la ressource solaire », l'enseillement varie de zéro, au lever du soleil, à sa valeur maximale, typiquement au midi solaire. [6]

L'enseillement peut également exprimer la quantité d'énergie solaire captée sur un plan pendant un intervalle déterminé. Il s'exprime habituellement en kilowattheure par mètre carré (kWh/m^2), en « heure de soleil maximum », en mégajoule par mètre carré (MJ/m^2) ou bien en calorie par centimètre carré (cal/cm^2) pour l'intervalle déterminé, une journée ou une heure.

Les valeurs quotidiennes d'enseillement sont habituellement présentées sous forme de moyennes mensuelles pour différentes latitudes et inclinaisons à des endroits précis (afin de rendre compte de l'effet des conditions météorologiques différentes). Le plus souvent, on exprime l'enseillement en « heures de soleil maximum », c'est-à-dire par le nombre équivalent d'heures par jour ou l'éclairement est en moyenne de $1000W/m^2$. Les heures de soleil maximum est indice utile pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques, car ces systèmes sont habituellement évalués en watt crête (WC), c'est -à-dire sous un éclairement de $1000 W/m^2$ [7,8].

Il y a quatre types de rayonnement [6,7] :

-Rayonnement direct : rayonnement reçu directement du soleil. Il peut être mesuré par un pyréliomètre.

-Rayonnement diffus : c'est la partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi de multiples réflexions (dispersions), dans l'atmosphère. Il peut être mesuré par un pyranomètre avec écran masquant le soleil.

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

-Rayonnement global : c'est tout simplement la somme de ces diverses contributions comme le montre la **figure (I.2)**. mesuré par un pyranomètre ou un solarimètre sansécran.

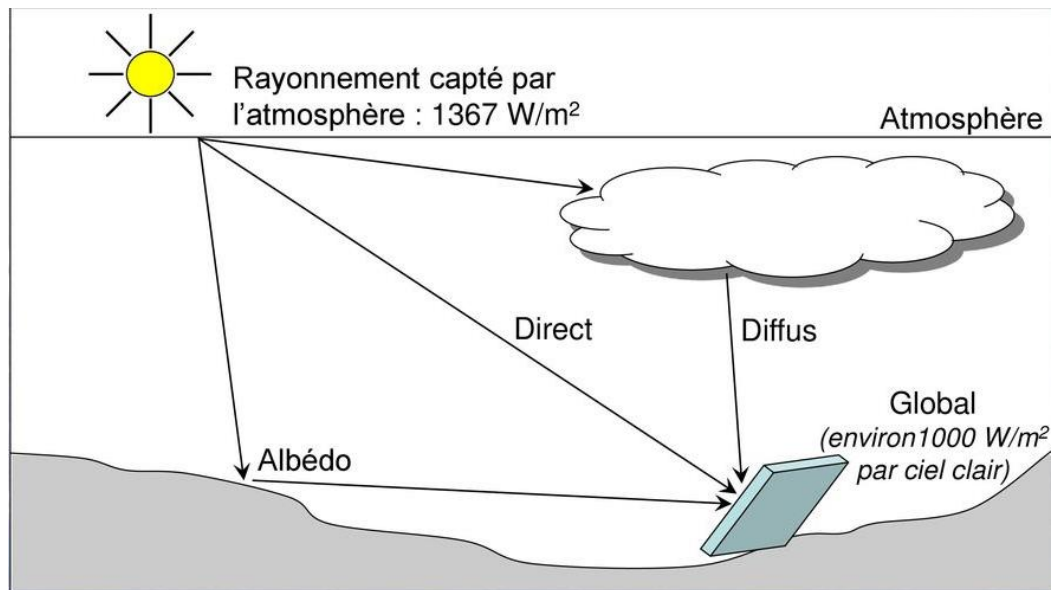


Figure (I.2) : composante du rayonnement solaire au sol

I-3-L'énergie solaire

Le soleil est la source d'énergie la plus puissante et cette énergie est gratuite, il n'y a qu'à l'exploiter sur terre, il existe différents types d'énergies solaires [9].

- L'énergie passive
- L'énergie solaire thermique
- L'énergie thermodynamique
- L'énergie photovoltaïque

I-4-Energie solaire photovoltaïque

Désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux photovoltaïques. Elle résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur (le silicium, le CdTe, l'AsGa, le CIS, etc.) d'un photon en électron. Outre les avantages liés à l'absence de maintenance des systèmes photovoltaïques, cette énergie répond parfaitement aux besoins des sites isolés et dont le raccordement au réseau électrique est trop onéreux. L'énergie solaire photovoltaïque est également appelée énergie photovoltaïque.

L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par Antoine Becquerel, grand père de Henri Becquerel qui découvrit en 1896 la radioactivité.(10)

I-4-1- Effet photovoltaïque

L'effet PV ou la conversion photovoltaïque est la transformation directe d'une énergie électromagnétique (rayonnement). Ce phénomène se produit lorsqu'un corps semi-conducteur est exposé à la lumière du soleil, ses atomes réagissent aux photons constituant la lumière. A cet effet, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendances à se décrocher. Dans les cellules PV, les électrons " décrochés " créent une tension électrique continue et faible [11].

L'effet PV constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules PV. Pour avoir une puissance suffisante, les cellules sont interconnectées afin de produire un module PV ou un champ PV

I-4-2-Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques exploitent l'effet photoélectrique pour produire du courant continu par absorption du rayonnement solaire. Cet effet permet aux cellules de convertir directement l'énergie lumineuse des photons en électricité par le biais d'un matériau semi-conducteur transportant les charges électriques.

Une cellule photovoltaïque est composée de deux types de matériaux semi-conducteurs, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit d'électrons. Ces deux parties sont respectivement dites « dopées » de type n et de type p. Le dopage des cristaux de silicium consiste à leur ajouter d'autres atomes pour améliorer la conductivité du matériau.

Un atome de silicium compte 4 électrons périphériques. L'une des couches de la cellule est dopée avec des atomes de phosphore qui, eux, comptent 5 électrons (soit 1 de plus que le silicium). On parle de dopage de type n comme négatif, car les électrons (de charge négative) sont excédentaires. L'autre couche est dopée avec des atomes de bore qui ont 3 électrons (1 de moins que le silicium). On parle de dopage de type p comme positif en raison du déficit d'électrons ainsi créé. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p.

En traversant la cellule photovoltaïque, les photons arrachent des électrons aux atomes de silicium des deux couches n et p. Les électrons libérés se déplacent alors dans toutes les directions. Après avoir quitté la couche p, les électrons empruntent ensuite un circuit pour retourner à la couche n. Ce déplacement d'électrons n'est autre que de l'électricité(12).

I-4-3 Caractéristique de la jonction PN utilisée comme capteur

En polarisant électriquement une jonction PN classique à base de Si, on obtient les caractéristiques statiques d'une diode. La particularité du Si est que lorsque la jonction PN est éclairée, un courant proportionnel à l'éclairement apparaît. C'est cette particularité qui est employée dans les générateurs solaires photovoltaïques (**Figure II.2**)

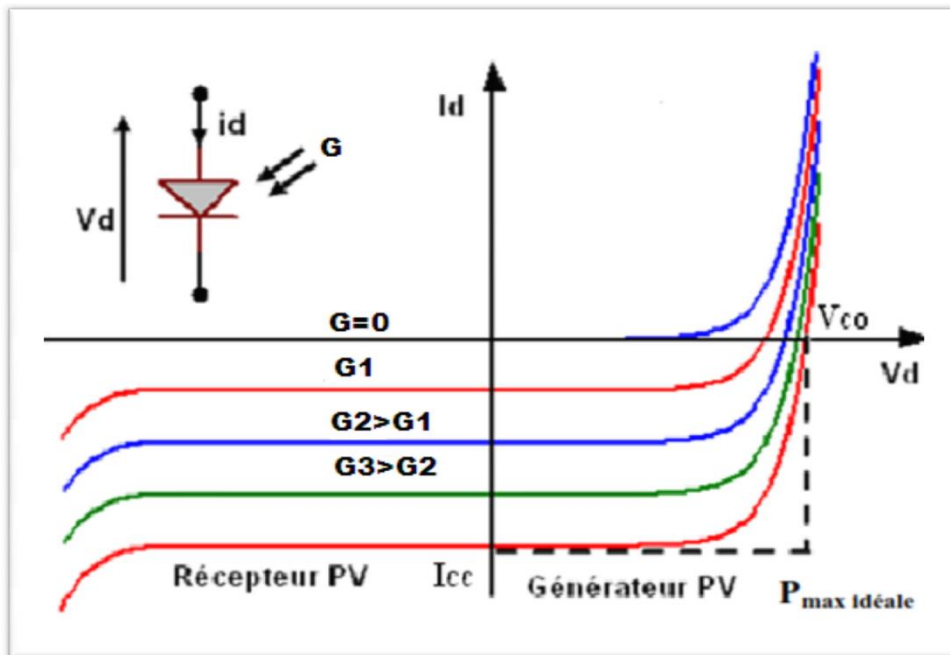


Figure (I.3) : Caractéristique courant-tension d'une cellule PV sous différents éclairages

On peut remarquer à partir de la caractéristique illustrée dans la **Figure (I.3)** :

- Si $G = 0$, la jonction se comporte comme un photorécepteur.
- Si $G > 0$, elle fonctionne comme un générateur avec un courant de court-circuit proportionnel à l'éclairement.

I-4-4-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 « photocourant » [13].

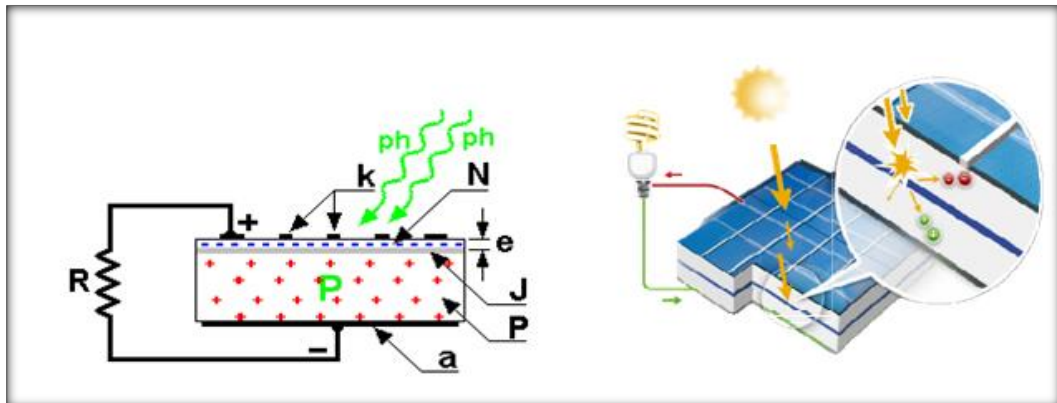


Figure (I.4) : Structure d'une cellule photovoltaïque au silicium (jonction PN)

I-4-5-Les type et rendements des cellules photovoltaïques -Le silicium amorphe

Le silicium amorphe est obtenu à partir de gaz de silicium. Ce gaz est vaporisé sur un support, en verre, en plastique souple ou en métal, grâce à un procédé de projection sous vide. Ces cellules photovoltaïques sont gris foncé.

a)-Le silicium monocristallin

Le silicium monocristallin est le résultat du refroidissement du silicium fondu. Une fois solidifié, il se transforme en un cristal uniforme qui est découpé en tranches fines afin de former la cellule photovoltaïque. La couleur de ce matériau est bleue, sans trace de cristaux ou autres.


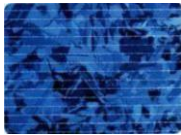
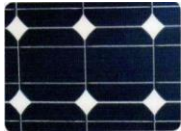

b)-Le silicium polycristallin

Pour obtenir du silicium polycristallin, on fait fondre le silicium dans un moule métallique carré et allongé, appelé lingotière. Le coloris de ce type de cellule est bleu et parsemé de motifs laissés par les cristaux. Cette particularité nous permet de reconnaître facilement cette cellule photovoltaïque.

c)-Le tellurure de cadmium

Le tellurure de cadmium (CdTe) est une autre matière première qui permet de concevoir des cellules photovoltaïques. Le procédé de fabrication emprisonne hermétiquement, entre deux supports de verre, une couche d'absorption en tellurure de cadmium. (14)

Tableau (I.1) : Rendement énergétique des différents types de cellules photovoltaïques

Type de cellules	Rendements des cellules (%)			Domaines d'applications
	Théorique	En labo	Disponible	
Silicium monocristallin 	27	24,7	14-16	Modules de grandes dimensions pour toits et façades, appareils de faibles puissances, espace (satellites)
Silicium Poly cristallin 	27	19,8	12-14	Modules de grandes dimensions pour toits et façades, générateurs de toutes tailles (reliés réseau ou sites isolés)
Silicium amorphe 	25	13	6-8	Appareils de faible puissance, production d'énergie embarquée (calculatrice, montre, de grandes dimensions (intégration dans le bâtiment)
Tellurure de Gadmiun CdTe 	28,5	16	9-11	Modules de grandes dimensions (intégrations dans le bâtiment)

I-5-les avantages et les inconvénients d'un générateur photovoltaïque

I-5-1- Avantage :

- ils sont non polluants sans émissions ou odeurs discernables.
- ils peuvent être des systèmes autonomes qui fonctionnent sûrement, sans surveillance pendant de longues périodes.
- ils n'ont besoin d'aucun raccordement à une autre source d'énergie où à un approvisionnement en carburant.

Chapitre 1 :

- ils peuvent être combinés avec d'autres sources d'énergie pour augmenter la fiabilité de système
- ils peuvent résister à des conditions atmosphériques pénibles comme la neige et la glace.
- ils ne consomment aucun combustible fossile et leur carburant est abondant et libre.
- une haute fiabilité car l'installation ne comporte pas de pièces mobiles, ce qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées, d'où son utilisation sur les engins spatiaux.
- le système modulaire de panneaux photovoltaïques permet un montage adaptable à des besoins énergétiques variés ; les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications allant du milliwatt au mégawatt.
- la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit est non polluant, silencieux, et n'entraîne aucune perturbation du milieu.
- ils ont une longue durée de vie.
- les frais et les risques de transport des énergies fossiles sont éliminés.

I-5-2- Inconvénients

- la fabrication des modules photovoltaïques relève de la haute technologie, ce qui rend le coût très élevé.
- le rendement réel d'un module photovoltaïque est de l'ordre de 10 à 15 %, et non de 10 à 15 %.
- ils sont tributaires des conditions météorologiques.
- l'énergie issue du générateur photovoltaïque est continue et de faible voltage (< à 30 V) donc il doit être transformé par l'intermédiaire d'un onduleur.
- beaucoup d'appareils vendus sur le marché fonctionnent avec du 230 V alternatif.

I-6-Future l'énergie solaire photovoltaïque en Algérie

L'Algérie s'est engagée sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile à travers le lancement d'un programme ambitieux pour le développement des énergies renouvelables qui a été adopté par le Gouvernement en février 2011 et révisée en mai 2015.

L'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable. Le programme des énergies renouvelables actualisé consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de

Chapitre 1 :

22.000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national, avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent



Figure (I .5) : répartition énergétique en Algérie

I-7-conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur l'énergie solaire. Pour cela, nous avons parlé du rayonnement solaire et leur type ensuite nous avons présenté l'énergie photovoltaïque avec leur caractéristique a été donne un à percer sur le futur de l'énergie photovoltaïque dans Algérie.

Chapitre 2

Problématique de production de la
puissance maximale

II-1 Introduction

La production d'énergie solaire photovoltaïque a un potentiel très puissant, en raison de l'absence de coût du carburant, de l'évolutivité de la puissance et de la simplicité et de la faible maintenance requises par les systèmes photovoltaïques. La quantité d'énergie solaire qui atteint la surface de la Terre en une année est mille fois plus importante que l'énergie consommée durant cette période. La capacité du photovoltaïque installée à l'échelle mondiale, a rapidement augmenté au cours de la dernière décennie. On prévoit qu'à l'avenir, un pourcentage remarquable de la consommation d'énergie mondiale proviendra des systèmes photovoltaïques [15].

II-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. [16]

II-2.1 Principe de la recherche du point de puissance maximale :

La figure (II.3) représente une chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque élémentaire associée à une commande MPPT. Pour simplifier les conditions de fonctionnement de cette commande, une charge DC est choisie. Comme nous pouvons le voir

Chapitre 2 :

sur cette chaîne, la commande MPPT est nécessairement associée à un quadripôle possédant des degrés de liberté qui permettent de pouvoir faire une adaptation entre le GPV et la charge. Dans le cas de la conversion solaire, le quadripôle 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.

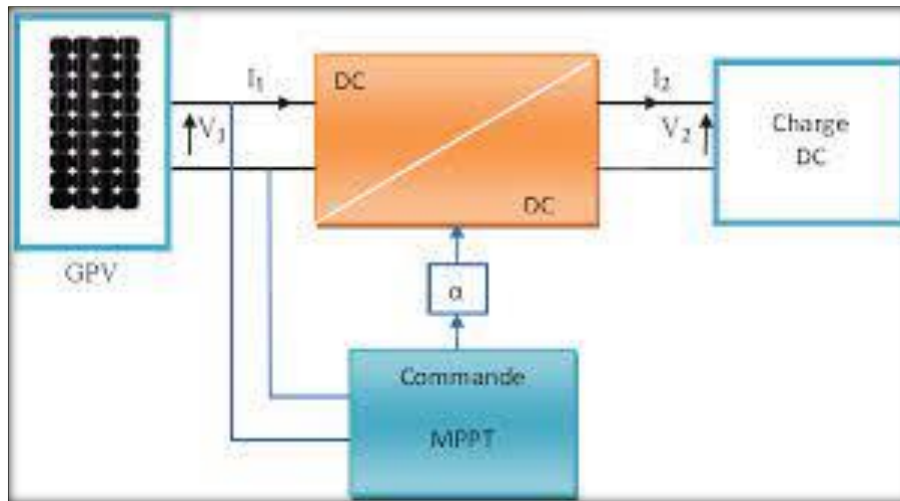


Figure (II.1): Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque

La technique de contrôle communément utilisée consiste à agir sur le rapport cyclique de manière automatique pour amener le générateur à sa valeur optimale de fonctionnement qu'elles que soient les instabilités météorologiques ou variations brutales de charges qui peuvent survenir à tout moment. La figure 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. Pour une variation d'ensoleillement (cas a), il suffit de réajuster la valeur du rapport cyclique pour converger vers le nouveau point de puissance maximum PPM2. Pour une variation de charge (cas b), on peut également constater une modification du point de fonctionnement qui peut retrouver une nouvelle position optimale grâce à l'action d'une commande

Dans une moindre mesure, un dernier cas de variation de point de fonctionnement peut se produire lié aux variations de température de fonctionnement du GPV (cas c). Bien qu'il faille également agir au niveau de la commande, cette dernière n'a pas les mêmes contraintes temporelles que les deux cas précédents. En résumé, le suivi du PPM est réalisé au moyen d'une commande spécifique nommée MPPT qui agit essentiellement sur le rapport cyclique du convertisseur statique (CS) pour rechercher et atteindre le PPM du GPV. [17]

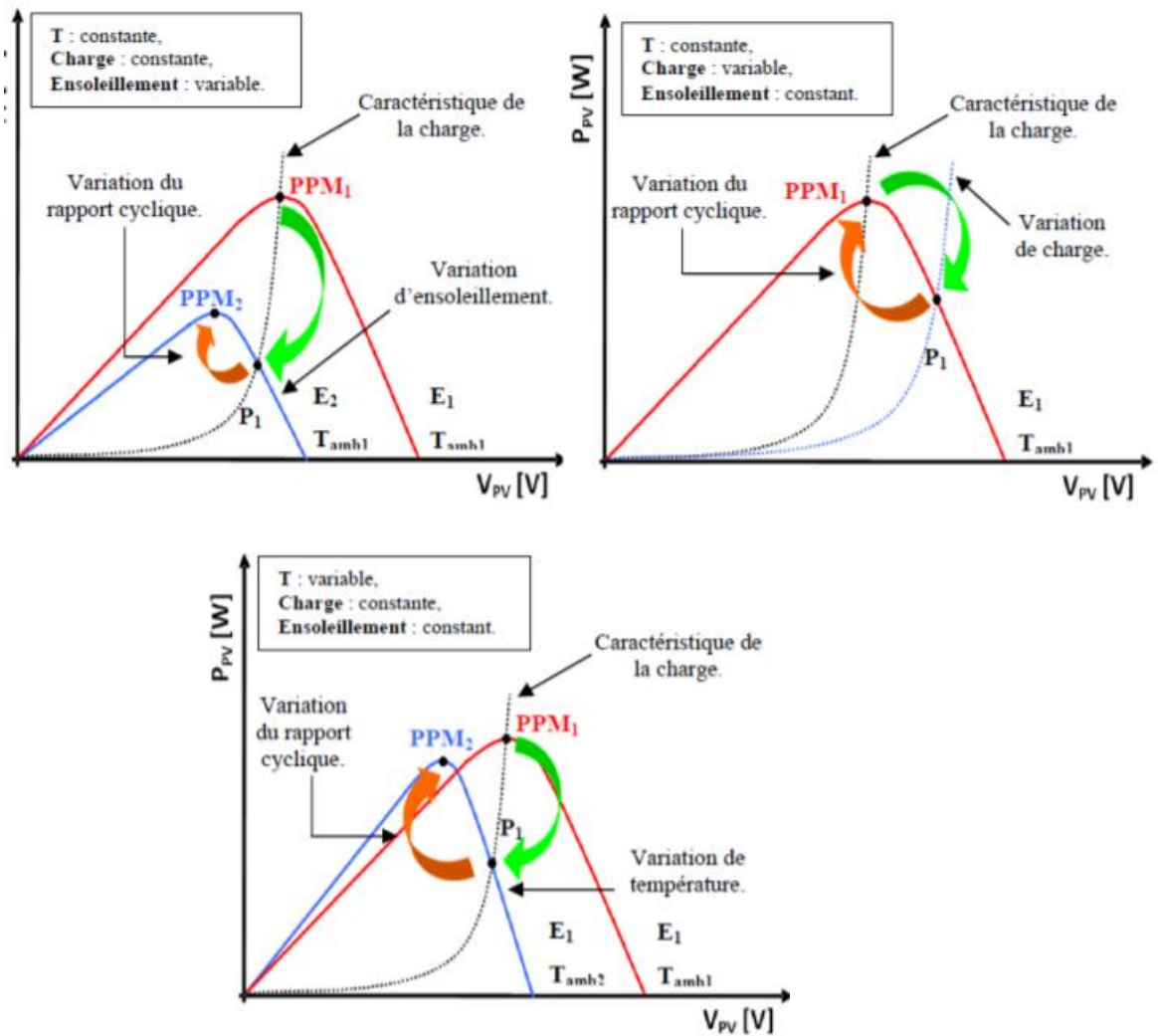


Figure (II.2) : Recherche et recouvrement du Point de Puissance Maximal : Suite à une variation d'ensoleillement (a), suite à une variation de charge(b), suite à une variation de température (c)

II-2.2 L'ombrage :

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

Chapitre 2 :

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 continu de produire [18].

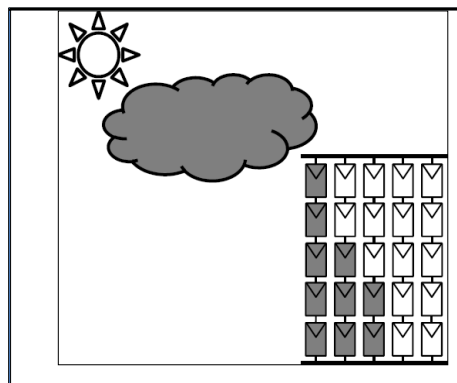


Figure (II.3) : GPV dans des conditions partiellement ombragés causés par le passage de nuage

II.2.3 -Principe de la recherche du point de puissance maximale cas ombragé :

Les conditions d'ombrage totales ou partielles ont un impact important sur la capacité de production d'énergie et peuvent entraîner des pertes. Les cellules d'un panneau solaire sont généralement connectées en série pour obtenir plus de puissance, et donc une production convenable d'électricité. Mais lorsqu'un ombrage se produit, cette structure présente certaines limites. L'énergie produite par une chaîne de cellules est déterminée par celle qui produit le moins. Lorsqu'une cellule est ombragée, l'ensemble de la série est impacté. Pour éviter les Pertes d'énergie, l'installation comprend généralement des diodes de dérivation câblées en parallèle aux cellules solaires. Lorsqu'une cellule solaire est ombragée, la diode de dérivation permette « contourner » une partie des cellules et les autres cellules peuvent ainsi générer de l'énergie à tension réduite

II.2.4 Protection des modules PV en cas d'ombrage

Pour la protection des modules on intègre des diodes dites : diodes by-pass et diodes anti-retour.

II.2.4.1 Diodes by-pass :

Il arrive fréquemment que les cellules élémentaires qui composent le module ne présentent pas toutes la même courbe caractéristique au même moment. Les raisons peuvent être multiples : variété inévitable de fabrication, défaillance, différence d'éclairement ou de température (dus par exemple à un ombrage non uniforme du module, un encrassement...). Sous certaines conditions, la cellule la plus faible peut alors se comporter comme une cellule réceptrice, dissipant la puissance générée par la cellule la plus forte. Celle-ci peut même être détruite si la contrainte ou la température devient trop importante. Pour éviter ce phénomène, on place des diodes de by-pass (empêchant tout courant ou tension inverses). Celles-ci sont placées en série lorsque les cellules sont connectées en parallèle et en parallèle lorsque les cellules sont connectées en série. Les modules aujourd'hui commercialisés comprennent généralement des diodes de protection situées en parallèle des différents strings qui le composent.

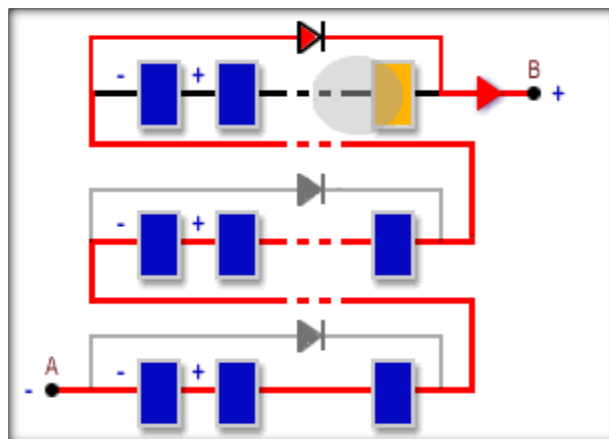


Figure (II.4) : Utilisation de la diode by-pass

L'utilisation de ces diodes by-pass induit néanmoins des perturbations de la courbe caractéristique, modifiant le point de puissance maximal du module :

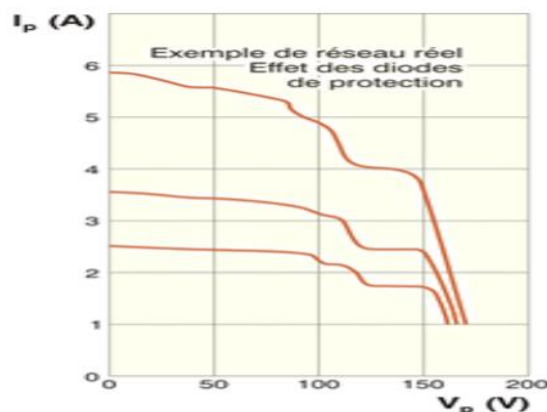


Figure (II.5) : réseau réel effet des diodes de protection

II. 3 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons étudié la problématique de production du maximum de puissance dans le cas normale (pas d'ombrage) et puis dans le cas ombrage dans un système photovoltaïque.

Chapitre3

Etude du comportement d'un générateur
photovoltaïque ombragé

III.1 Introduction :

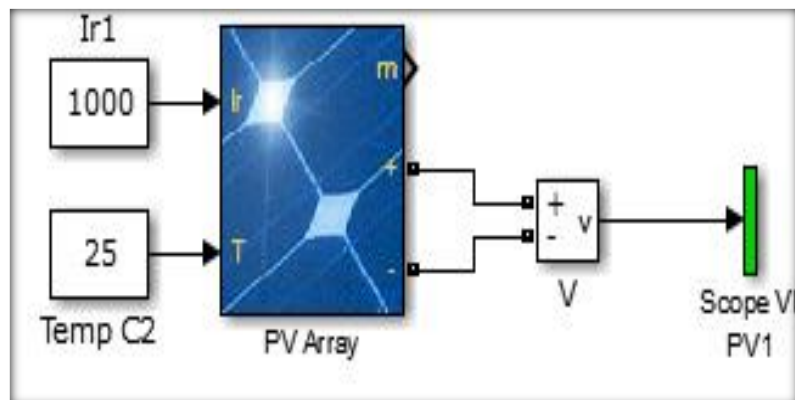
Chapitre 3 :

Le système photovoltaïque rassemble la source PV (module ou champ PV) et le consommateur d'énergie électrique avec une interface d'adaptation selon le cas d'utilisation. Dans ce chapitre, on va voir le modèle mathématique de cellule PV l'élément de base d'un module PV, et la simulation d'un module photovoltaïque pour montrer l'influence des différents paramètres sur ses caractéristiques.

Partie I : Etude de comportement d'un générateur photovoltaïque en simulation

III.2 Mesure de la tension à vide d'une cellule PV

Afin de mesurer la tension à vide d'un générateur photovoltaïque, nous connectons ce dernier à un voltmètre comme illustré dans la figure ci-dessous :



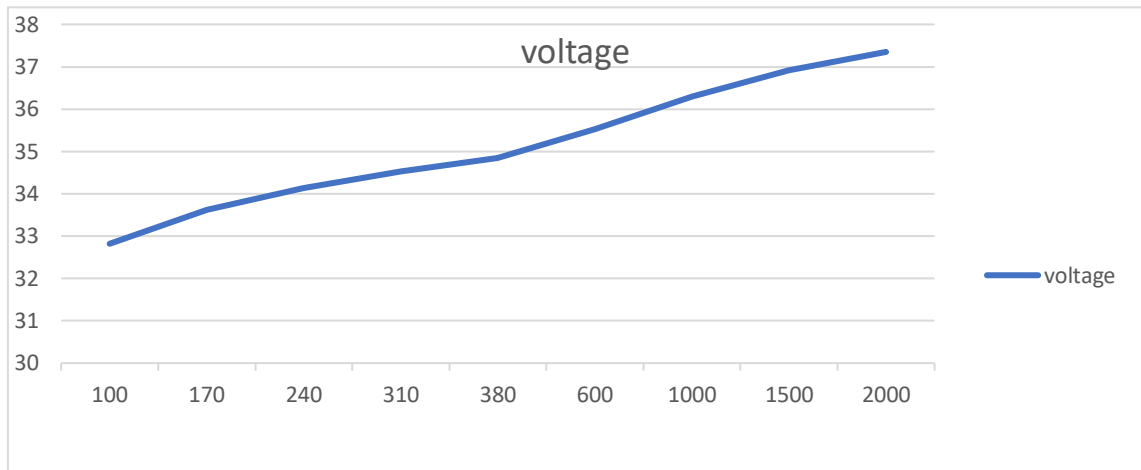
Figure(III.1) : simulation d'un panneau PV essai à vide

Afin d'étudier l'influence de radiation solaire sur la tension à vide du générateurs PV, nous choisissons différents valeurs de radiation solaire et nous mesurons par la suite la valeur de tension aux borns du GPV. Les résultats obtenus sont données dans le tableau (III.1)

Tableau (III.1) : Variation de la tension à vide en fonction de radiation solaire

RADIATION SOLAIRE	VOLTAGE
100	32.82
170	33.62
240	34.14
310	34.53
380	35.53
600	36.3
1000	36.3
1500	36.91
2000	37.35

Par la suite, nous traçons le résultat obtenu dans une courbe comme illustrée dans le figure suivante :

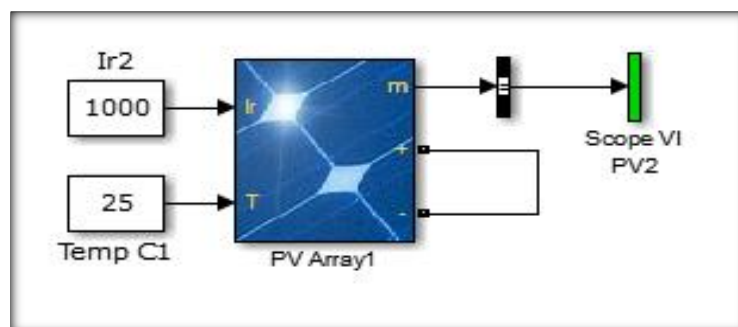


Figure(III.2) : Caractéristique voltage en fonction radiation (essai à vide)

A partir de ces résultats on peut remarqué que la tension à vide varié proportionnellement avec la radiation solaire jusqu'à une seuil de radiation solaire la tension à vide atteint sa valeur maximale malgré la croissance de valeur de radiation solaire.

III.4 Mesure du courant de court-circuit d'une cellule PV :

Afin de mesurer le courant de court-circuit d'un générateur photovoltaïque nous réalisons le montage ci-dessous. Dans ce montage on connecte la borne positive du GPV avec sa borne négative. La valeur de l'intensité de courant générée par le GPV peut être obtenue directement, sans avoir besoin d'un Ampèremètre, à partir de la sortie « m ».



Figure(III.3) : simulation d'un panneau PV essai de court-circuit

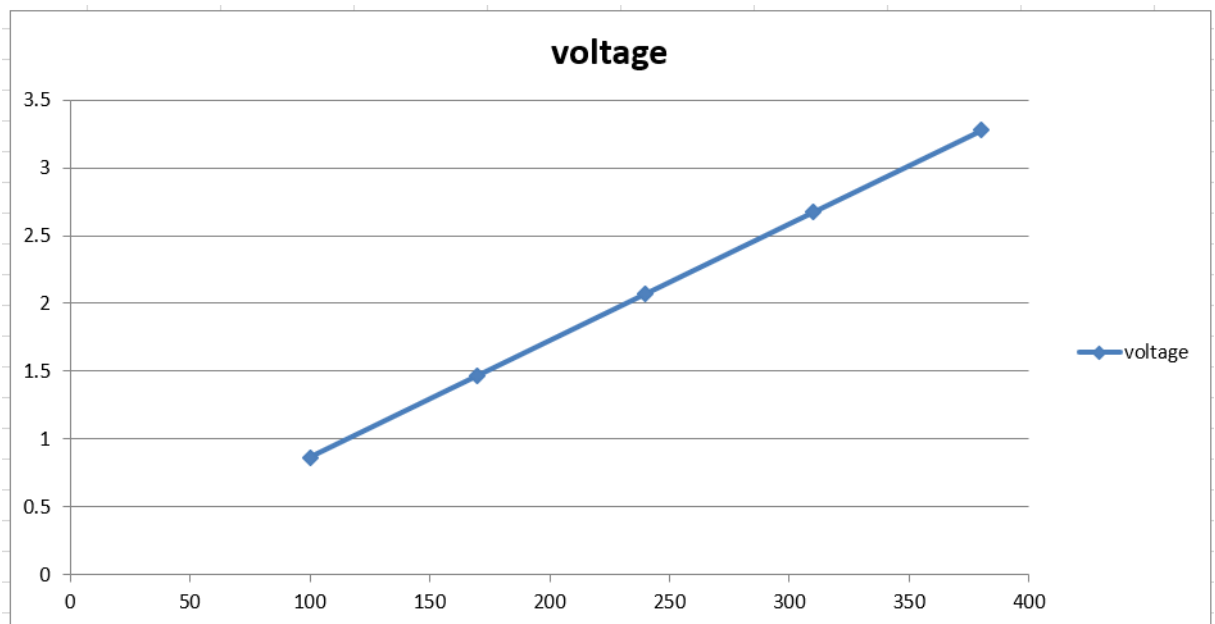
Afin d'étudier l'influence de radiation solaire sur le courant de court-circuit du GPV, nous choisissons différents valeurs de radiation solaire et nous mesurons par la suite la valeur de l'intensité du courant aux borns du GPV. Les résultats obtenus sont données dans le tableau (III.2)

Chapitre 3 :

Tableau (III.2) : Variation du courant de court-circuit en fonction de radiation solaire

RADIATION SOLAIRE	COURANT DE COURT-CIRCUIT
100	0.863
170	1.467
240	2.071
310	2.675
380	3.278

Par la suite, nous traçons le résultat obtenu dans une courbe comme illustrée dans la figure suivante :



Figure(III.4) : Caractéristique courant de court-circuit en fonction de radiation

A partir de ces résultats on peut remarquer que le courant de court-circuit varie proportionnellement avec la radiation solaire jusqu'à un seuil de radiation solaire le courant atteint une valeur maximale et ne varie plus malgré la croissance de la valeur de radiation solaire.

III.5 Mesure de la caractéristique U/I (en charge) :

Dans cette expérience, on s'intéresse à l'étude des caractéristiques P-V et I-V du GVP. Pour cela, nous réalisons le montage illustré dans la figure (III.5). Dans ce montage, nous connectons une résistance variable aux bornes du générateur et nous mesurons le courant et la tension délivrés par le générateur photovoltaïque pour différentes valeurs de résistance.

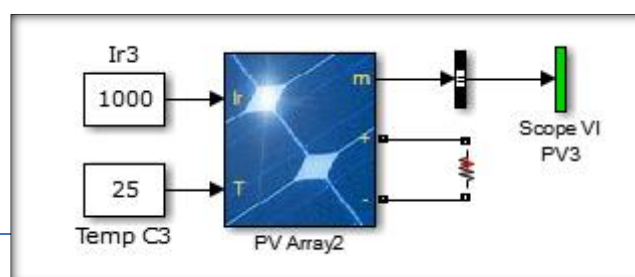


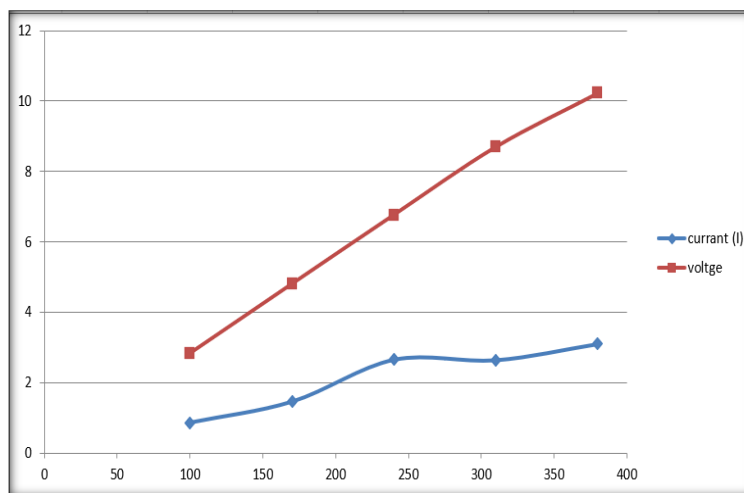
Figure (III.5) : Essai en charge

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau (III.3)

Tableau (III.3) : voltage en fonction de radiation et voltage essai en charge

A	B	C
redaction	current (I)	voltage
100	0.8598	2.836
170	1.457	4.808
240	2.651	6.768
310	2.636	8.697
380	3.097	10.22

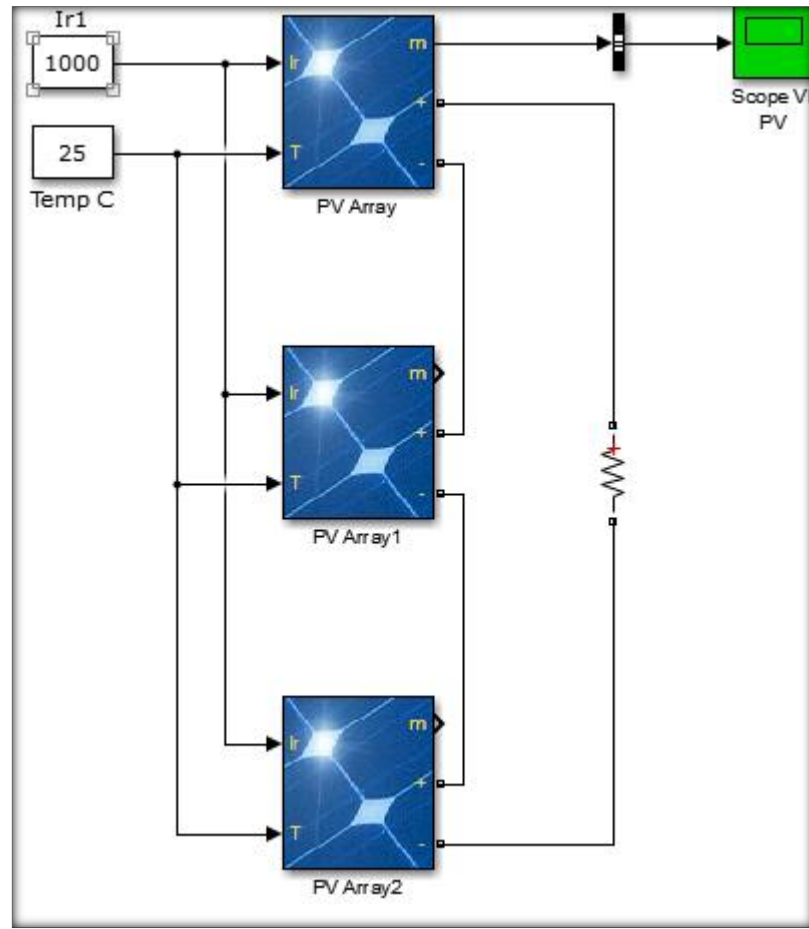
A partir des résultats, on peut tracer les courbes de courant et tension dans



Figure(III.6) : caractéristique voltage et courant en fonction radiation essai en charge

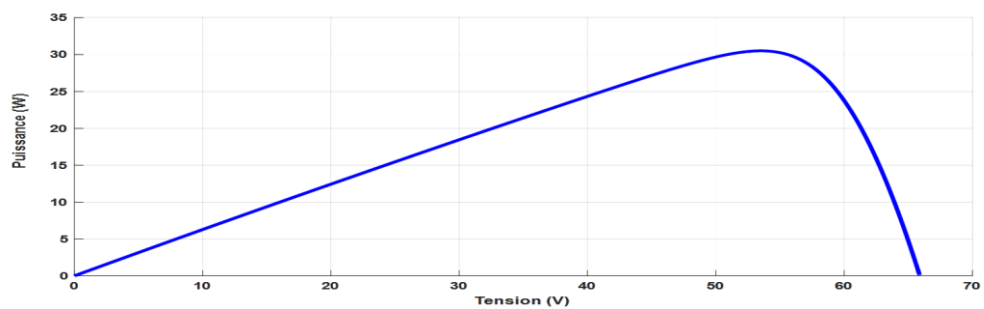
III.6 Association Montage en série non ombragé :

Dans cette essayée, on s'intéresse à l'étude de l'influence de l'association de plusieurs panneaux en série sur les caractéristiques P-V et I-V. Pour cela, nous réalisons le montage illustré dans la figure (III.5). Dans ce montage, trois panneaux sont connectés en série pour former un générateur P-V. Nous connectons une résistance variable aux bornes du générateur et nous mesurons le courant et la tension délivrés par le générateur photovoltaïque pour différents valeurs de résistance.

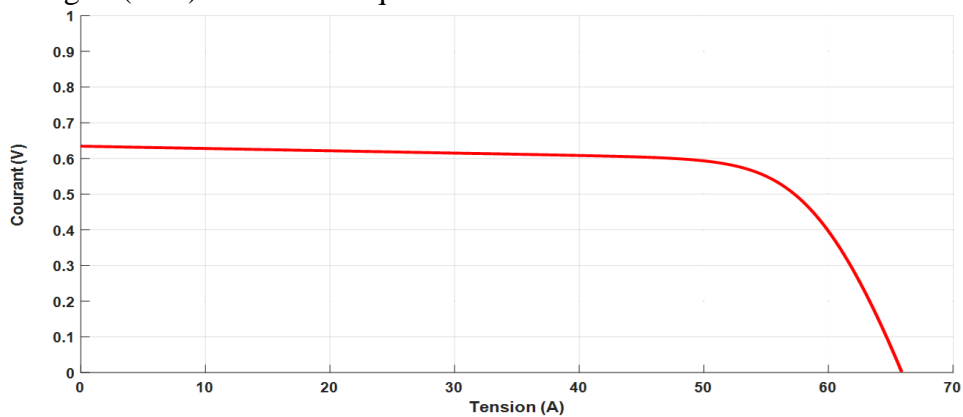


Figure(III.7): Simulation trois panneaux en série non ombragé

Les résultats obtenus sont montrés dans les figures ci-dessous :



Figure(III.8) : Caractéristique P-V de 3 modules montés en série non ombragé

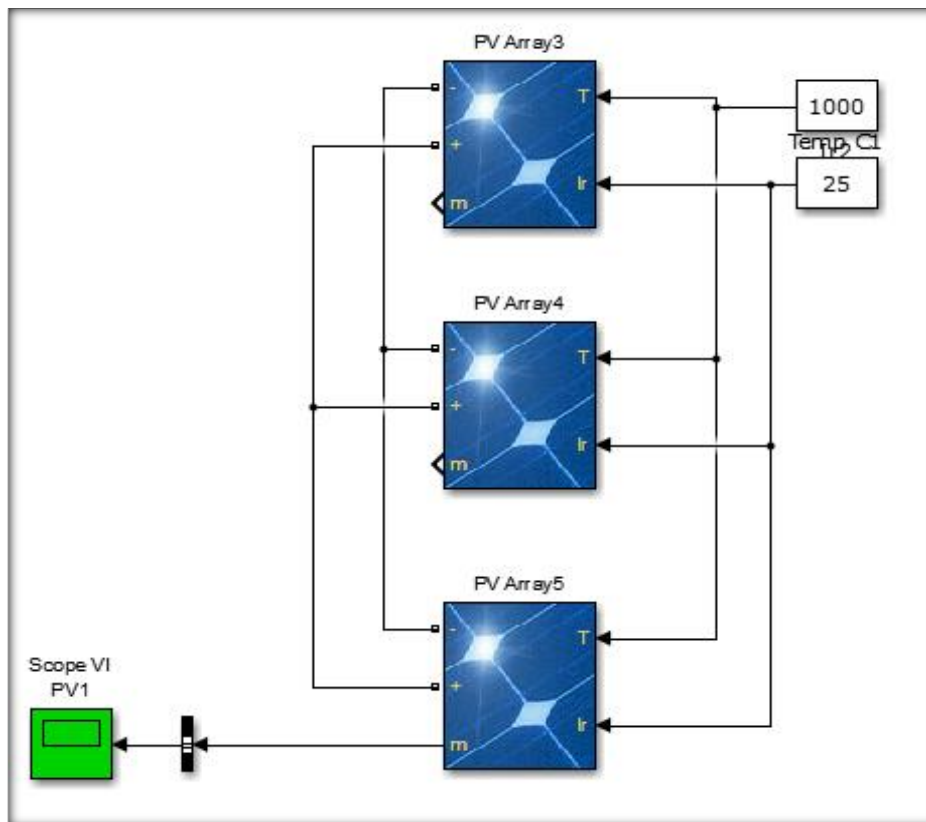


Figure(III.9) : Caractéristique I.V de 3 modules montés en série non ombragé

Ces résultats sont interprétés dans la partie pratique de ce mémoire.

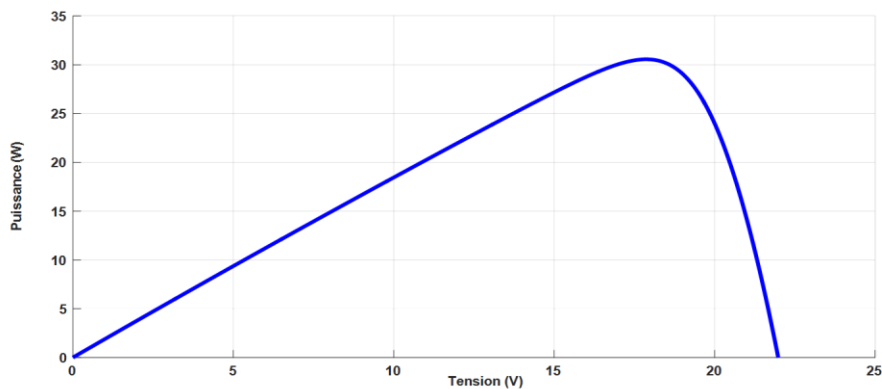
III.7 Association Montage en parallèle non ombragé :

Dans cette essayée, on s'intéresse à l'étude de l'influence de l'association de plusieurs panneaux en parallèle sur les caractéristiques P-V et I-V. Pour cela, nous réalisons le montage illustré dans la figure (III.10). Dans ce montage, trois panneaux sont connectés en parallèle pour former un générateur P-V. Nous connectons une résistance variable aux bornes du générateur et nous mesurons le courant et la tension délivrés par le générateur photovoltaïque pour différents valeurs de résistance.

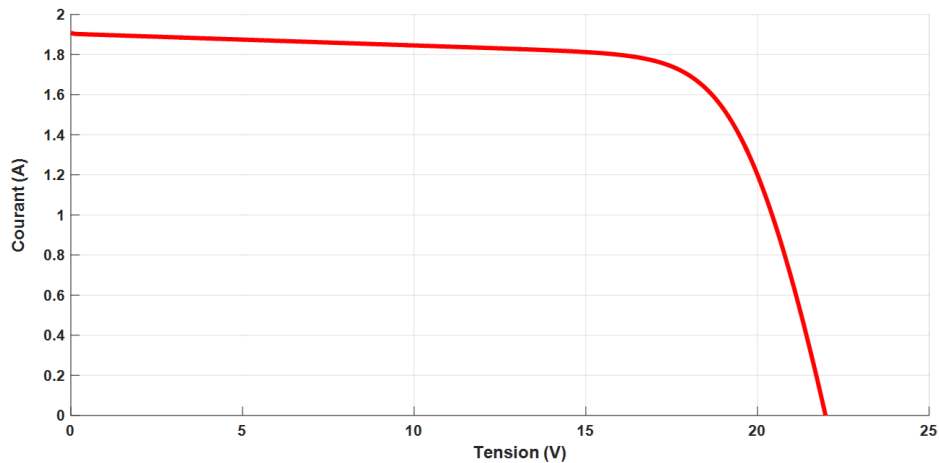


Figure(III.10): Simulation trois panneaux en parallèle non ombragé

Les résultats obtenus sont montré dans les figures ci-dessous :



Figure(III.11) : Caractéristique P-V de 3 modules montés en parallèle non ombragé

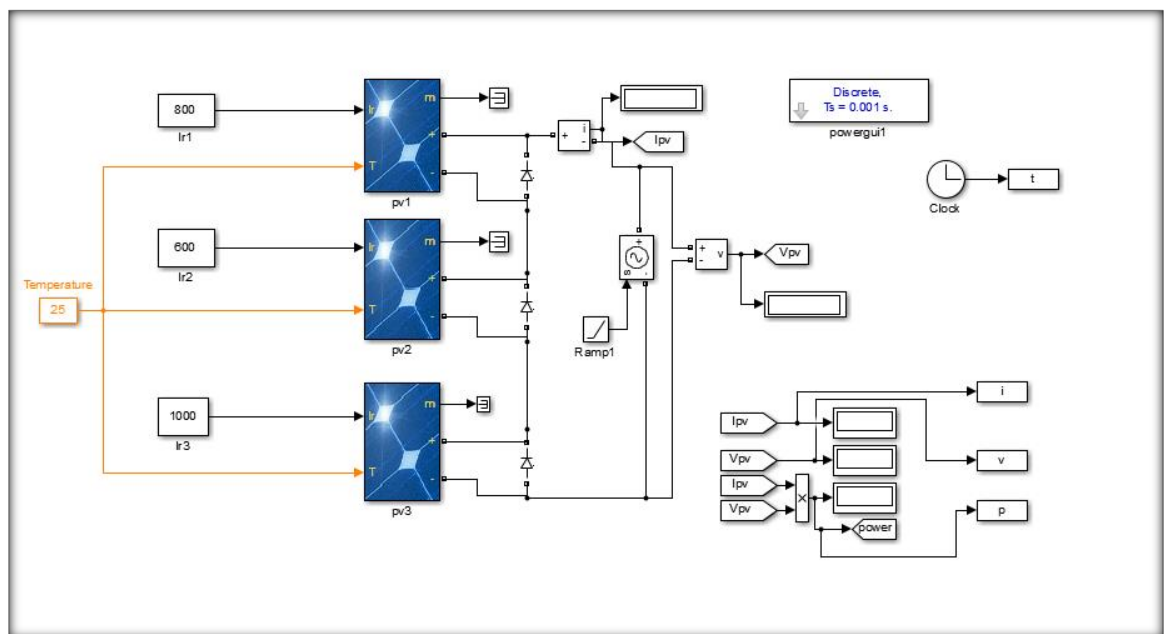


Figure(III.12) : Caractéristique I.V de 3 modules montés en parallèle non ombragés

Ces résultats sont interprétés dans la partie pratique de ce mémoire.

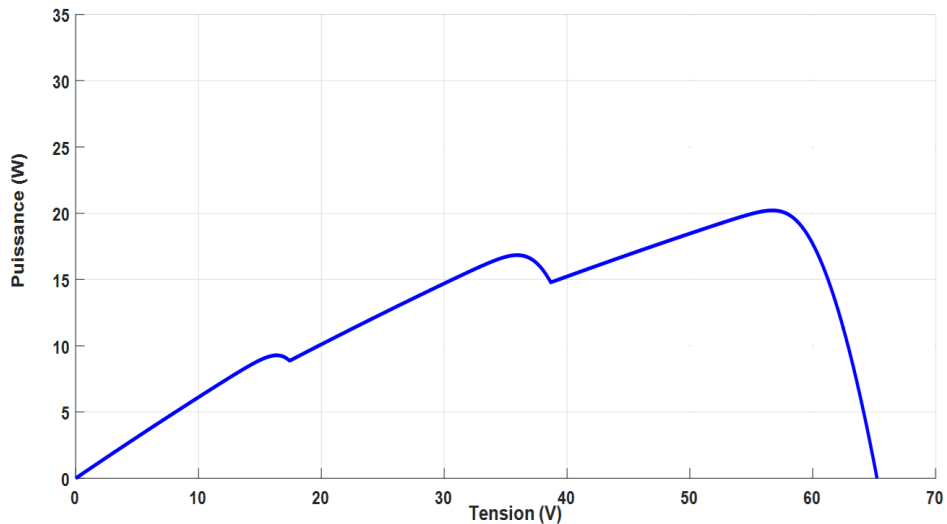
III.8 Association en série ombragé :

Dans cette essayée, on s'intéresse à l'étude de l'influence de l'association de plusieurs panneaux en série sur les caractéristiques P-V et I-V dans le cas d'un ombrage partielle. Pour cela, nous réalisons le montage illustré dans la figure (III.13). Dans ce montage, trois panneaux sont connectés en série pour former un générateur P-V. Les trois panneaux sont soumis à différentes valeur d'irradiation solaire (800,600 et 1000). Nous connectons une résistance variable aux bornes du générateur et nous mesurons le courant et la tension délivrés par le générateur photovoltaïque pour différents valeurs de résistance afin de tracer les caractéristiques P-V et I-V.

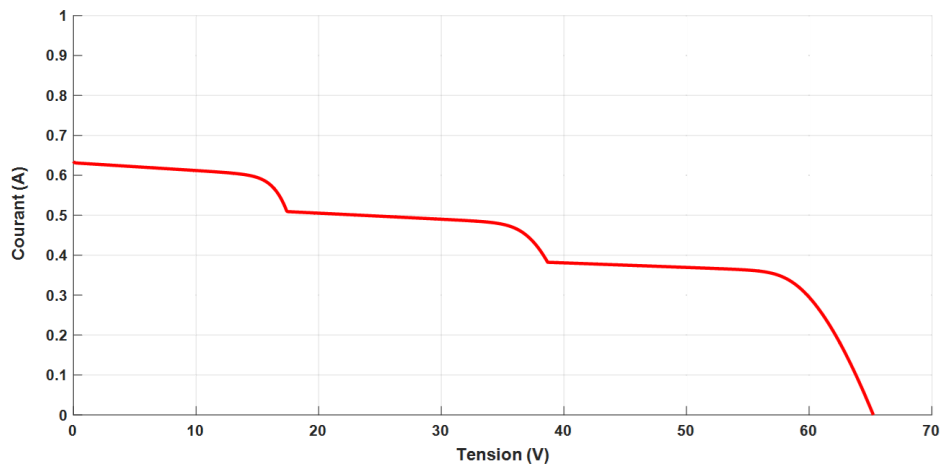


Figure(III.13): Simulation de trois panneaux en série ombragé

Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures suivantes :



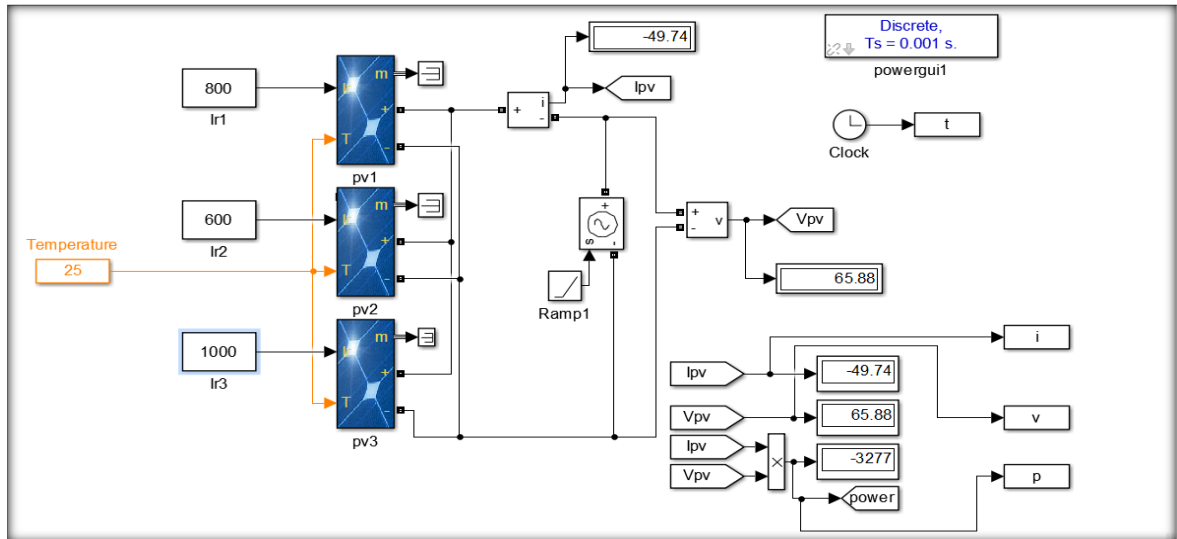
Figure(III.14): Caractéristique P-V de 3 modules ombragés monté en série



Figure(III.15): Caractéristique I.V de 3 modules ombragés monté en série

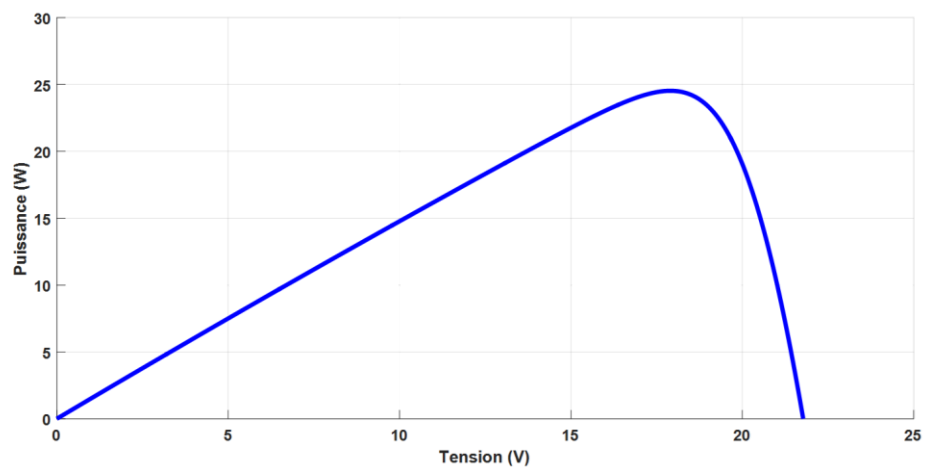
III.9 Association Montage en parallèle ombragé :

Dans cette essayée, on s'intéresse à l'étude de l'influence de l'association de plusieurs panneaux en parallèle sur les caractéristiques P-V et I-V dans le cas d'un ombrage partielle. Pour cela, nous réalisons le montage illustré dans la figure (III.16). Dans ce montage, trois panneaux sont connectés en parallèle pour former un générateur P-V. Les trois panneaux sont soumis à différentes valeurs d'irradiation solaire (800,600 et 1000). Nous connectons une résistance variable aux bornes du générateur et nous mesurons le courant et la tension délivrés par le générateur photovoltaïque pour différents valeurs de résistance afin de tracer les caractéristiques P-V et I-V.

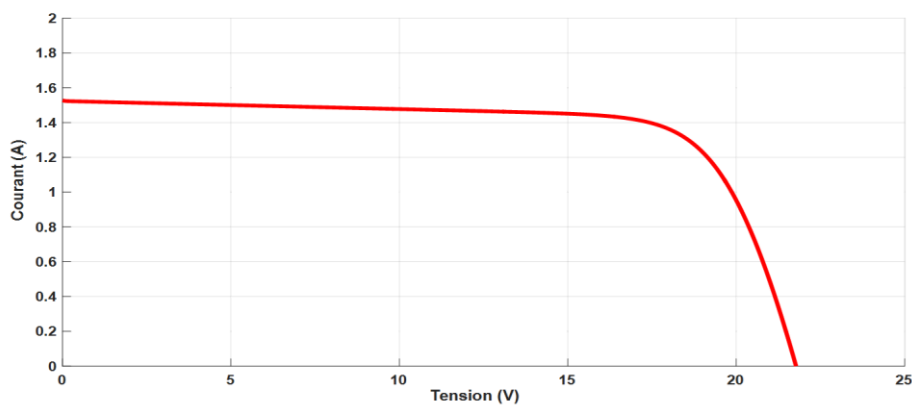


Figure(III.16): simulation trois panneaux en parallèle ombragé

Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures suivantes ::



Figure(III.17): Caractéristique P-V de 3 modules ombragés monté en parallèle



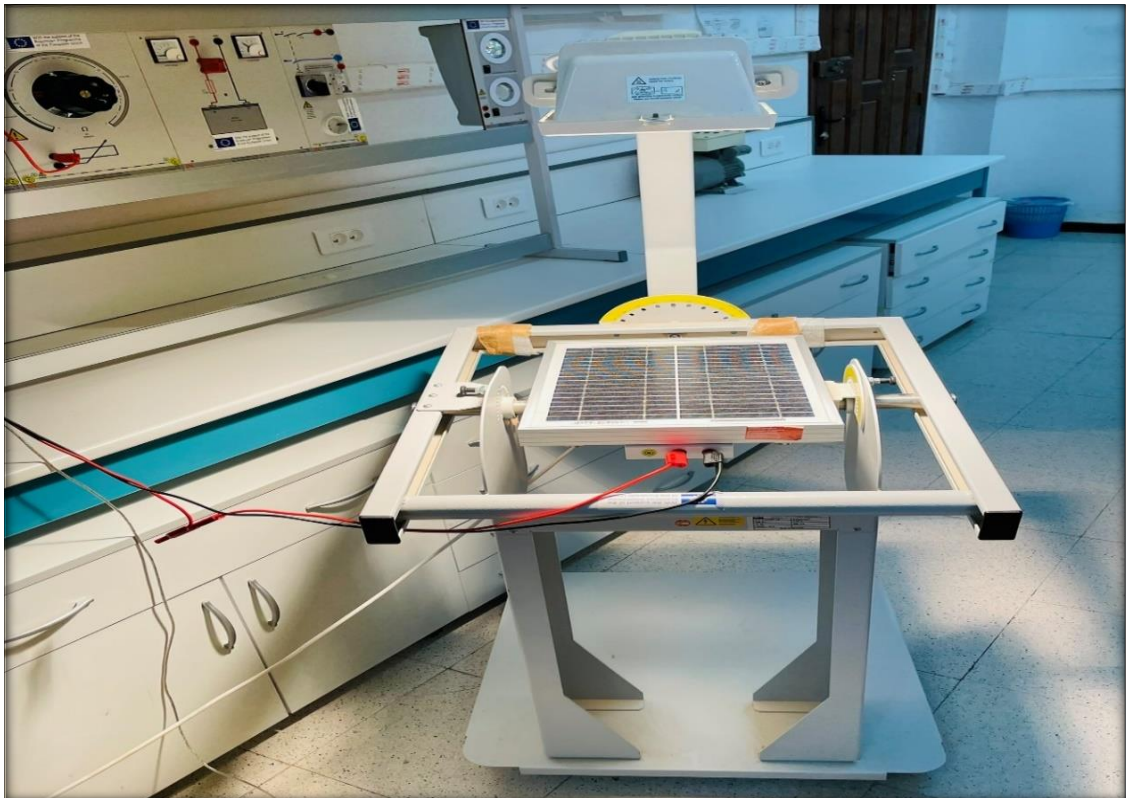
Figure(III.18): Caractéristique I.V de 3 modules ombragés monté en parallèle

Partie 02 : Etude de comportement d'un générateur photovoltaïque en pratique

III.1 mesure Tension à vide d'une cellule PV

Dans l'expérience suivante, nous avons étudié le rapport entre la tension à vide V_{OC} d'un module solaire et l'intensité de rayonnement à l'aide du multimètre analogique/numérique. La figure suivante illustre le montage réalisé au laboratoire

Figure(III.19) : Mésure de la tension à vide



Méthode de travail :

Nous avons divisé le parcours de déplacement du variateur par quatre intensités de rayonnement la plus faible se situe en position 0/4 et la plus forte en position 4/4 et La lampe halogène doit se situer à la perpendiculaire du module solaire



Figure(III.20) : Variateur de lumière (Emulateur Solaire)

Après avoir terminé les mesures, passez de la vue du tableau à celle du diagramme.

Tableau (III.4) : tension v en fonction intensité de rayonnement

Position du variateur	Intensité de rayonnement...	tension à vide [V]
	0	0,00
0/4	100	10,79
1/4	170	19,56
2/4	240	20,17
3/4	310	20,69
4/4	380	21,38

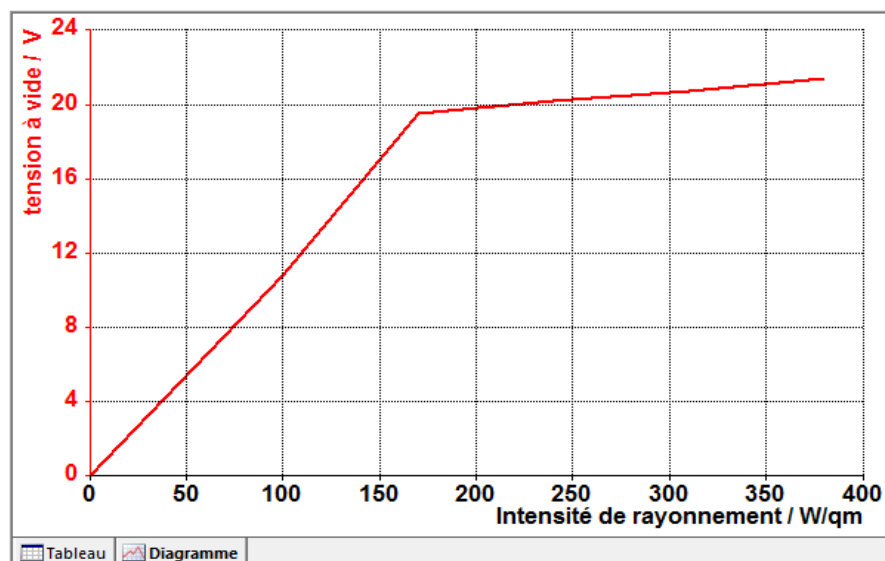


Figure (III.21) : caractéristique tension intensité rayonnement pour l'essai à vide

III.11 mesures courant de court-circuit d'une cellule PV

Dans cette expérience, nous avons étudié le rapport entre le courant de court-circuit ISC d'un module solaire et l'intensité de rayonnement à l'aide du multimètre analogique/numérique. Le montage réalisé est illustré dans la figure ci-après



Figure (III.22) : caractéristique tension v/intensité rayonnement essai à vide

Méthode de travail :

Nous avons divisé le parcours de déplacement du variateur par quatre intensités de rayonnement la plus faible se situe en position 0/4 et la plus forte en position 4/4 et La lampe halogène doit se situer à la perpendiculaire du module solaire et Sur le multimètre analogique/numérique, sélectionnez l'affichage du courant en pressant la touche I

Après avoir terminé les mesures, passez de la vue du tableau à celle du diagramme.

Tableau (III.5) : Variation de l'intensité de courant en fonction l'intensité de rayonnement

Position du variateur	Intensité de rayonnement [W/qm]	courant de court-circuit [mA]
	0	0
0/4	100	30
1/4	170	40
2/4	240	100
3/4	310	170
4/4	380	190

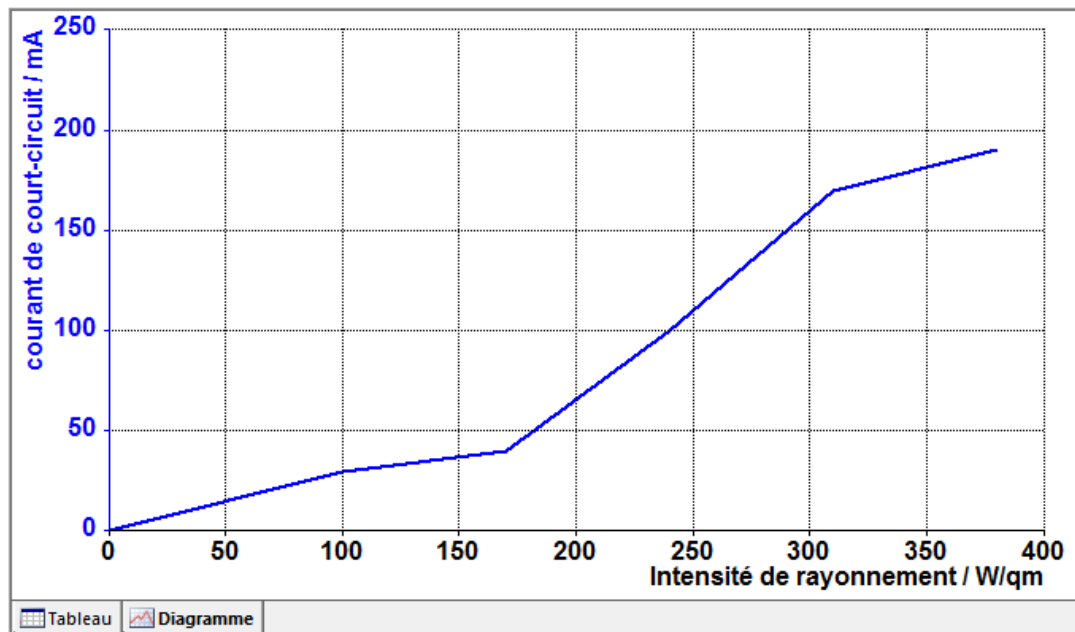


Figure (III.23) : caractéristique courant I / intensité rayonnement

III. 12 Mesure de la caractéristique U/I (en charge) :

Dans cette expérience, nous avons utilisé l'enregistreur X/Y pour relever les caractéristiques U/I avec différentes intensités de rayonnement. Afin d'obtenir plusieurs points de mesure, on branche une résistance de charge variable (potentiomètre). Le montage réalisé est illustré dans la figure suivante :

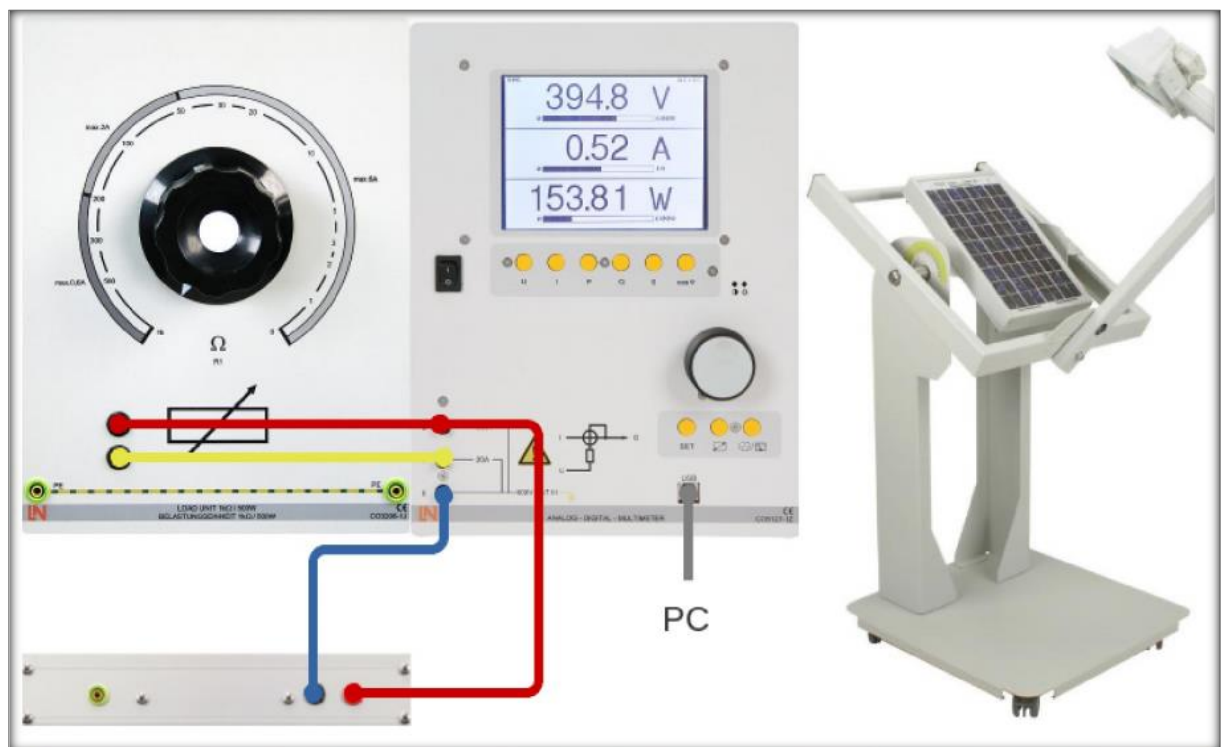


Figure (III.24) : essai en charge

Chapitre 3 :

Par la suite, nous avons réglé les paramètres suivants :

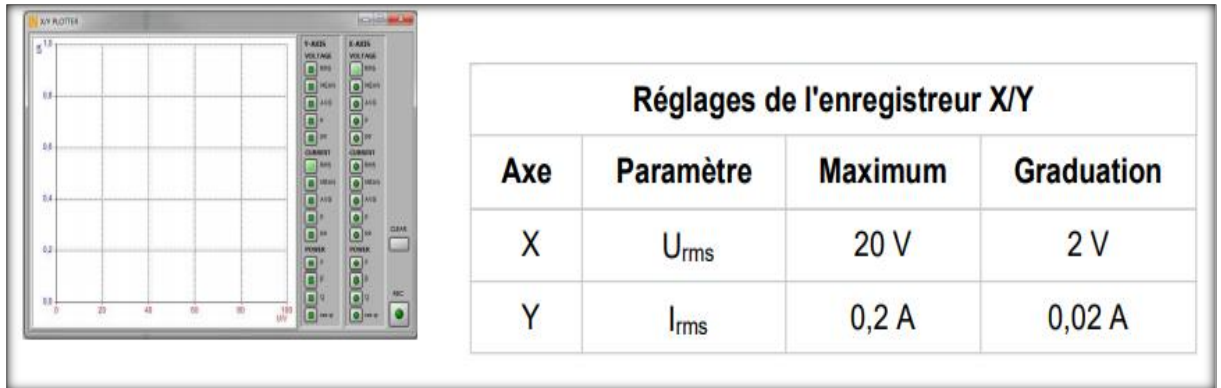


Figure (III.25) : Paramètres de réglage de l'enregistreur X/Y essai en charge

Et nous avons choisit le calibre suivant :

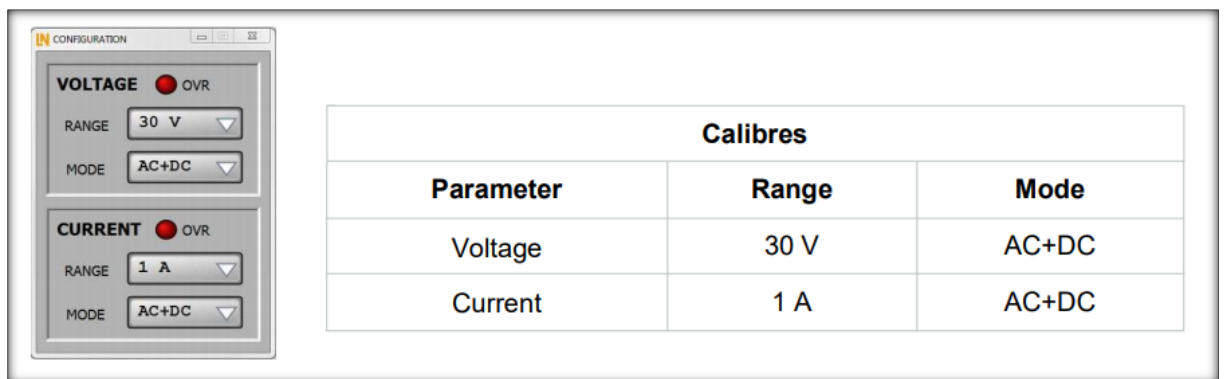


Figure (III.26) : Calibre essai en charge

Méthode de travail :

Nous avons réglé le potentiomètre sur 0Ω et puis nous avons fait tourner lentement le jusqu'à la valeur de résistance maximale. La caractéristique obtenue est illustré dans la figure (III.27)

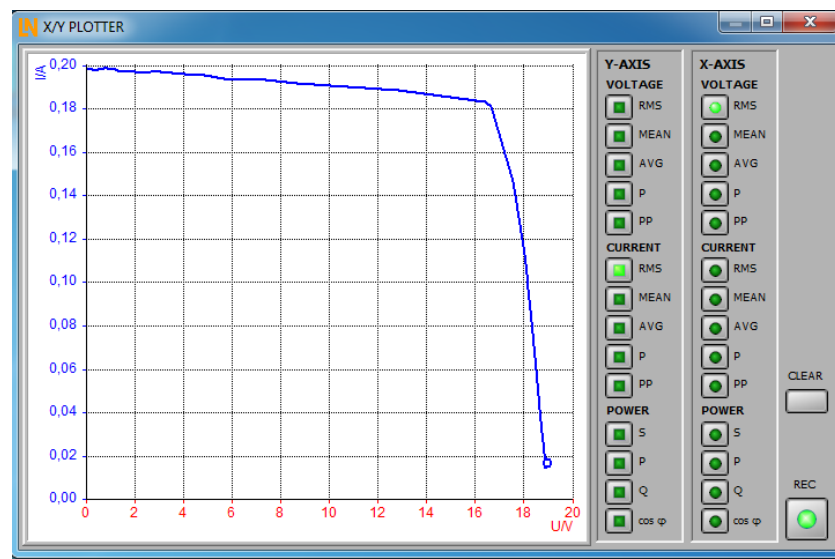


Figure (III.27) : caractéristique I/V essai en charge

III.13 Association en série non ombragé :

Dans cette expérience, nous allons étudier le montage en série des modules solaires

Nous relèverons plusieurs caractéristiques U/I de modules solaires montés en série

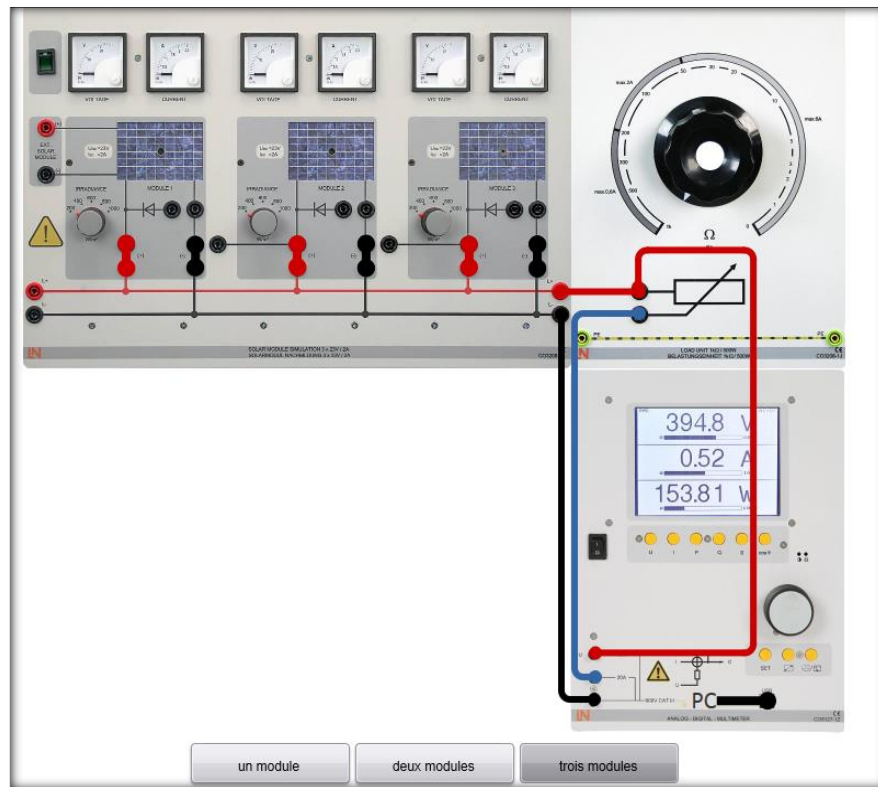


Figure (III.28) : Trois modules en série non ombrage



Figure (III.29) : Photo réelle de montage série non ombrage

Chapitre 3 :

Pour cela, nous avons réalisé le montage illustré dans les figures (III.28)-(III.29). Par la suite, nous avons réglé les paramètres d'enregistreur suivants :

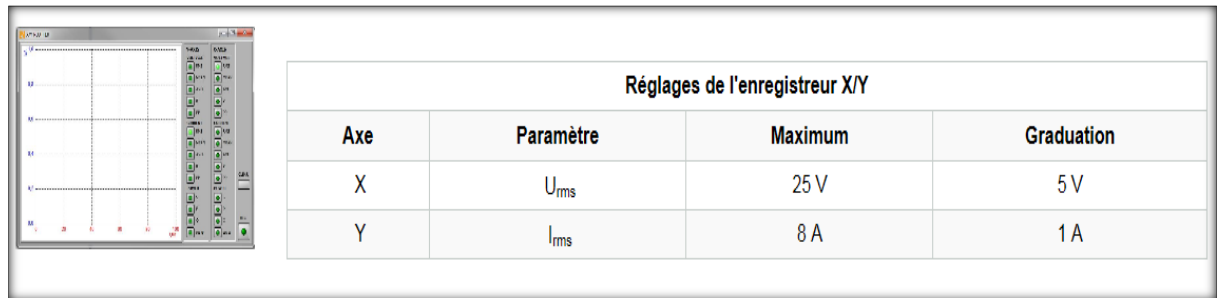


Figure (III.30) : paramètres de réglage de l'enregistreur X/Y 3 modules en série non ombrage
Ainsi, nous avons choisis le calibre suivant:

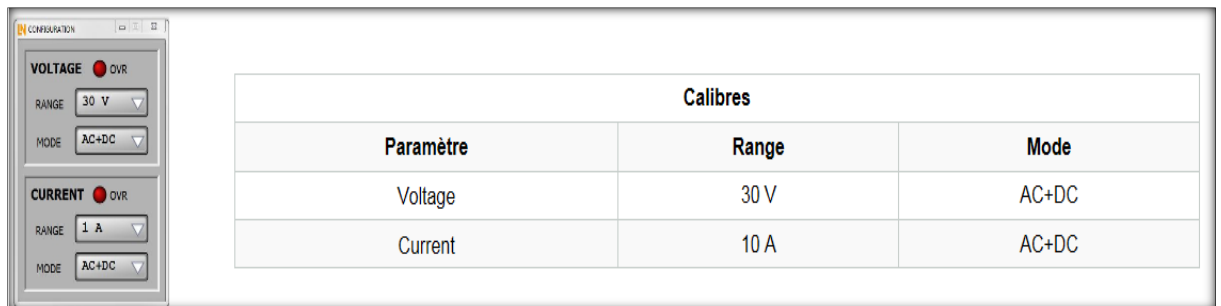


Figure (III.31) : calibre de 3 modules en série non ombrage

Méthode de travail :

Nous Réglons sur tous les modules solaires une intensité de rayonnement de 1000 W/m² et nous réglons le potentiomètre sur 0 Ω et puis nous tournons lentement le potentiomètre jusqu'à la valeur de résistance maximale. Nous obtenons sur l'enregistreur la caractéristique donnée dans la figure (III.32).

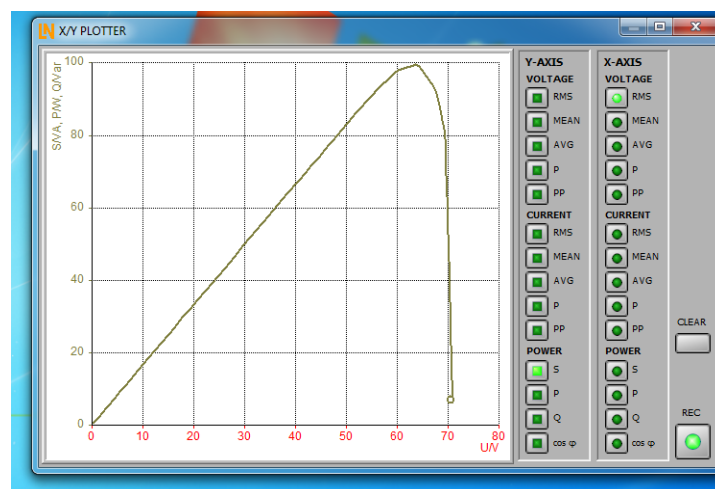


Figure (III.32) : caractéristique S/V série non ombragé

III.14 Association en parallèle non ombragé :

Dans cette expérience, nous allons étudier le montage en parallèle des modules solaires dans le cas d'ombrage. Pour cela, nous réalisons le montage illustré dans les figures (III.33)-(III.34).

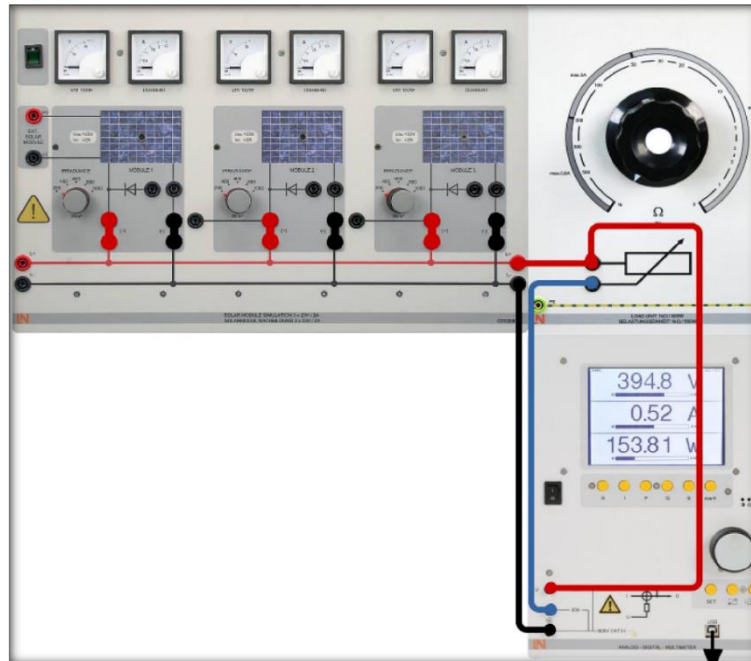


Figure (III.33) : 3 modules en parallèle non ombragé

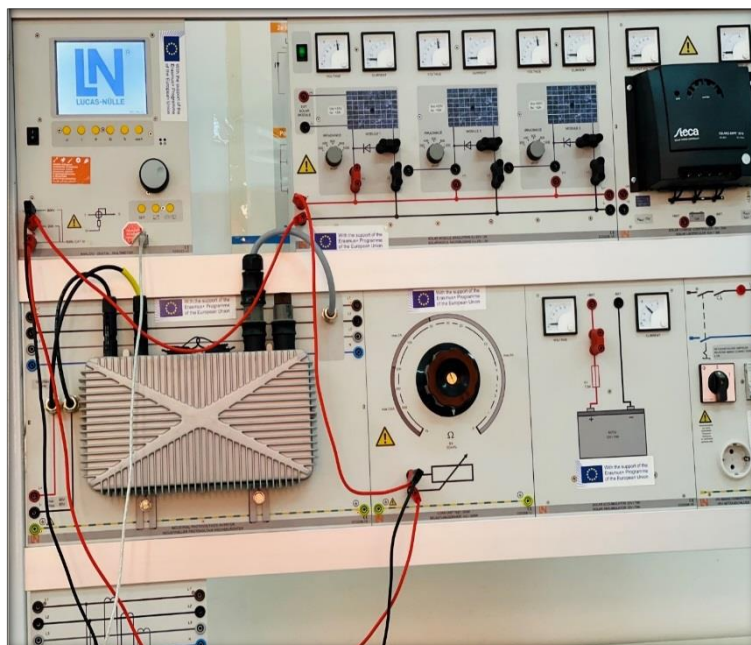


Figure (III.34) : photo réelle de 3 modules en parallèle non ombragé

Chapitre 3 :

Par la suite, nous avons réglé les paramètres de l'enregistreur suivants :

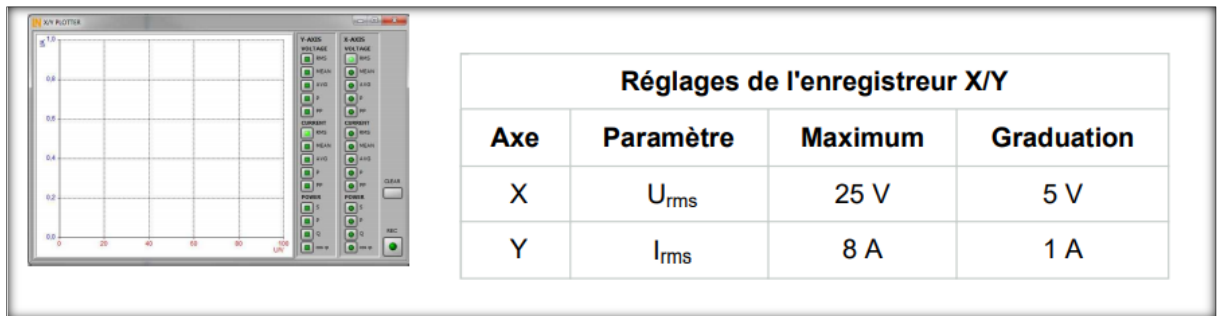


Figure (III.35) : 3 modules en parallèle non ombrage

Et nous avons choisit le calibre suivant:

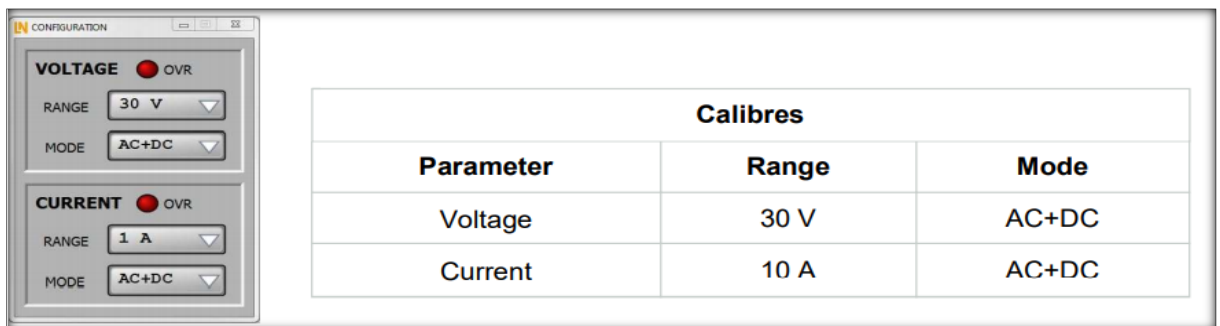


Figure (III.36) : calibre de 3 modules en parallèle non ombrage

Méthode de travail :

Nous réglons sur tous les modules solaires une intensité de rayonnement de 1000 W/m² et nous réglons le potentiomètre sur la position 0 Ω et puis nous tournons lentement le potentiomètre jusqu'à la valeur maximale.

Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures suivantes :

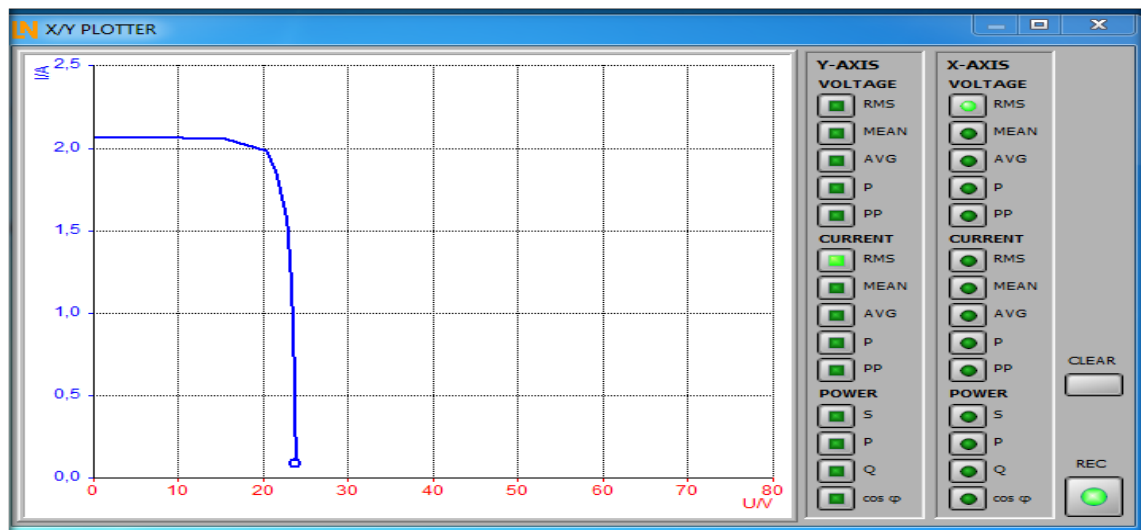


Figure (III.37) : caractéristique I/V parallèle non ombragé

III.15 Association sérié ombragé :

Dans cette expérience, nous avons étudié le comportement d'un module solaire en cas d'ombrage. Le module est monté en série avec deux autres. Nous avons réglé les paramètres de l'enregistreur suivants :

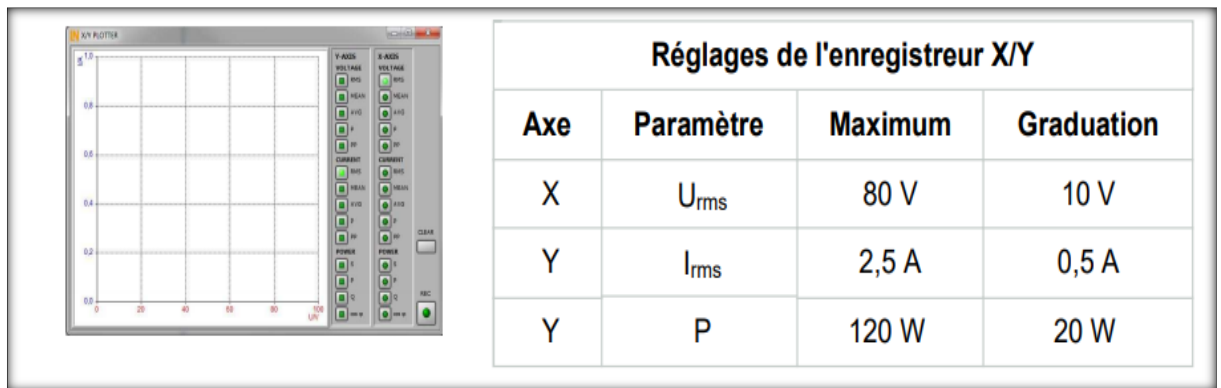


Figure (III.38) : paramètres de réglage de l'enregistreur X/Y 3 modules en sérié ombrage

Et nous choisissons le calibre suivant

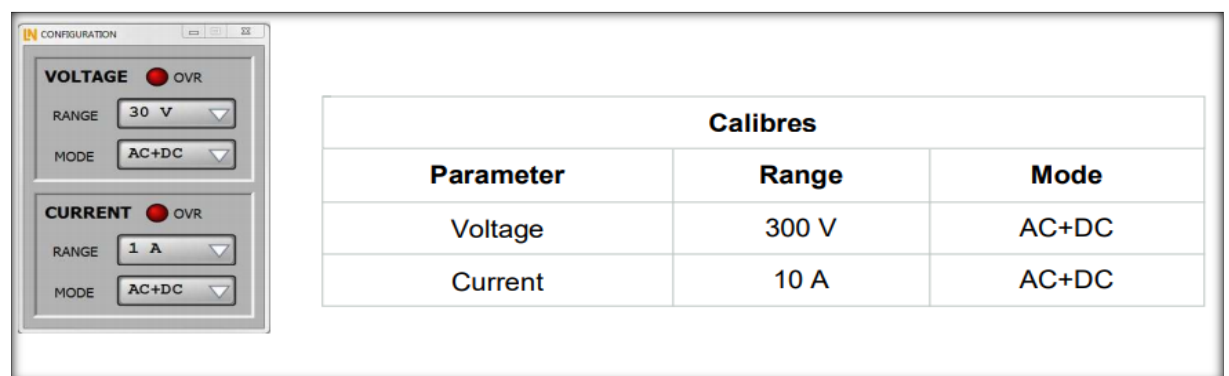


Figure (III.39) : calibre de 3 modules en sérié ombrage

Méthode de travail :

Nous avons Réglé le potentiomètre sur 0Ω et puis on tourne lentement le potentiomètre jusqu'à la valeur de résistance maximale et nous réduisons l'intensité de rayonnement du deuxième module solaire de 1000 à 200 W/m^2 .

Les résultats obtenus sont illustré dans la figure (III.40) .

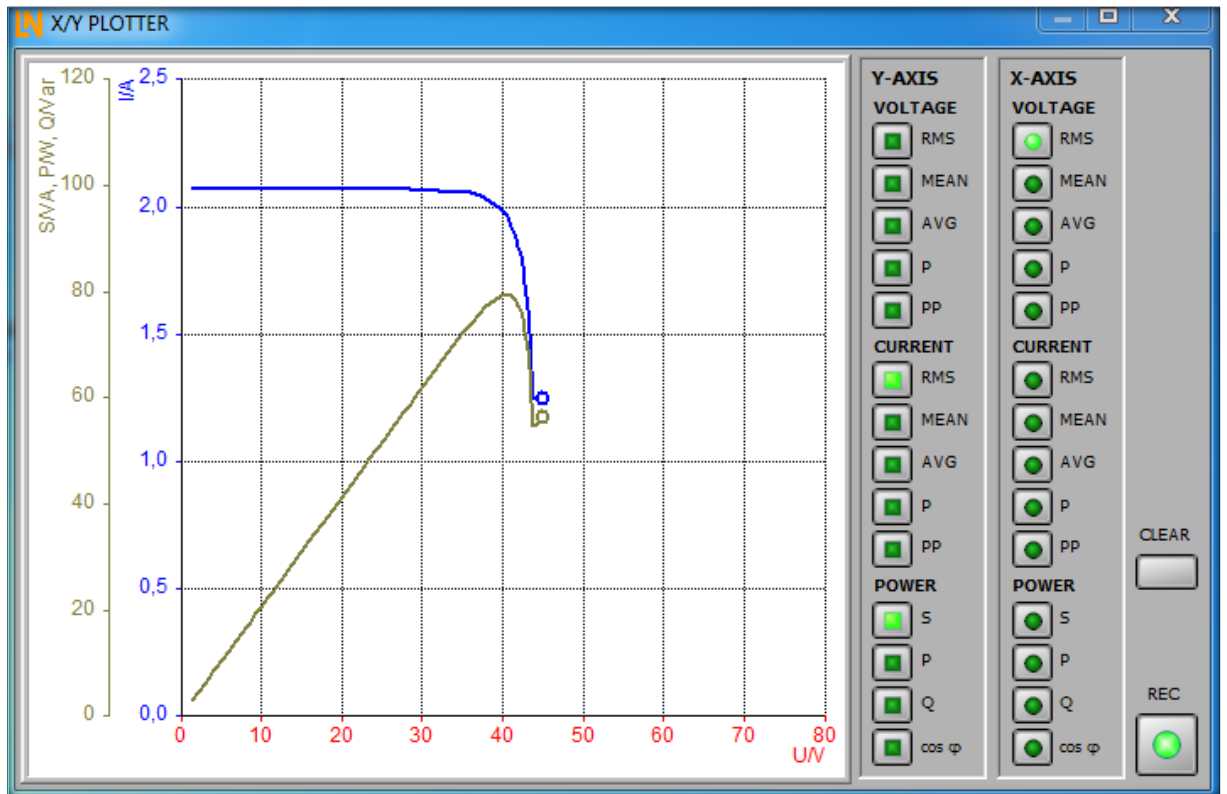


Figure (III.40) : caractéristique S/V série ombrage

III.16 Association en parallèle ombragé :

Dans cette expérience, nous avons étudié plus en détail le comportement de modules solaires ombragé sur un montage en parallèle. Pour cela nous avons choisit les paramètres de l'enregistreur suivants :

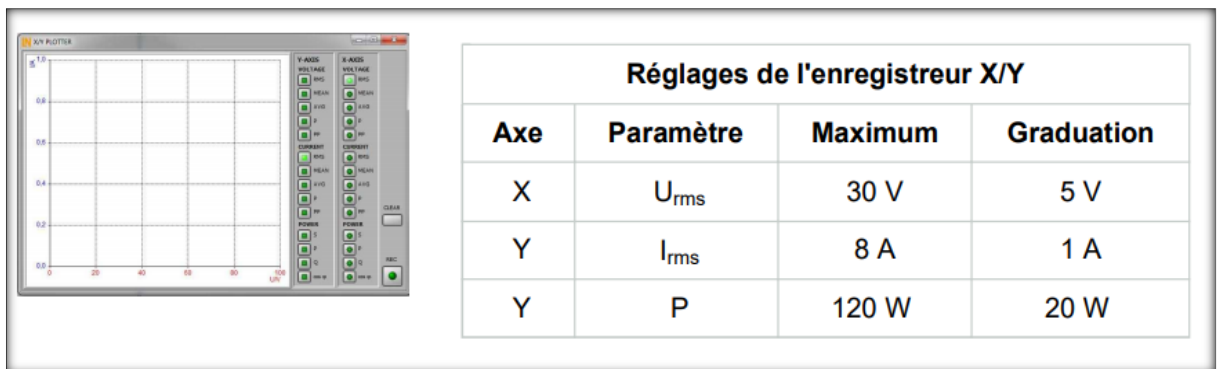


Figure (III.41) : Paramètres de réglage de l'enregistreur X/Y 3 modules en parallèle ombrage

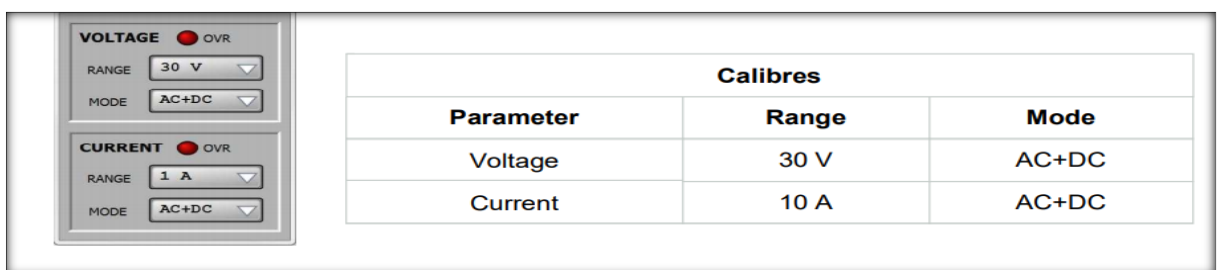


Figure (III.42) : calibre de 3 modules en parallèle ombrage

Méthode de travail :

Nous avons réglé le potentiomètre sur 0Ω , puis, on tourne lentement le potentiomètre jusqu'à la valeur de résistance maximale. La radiation solaire des deuxième module solaire est choisit 200 W/m^2 . Par la suite, nous avons réglé le multimètre pour afficher la puissance et le courant et la tension. Les résultats obtenus sont illustré dans la figure (III.43).



Figure (III.43) : caractéristique S/V parallèle ombrage

III.17 conclusions

Dans ce chapitre nous avons étudié le comportement d'un GPV dans divers condition de fonctionnements. Une simulation des caractéristiques (I, V) et (P, V) pour la mise en série de trois Gpv en série et en parallèle sous les conditions d'ombrage a été effectuée sous l'environnement Matlab/Simulink. Il est constaté que l'effet de l'ombrage sur les panneaux relies en série est important que les panneaux relies en parallèle. L'influence de l'ombrage sur les caractéristiques donne une modification importante sur le facteur de forme. En conséquence le rendement du GPV est affecté.

Il est constaté aussi que le taux d'augmentation d'ombrage déplace le point de puissance maximum à des tensions 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. La prise en compte de la problématique causée par l'ombrage est primordiale pour une meilleure intégration des systèmes dans le

Chapitre 3 :

bâti et pour augmenter la rentabilité économique de tels systèmes.

Chapitre4

Extraction de la puissance maximale
dans le cas d'ombrage partiel

IV. 1 INTRODUCTION

L'énergie photovoltaïque issue de la conversion de l'énergie solaire souffre d'un problème d'optimisation, dû aux caractéristiques électriques non linéaires (courant - tension) des cellules photovoltaïques. Ces caractéristiques dépendent essentiellement des conditions climatiques de rayonnement et de température. L'extraction de la puissance maximale d'un ensemble de ces cellules dite 'Stratégie MPPT' (Maximum Power Point Tracking) permet d'une manière efficace de résoudre ce problème d'optimisation. Parmi les stratégies MPPT les plus utilisées, on cite par exemple :

- Les méthodes classique : la méthode de la conductance incrémentale (INC) et celle de la perturbation et observation (P&O) traditionnelle.
- Les méthodes évoluées ; la méthode d'Escalade de la Colline (Hill Climbing).

IV. 2 Algorithme Perturbation et Observation (P&O) :

La méthode Perturbation & Observation (P&O) est l'une des méthodes les plus utilisées. C'est une méthode itérative permettant d'obtenir le point de puissance maximale, elle exige seulement des mesures sur la tension et le courant de sortie du panneau solaire. Comme son nom indique cette méthode fonctionne par la perturbation de la tension V du système en agissant directement sur le rapport cyclique puis l'observation de l'effet de cette perturbation sur la puissance de sortie de panneau solaire [19] [20].

La tension aux bornes du panneau solaire est volontairement perturbée (augmentée ou diminuée) puis la puissance est comparée à celle obtenue avant perturbation. Si la puissance délivrée par le panneau est augmentée du fait de la perturbation, la perturbation suivante est faite dans la même direction. Réciproquement, si la puissance diminue la nouvelle perturbation est réalisée dans le sens opposé.

IV.2.1 Principe de la méthode

La Figure (IV.1) les 4 options possibles présentées lors du suivi du MPP, le point1 étant la position précédente et le point 2 la position actuelle de chaque cas (A, B, C et D).

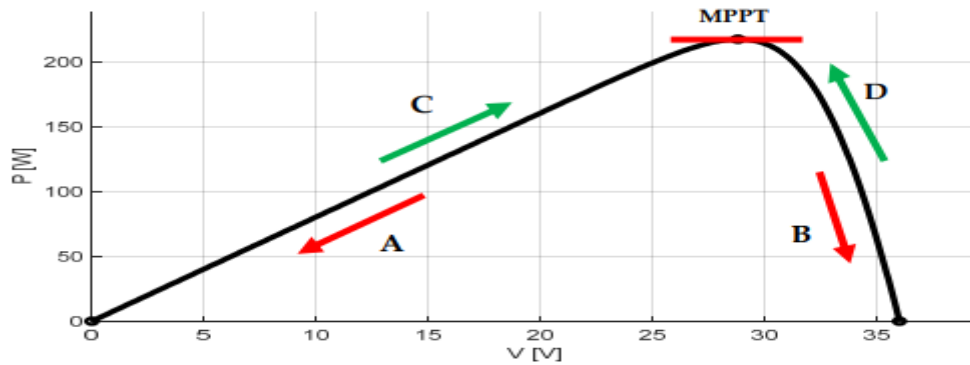
- CasA : $\Delta P < 0$ et $\Delta V < 0$
- CasB : $\Delta P < 0$ et $\Delta V > 0$
- CasC : $\Delta P > 0$ et $\Delta V > 0$
- CasD : $\Delta P > 0$ et $\Delta V < 0$

Chapitre 4 :

Dans les cas A et C, le rapport cyclique doit diminuer, entraînant une augmentation de la tension du module PV.

Alors que dans les cas B et D, le rapport cyclique doit être augmenté de façon à ce que la tension du module PV diminue.

Figure IV.1 : Le fonctionnement de l'algorithme PO.



L'algorithme peut être représenté mathématiquement par l'expression :

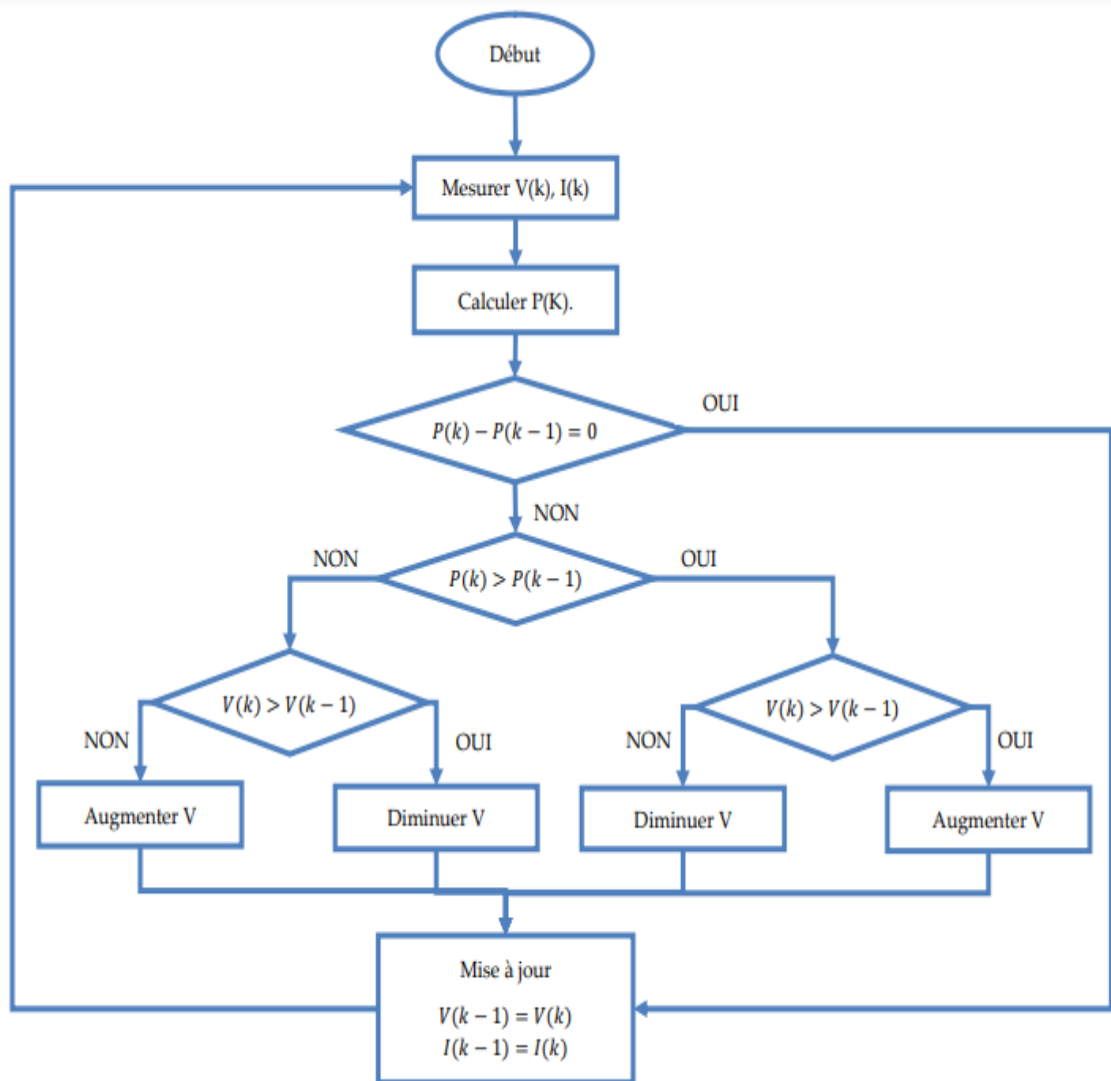
$$V(k) = V(k-1) + \Delta V \cdot \text{sign} \left(\frac{dP}{dV} \Big|_{V=V_{n-1}} \right)$$

Tableau IV.1. Tableau de vérité de l'algorithme « perturbation & observation »

Perturbation de la puissance	Observation de la puissance	prochain perturbation
Positive (+)	Positive (+)	Positive (+)
Positive (+)	Negative (-)	negative (-)
negative (-)	Positive (+)	negative (-)
negative (-)	negative (-)	Positive (+)

L'organigramme mis en œuvre pour le contrôleur PO est présenté par la Figure suivante :

Figure IV.2 : Organigramme de l'algorithme Perturbation et Observation (P&O)



Où : C : est la constante d'incrémentation.

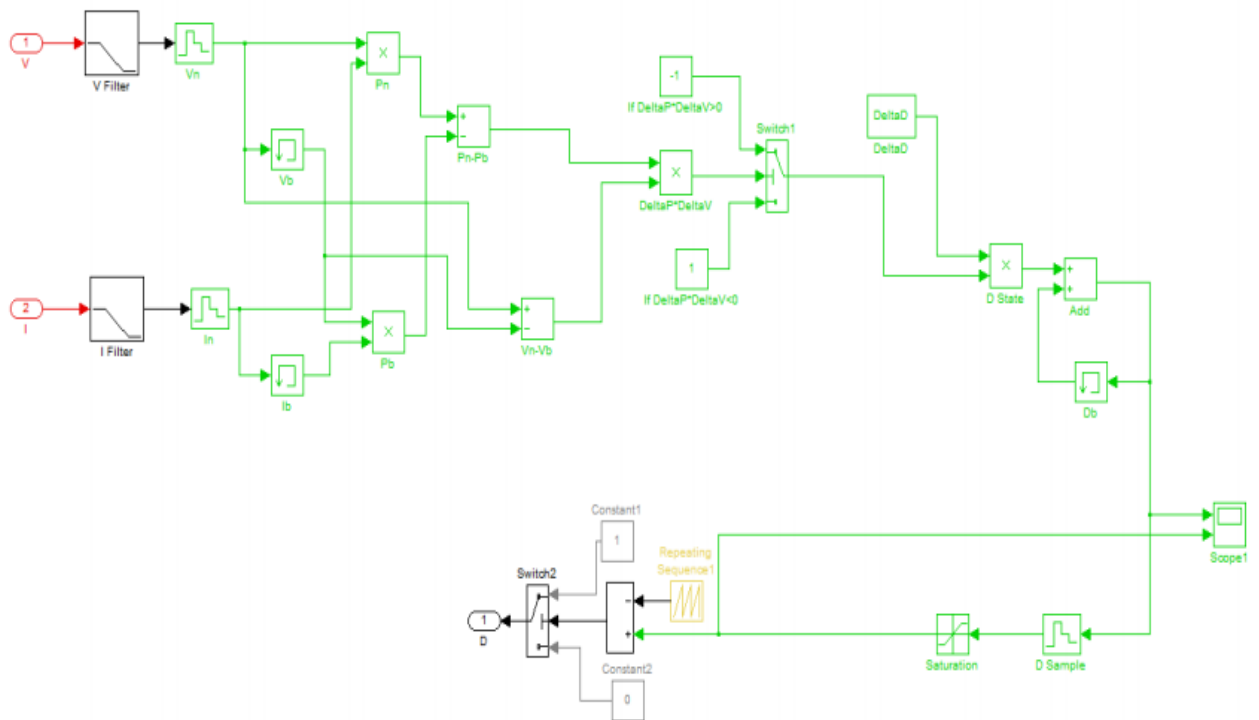
- Si la constante d'incrémentacion est grande, l'algorithme de P and O répondra rapidement aux changements soudains des conditions de fonctionnement (variation de la température et de l'éclairage), mais les pertes seront accrues dans les conditions stables (la température et l'éclairage sont fixes) ou lentement changeantes.
- Si la constante d'incrémentacion est très petite, les pertes dans les conditions stables ou lentement changeantes seront réduites, mais le système ne pourra plus suivre les changements rapides de la température et de l'éclairage. [21]

Chapitre 4 :

La valeur idéale de la constante d'incrémentation est déterminée expérimentalement

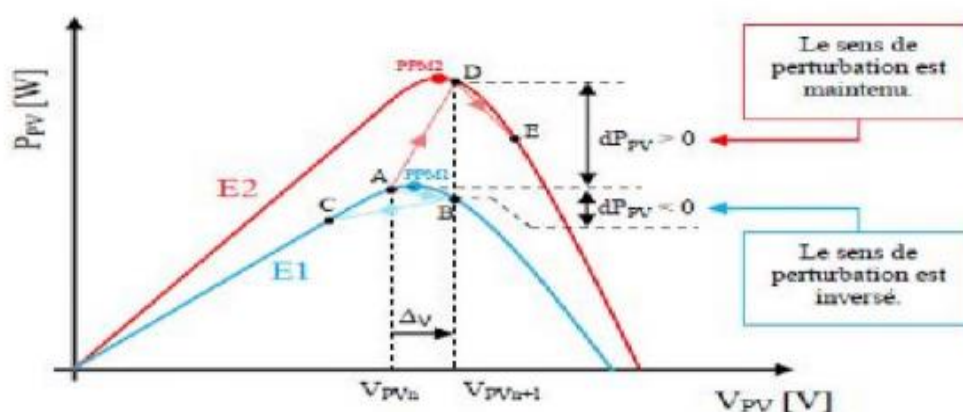
D'après l'organigramme de la Figure précédente, on a réalisé le schéma block suivant :

Figure IV. 3 Programme et schéma block de la technique PO.



Un inconvénient de la méthode de PO est décrit par l'échec lors d'un changement rapide des conditions atmosphériques. Si l'ensoleillement augmente on aura une augmentation de la puissance du panneau, alors que le système va réagir comme si cette augmentation est produite par l'effet de perturbation précédente, il continue dans la même direction qui est une mauvaise direction, ce qui fait qu'il s'éloigne du vrai point de puissance maximale. Ce processus continue jusqu'à la stabilité de l'ensoleillement, moment où il revient vers le vrai point de puissance maximale. Ceci cause un retard de réponse lors des changements soudains des conditions de fonctionnement et des pertes de puissance. Ces oscillations qui peuvent être minimisées lors de réduire les valeurs de la variable de perturbation [22].

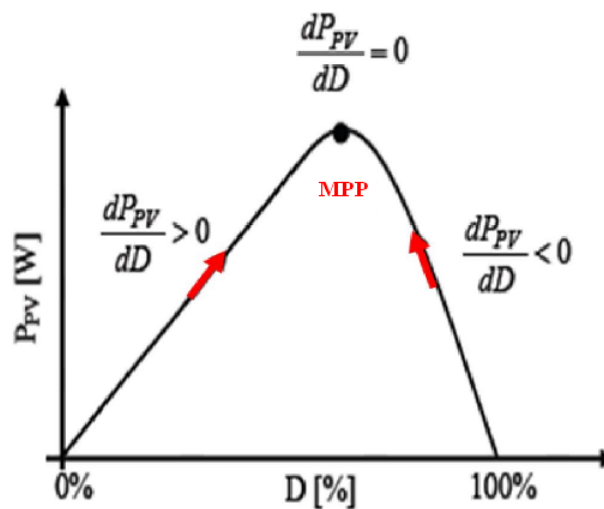
Figure IV.4: Divergence de la commande PO lors de variation d'irradiation.



IV. 3 Algorithme “Escalade de la Colline (Hill Climbing)”

La technique de contrôle nommée Escalade de la Colline ou Hill Climbing consiste à faire monter le point de fonctionnement le long de la caractéristique du générateur présentant un maximum. Pour cela, deux pentes sont possibles. La recherche s’arrête théoriquement quand le point de puissance maximale est atteint. Cette méthode est basée sur la relation entre la puissance du module et la valeur du rapport cyclique D appliqué au convertisseur statique. Mathématiquement, le MPP est atteint lorsque dP_{PV}/dD est forcée à zéro par la commande, comme le montre la Figure VI.4.

Figure IV.5 : Relation entre PPV et le rapport cyclique D de convertisseur statique [23]



IV. 4 Choix de l’Algorithme

Le Tableau II.1 montre la comparaison entre les différentes techniques MPPT dont Nous avons rappelé les principes ci-dessus. L’analyse de ces différentes méthodes de recherche montre que les performances D’une commande MPPT ne se résument pas à un seul paramètre η_{MPPT} qui est défini Comme le rendement du MPPT.

Tableau IV.2 Tableau comparatif entre les commandes MPPT
[23]

MPPT	Rendement	Avantages	Inconvénients
P&O	81.5%-96.5%	-Une structure simple. -Implémentation facile. -Peu de paramètres de mesure.	- Présente des oscillations autour du MPP. -Perte occasionnelle de la recherche du MPP lors du changement rapide des conditions climatiques.
Hill Climbing	95.5%-99.1%	-Simple à mettre en œuvre.	- Des oscillations autour du MPP en régime établi. -Perte occasionnelle de la recherche du MPP lors du changement rapide des conditions climatiques.

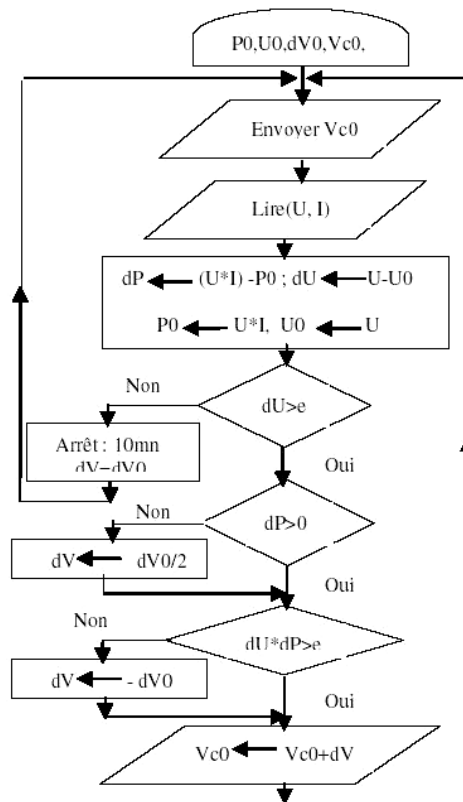
D'autres critères tels que le temps de réponse et son aptitude à fonctionner sur une large gamme de puissance, sont importants pour évaluer les qualités de ce type de commande. Les divers essais extraits de la littérature selon [12] montrent que ce type de commande peut être performant dans certaines conditions mais ne permettent pas de dire que tel mode de recherche est plus performant qu'un autre, en revanche, ils donnent une estimation d'un rendement qui peut être élevé.

IV.5 : Algorithme P &O dans le cas ombrage

Il s'agit de venir perturber le système avec une consigne, et voir comment il va réagir [1, 5].

En fonction de la combinaison ($I, P = U \times I$) mesurée, et celle précédente, on calcule les Variations de P et de U, selon lesquelles on modifie périodiquement le signe et la valeur du pas de variation de la consigne dV, grâce à un ensemble de test, jusqu'à trouver la consigne optimale qui correspond à une valeur de d U inférieure à la précision e : phase dite 'recherche du point de Fonctionnement optimal'. Après laquelle, on maintient l'application de cette consigne optimale au bout d'un certain temps : phase de 'fonctionnement à puissance maximale' ou d'arrêt selon l'organigramme de la figure 5. Il est ainsi possible de suivre les variations du point de fonctionnement optimal dues aux variations des conditions climatiques des Panneaux

Figure IV.6 : Organigramme P&O



IV.6: Résultats et discussions

La Figure IV.1 montre les formes d'ondes du courant et de la tension des panneaux durant la phase de fonctionnement à puissance maximale.

Sur le graphe de Figure IV.4, nous avons tracé l'évolution de la puissance délivrée par les panneaux solaires au cours de la mise en marche du système. On constate que le point de fonctionnement à puissance maximale est atteint au bout de quelques secondes de l'application de l'algorithme MPPT. Une fois le point recherché est atteint,

Les résultats ainsi obtenus sont satisfaisants. Ils montrent clairement que l'extraction de l'énergie des panneaux solaires étant maximisée et indépendante des conditions climatiques.

IV.7 Conclusion

Afin d'améliorer le rendement de conversion photoélectrique du panneau Photovoltaïque PV dans différentes conditions météorologiques l'algorithme MPPT, proposé Basé sur l'analyse des caractéristiques de sortie du générateur photovoltaïque montre que Lorsque le générateur photovoltaïque reçoit l'éclairement uniforme, l'algorithme P & O atteint Son MPPT sans difficulté. Si l'ombre partielle apparaît dans PV, le nouvel algorithme peut Éliminer l'interférence du maximum local pour rendre le système fonctionnant à son MPP Globale. Donc notre système n'a pas besoin d'ajouter des circuits matériels. Les résultats de la Simulation vérifient que l'algorithme proposé à un bon control sur le suivi du MPPT dans des Conditions d'ombrages partiels.

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. Dans ce travail, nous avons 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 Escalade de la Colline (Hill Climbing). 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.

Pour trois scénarios d'ombrage : faible ; modéré et sévère la commande (P&O) n'arrive pas toujours à converger à l'extremum global

Les résultats mènent à conclure que le contrôle par l'algorithme Hill Climbing est mieux adapté que la technique P et O dans le cas d'un système photovoltaïque soumis à un ombrage partiel.

Bibliographie

- [1]- Bessemoulin P, Oliiviéri J. Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette. .Physique Atmosphérique La Météorologie 8ème Série - N° 31 - Sept 2000:42–59.
- [2]- Beauvais A, Chevillard N, Paredes MG, Heisz M, Rossi R, Schmela M. Global Market Outlook For Solar Power / 2019 - 2023: Power FS. Mobilising Investments in Emerging Markets. Sol Power Eur 2019 2019.
- [4]- IDIR Zahir et ADRAR Amazigh «Etude et simulation du comportement d'un générateur photovoltaïque en présence de problème de désadaptation», Université A.MIRABEJAIA, Thèse de Master, 26/06/2016
- [5]- BENADEL Faiza «Etude Et Simulation D'une Commande MPPT Pour Système PV», UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, Thèse de Master, 2015 – 2016
- [6]- B. Chouki, B.Trek "Optimisation floue neuronale et génétique d'un système photovoltaïque connecté au réseau", *Mémoire ingénieurs. Biskra, 2007.*
- [7]- B. WF S. SMH, « étude comparative des systèmes de pompage photovoltaïque " *Mémoire ingénieurs. Biskra, 2006*
- [8]- B. Omr, C. Idris, "L'intégration du photovoltaïque au Réseau électrique Problèmes et perspectives", *Mémoire ingénieurs. Biskra 2006.*
- [9]https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/energie_solaire_photovoltaique.php4
- [10]- FABRIZIO OLITA «ADVANCED CONTROL AND CONDITION MONITORING
- [11]- Bun L. Détection et localisation de défauts pour un système PV. Thèse de doctorat. Université de Grenoble, 2011.
- [12]- site <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-photovoltaique#:~:text=Les%20cellules%20photovolta%C3%AFques%20exploitent%20,conducteur%20transportant%20les%20charges%20%C3%A9lectriques.>
- [13]- FEROU I Mohamed Ali et ACHOUR Amar «Etude des différentes techniques MPPT d'un système photovoltaïque» mémoire d'ingénieur, USTHB, promotion 2008/2009.
- [14] Les différents types de cellules photovoltaïques - Total Direct Energie [direct-energie.com]
- [15]- B. Mustafa, Contribution à l'étude d'un générateur solaire pour site autonome, 10 SEPTEMBRE 2015.
- [16]- M.Angel Cid Pastor, "Conception et Réalisation de Modules Photovoltaïques Electroniques", Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006

