

REPUBLICUE ALGERIEN DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'Electronique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Electronique

Spécialité : Industriel Electronique

Par

➤ **Djebarni Ouahiba**

➤ **Loukrichi Nour Elhouda**

Intitulé

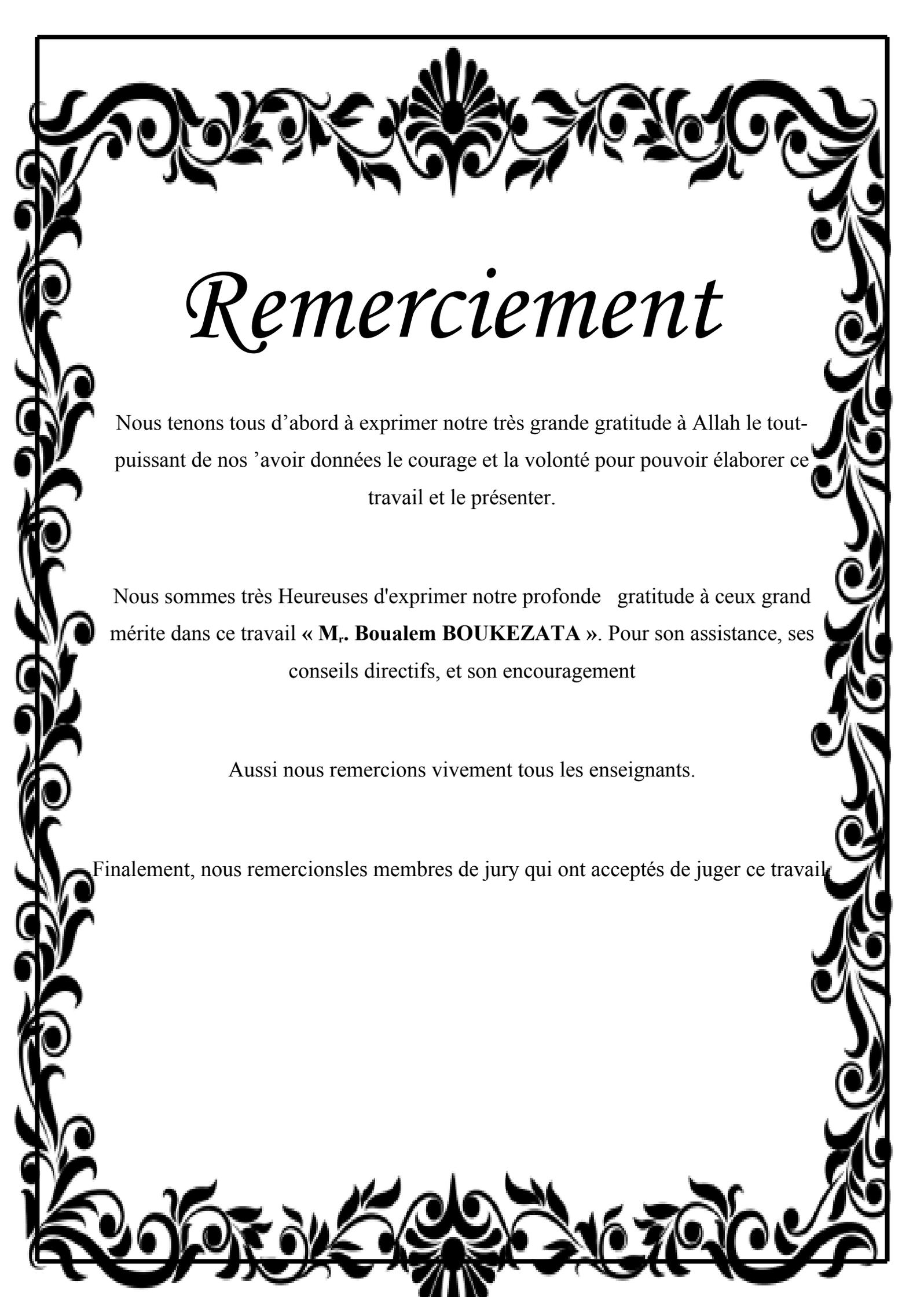
Détection d'ombrage dans les systèmes solaires photovoltaïques

Soutenu le :

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
Dr. TALBI BILLEL	MCB	Président	Univ-BBA
Dr. BOUKEZATA B	MCB	Encadreur	Univ-BBA
Dr. BENTOUHAMI L	MCB	Examineur	Univ-BBA

Année Universitaire 2021/2022

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns in black and white, framing the entire page.

Remerciement

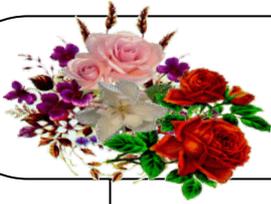
Nous tenons tous d'abord à exprimer notre très grande gratitude à Allah le tout-puissant de nos 'avoir données le courage et la volonté pour pouvoir élaborer ce travail et le présenter.

Nous sommes très Heureuses d'exprimer notre profonde gratitude à ceux grand mérite dans ce travail « **M., Boualem BOUKEZATA** ». Pour son assistance, ses conseils directifs, et son encouragement

Aussi nous remercions vivement tous les enseignants.

Finalement, nous remercions les membres de jury qui ont acceptés de juger ce travail.

Dédicace



*Avant tous, je remercie ALLAH le tout puissant de
M'avoir donné le courage et la patience pour réaliser
Ce travail malgré toutes les difficultés
rencontrées.*

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents,
Que ALLAH les garde et les protège pour leur
Soutien moral et financier, A mes sœurs,
Et mes chers frères et leurs enfants
surtout Mohamed, Hanaa et Raid,
A mes chères amis Amel et Zina,
A tous les amis d'études surtout ceux électronique.
Et tout qui me connaît.*



«Nour Elhouda»

Dédica



*« Je t'offre ce modeste travail pour te
remercie pour tes sacrifices et pour l'affection
dont tu m'as toujours entourée. »*

A mon père,

*« L'épaule solide que dieu te préserve et te procure santé
et longue vie. »*

A ma sœur et mes frères.

A ma copine

Meriem

A toutes Mes Amies sans exception.

Je dédie aussi toute la promotion MCIL 5.

Et tout qui me connaît



«Ouahiba»

Sommaire

Introduction générale

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques.

I.1 Introduction :	1
I.2 L'énergie solaire :	1
I.3. Principe :	1
I.4. La cellule photovoltaïque:.....	2
I.5. Principe de fonctionnement:.....	2
I.6. Les modules photovoltaïques:.....	3
I.6.1 L'énergie solaire photovoltaïque :.....	3
I.6.2 L'énergie solaire thermique :.....	4
I.7. L'effet photovoltaïque :	5
I.7 -1 Panneau photovoltaïque :.....	5
I. 7 -2. Structure d'un panneau PV :.....	6
I.7-3 Quelques notions relatives à un système photovoltaïque :.....	6
I.8 Influence de l'éclairement :.....	7
I.8.1 Influence de la température :.....	8

I.8.2. Influence simultanée de l'éclairement et de la température :	9
I.9. Association des cellules photovoltaïques (générateur photovoltaïque) :	10
I.10. Modélisation d'une cellule photovoltaïque :	11
I.10.1 Cellule photovoltaïque idéal :	12
I.10.2 Cellule photovoltaïque réelle :	13
I.11. Les systèmes autonomes :	14
I.12. Définition de l'MPPT d'un système solaire photovoltaïque :	15
I.12.1 : Principe du MPPT :	16
I.12.2.1 Méthode perturbation et observation (P&O) :	16
I.12.3. Algorithme basé sur la logique floue :	17
I.13. Ombrage partiel de panneau photovoltaïque :	19
I.13.1 Problème de points chauds :	19
I.13.2 Perte de puissance due à l'ombrage :	20
I.13.3 Les différents types d'ombrages :	21
I.14. MÉTHODE PROPOSÉE :	22
I.15 conclusion	23

Chapitre 2

II.1 Introduction	24
II.1.1 Paramètres de simulation	24

II.2 Algorithme P&O 26

II.3 Algorithme FLC 30

II.4 Algorithme FLC proposé 33

II.4 Conclusion 35

Conclusion générale

Références bibliographiques

Résumé :

Liste des

Chapitre 1:

Figure I-1 : Procédé d'utilisation de l'énergie solaire

Figure I-2 : Schéma d'une cellule élémentaire.

Figure I.3: Structure d'un module photovoltaïque.

Figure I.4 : Module PV..

Figure I-5 : Panneaux photovoltaïque.

Figure I-6: centrale photovoltaïque.

Figure I-7 : Panneaux sombres pour la production de la chaleur.

Figure I-8 : L'effet de la conversion photovoltaïque.

Figure I-9 : Panneau photovoltaïque.

Figure I.10 : Panneau PV constitué par NSM cellules en série et NPM cellules en parallèle(a)

Structure d'un panneau (b) Panneau solaire photovoltaïque.

Figure I.11 Caractéristique $I=f(V)$ en fonction de variation de l'éclairement.

Figure I.12 Caractéristique $P=f(V)$ en fonction de variation de l'éclairement.

Figure I-13 : Caractéristique $I=f(V)$ en fonction de variation de la température.

Figure I-14 : Caractéristique $P=f(V)$ en fonction de variation de la température.

Figure I-15 : Effet de la température sur dans les plans $P-T-V$ pour un éclairement constant.

Figure I-16 Influence simultanée de l'éclairement et de la température sur la caractéristique $I-V$.

Figure I-17 Influence simultanée de l'éclairement et de la température sur la caractéristique $P-V$.

Figure I-18 Modèle à une seule diode de la cellule photovoltaïque et le circuit équivalent d'un module photovoltaïque réel, y compris les résistances série et parallèle.

Figure I-19 Association série parallèle de N modules photovoltaïques.

Figure I-20 Caractéristique de N_p modules en parallèle et N_s en série.

Figure I-22: Modèle de cellule photovoltaïque idéal.

Figure I-23Modèle de la cellule photovoltaïque réel.

Figure. I-24: Schéma d'un système autonome (hors-réseau).

Figure. I-25 : Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque avec convertisseur
Statique contrôlé par une commande MPPT sur charge quelconque

Figure. I-26 : Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT.

Figure I-27 : Organigramme de l'algorithme P & O.

Figure I-28 : Schéma équivalent d'une connexion série de cellules *PV*.

Figure I-29 : Caractéristique électrique de la puissance en fonction de la tension *P-V* d'un
générateur photovoltaïque sous ombrage partiel.

Figure I-30 : Organigramme de la méthode proposée.

Chapitre 2

Figure II-1 : Schéma de l'ensemble du système simulé sous Matlab

Figure II-2 : profil de puissance PV généré par le GPV dans les conditions de profile
proposer.

Figure II-3 : évolution du système sous l'algorithme P&O avec un pas $dd=0.05$.

Figure II-4 : évolution du système sous l'algorithme P&O avec un pas $dd=0.09$.

Figure II-5 : Schéma de contrôle de l'algorithme flou FLC.

Figure II-6 : évolution du système sous l'algorithme FLC.

Figure II-7 : Schéma de contrôle de l'algorithme flou FLC proposé.

Figure II-8 : évolution du système sous l'algorithme proposé.

Listes des tableaux

Tableau I.1 Table de règles floues.

Tableau I.2 Interprétation *des* opérateurs logiques.

Tableau II.1 paramètres du panneau solaire utilisé

Tableau II.2 paramètres de l'irradiation proposé

Listes des symboles et notations

VCO

: Tension en circuit ouvert d'un module solaire.

ICC : Courant de court-circuit d'une cellule ou d'un module solaire.

V_{oc} : la tension de circuit ouvert

I_{sc} : le courant de court-circuit

T : température effective de la cellule en Kelvin.

K : constante de Boltzmann (1.381×10^{-23} j/k)

q : charge d'électron (1.602×10^{-19} C)

D : diode

NS : Nombre de cellules en série.

NP: Nombre de cellules en parallèle.

IPH : Courant de la cellule PV (Photo-Courant).

ID : Courant circulant dans la diode.

VPPM /VOPT : Tension d'un module PV au point de puissance maximale [V].

IPPM / IOPT : Courant d'un module PV au point de puissance maximale [A].

PV : Photovoltaïque.

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

GPV : Générateur Photovoltaïque.

DC/DC : Hacheur Courant Continu/Courant Continu.

PPM : Point de Puissance Maximale.

P&O : Perturb And Observe (Perturbation et Observation).

Introduction générale

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

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

Dans le premier chapitre, nous présentons des notions générales sur l'énergie solaire, l'énergie photovoltaïque et la cellule photovoltaïque et son fonctionnement.

Le deuxième chapitre présentera le principe et la simulation avec les résultats des deux méthodes MPPT utilisée dans cette étude à savoir perturbe and observe (**P&O**) et Algorithme **FLC**.

Finalement, une conclusion générale décrit les résultats de l'efficacité des systèmes photovoltaïques, différents algorithmes de commandes MPPT pour la poursuite du point maximum de puissance ont été étudiés pour un système photovoltaïque autonome soumis à un ombrage partiel.

Chapitre 1

**Généralités sur les systèmes
photovoltaïques.**

I.1 Introduction :

L'énergie solaire 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.

Dans ce chapitre, nous commencerons par la définition de l'énergie solaire puis effet des cellules photovoltaïques ainsi que leur principe de fonctionnement. Puis les différents types des cellules photovoltaïques, enfin les principales caractéristiques d'un module photovoltaïque.

I.2 L'énergie solaire :

Non polluante, économique, disponible, aisément transformable, telle est l'énergie solaire. Grâce à des équipements robustes et fiables, les modules photovoltaïques, elle permet de produire de l'électricité.[1]

L'énergie solaire est produite et utilisée selon deux procédés qui sont présentée dans la figure.

I.1 :

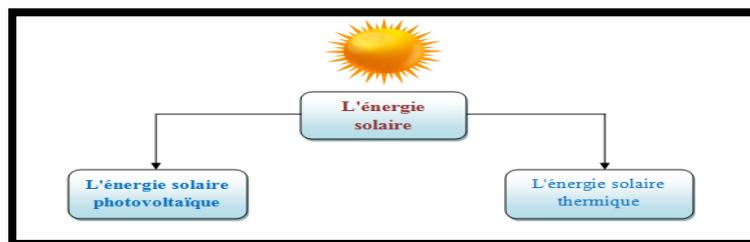


Figure I-1 : Procédé d'utilisation de l'énergie solaire.

I.3. Principe :

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photosensible, son fonctionnement est basé sur les propriétés des matériaux semi-conducteurs. La cellule photovoltaïque permet la conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique, son principe de fonctionnement repose sur l'effet photovoltaïque découvert par *Alexandre Edmond*

BECQUEREL en 1839. Cette conversion met en jeu trois phénomènes physiques, intimement liés et simultanés [Ast07]:

- les photons sont absorbés par le matériau (absorption optique) en transmettant leur énergie au matériau.
- l'énergie transmise aux électrons est une énergie potentielle et non une énergie thermique.
- Les électrons excités par les photons sont collectés avant de reprendre leur énergie initiale(Relaxation), afin de fournir un courant électrique.

Il est donc essentiel que le matériau mis en œuvre possède des propriétés optiques et électriques spécifiques pour permettre la conversion photovoltaïque [Ric05].

I.4. La cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est un capteur constitué d'un matériau semi-conducteur (par exemple le silicium) absorbant l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique. [5]

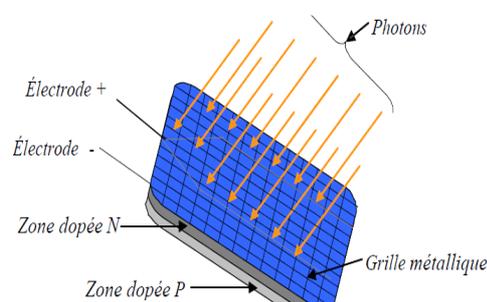


Figure I.2 Schéma d'une cellule élémentaire.

I.5. Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est le suivant : les « grains » de lumière qu'on appelle photons, en pénétrant très légèrement dans le silicium, déplacent quelques électrons du métal. Le métal semi-conducteur ne permettant le déplacement des électrons que dans un sens, les électrons déplacés par la lumière doivent passer par le circuit extérieur pour revenir à leur place, ce qui engendre un courant. [2]

I.6. Les modules photovoltaïques :

Un module photovoltaïque est un générateur électrique de courant continu lorsqu'il est exposé à la lumière. Le module photovoltaïque est constitué d'un cadre rigide le plus souvent en aluminium permettant la fixation et d'une vitre transparente en verre trempé sur le dessus.

A l'intérieur se trouve un ensemble de cellules photovoltaïques reliées électriquement entre elles. En effet ceux sont-elles qui génèrent le courant. Elles sont assemblées en série ou en parallèle à l'intérieur du module afin de cumuler leur puissance et de les rendre plus résistantes à l'environnement externe [5].

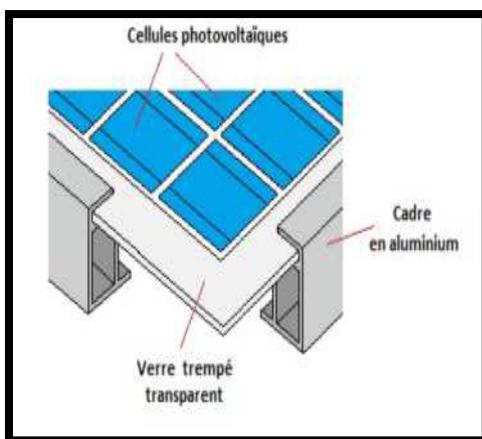


Figure I.3: Structure d'un module photovoltaïque.

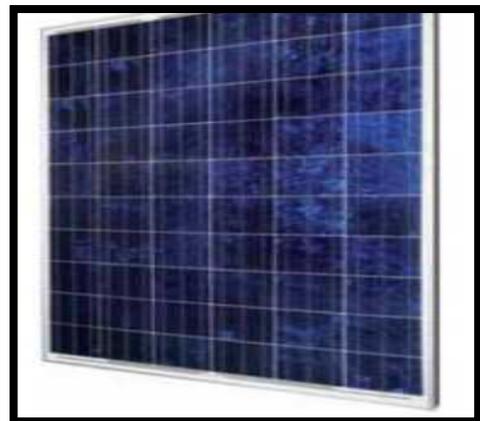


Figure I.4: Module PV.

I.6.1 L'énergie solaire photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque est la conversion directe de lumière solaire en électricité. Le mot "photo" vient du grec qui veut dire lumière et "voltaïque" vient du nom d'un physicien Italien Alessandro Volta qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité et d'après son nom on a aussi nommé l'unité de tension électrique le "volt".

L'énergie photovoltaïque est la manière la plus élégante de produire de l'électricité.

Elle se produit sans bruit, sans parties mécaniques, et sous pollution.

Donc l'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable, elle Permet de produire de l'électricité par transformation d'une partie de rayonnement solaire grâce à une cellule photovoltaïque.



Figure I-5 : Panneaux photovoltaïque.



Figure I-6 : centrale photovoltaïque

I.6.2 L'énergie solaire thermique :

L'énergie solaire thermique : Consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.



Figure I-7 : Panneaux sombres pour la production de la chaleur.

I.7 Quelques notions relatives à un système photovoltaïque :

Cellule PV : Dispositif PV fondamental pouvant générer de l'électricité lorsqu'il est soumis un rayonnement solaire.

Module PV : Le plus petit ensemble de cellules solaires interconnectées complètement protégées de l'environnement.

Chaîne PV : Circuit dans lequel les modules PV sont connectés en série afin de former des ensembles de façon à générer la tension de sortie spécifiée. Dans le langage courant, les chaînes sont plus communément appelées « *string* ».

Groupe PV : Ensemble de chaînes constituant l'unité de production d'énergie électrique en courant continu.

Partie courant continu : C'est la partie d'une installation PV située entre les modules PV et les bornes de courant continu de l'onduleur.

Irradiation : C'est l'énergie du rayonnement solaire. Elle correspond {la quantité d'énergie reçue pendant une durée définie exprimée en kWh-2. [1]

I.8 Influence des conditions climatiques sur les panneaux solaires PV :

I.8.1 Influence de l'éclairement :

Les figures (I.11 et I.12) présentent respectivement les caractéristiques I-V et P-V de la photopile simulée sous une température de référence de 25 °C et sous divers niveaux d'éclairements.

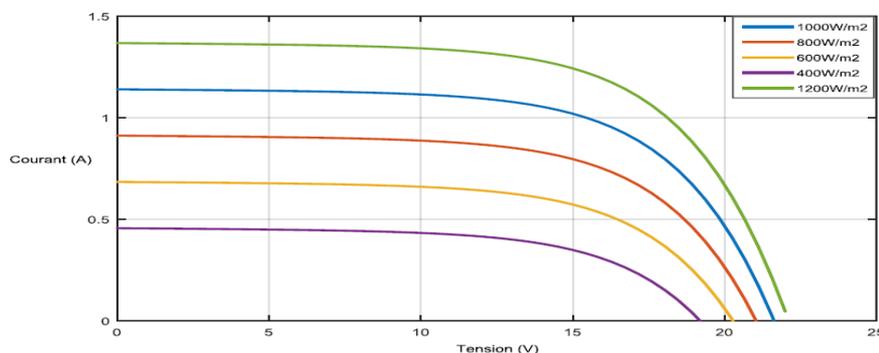


Figure I-11: Caractéristique $I=f(V)$ en fonction de variation de l'éclairement

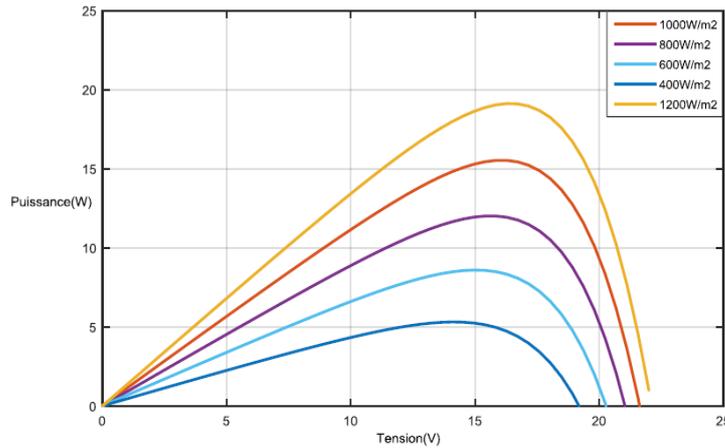


Figure I-12 : Caractéristique $P=f(V)$ en fonction de variation de l'éclairement.

- On remarque que la tension du circuit ouvert v_{co} reste très peu changée en faisant varier l'éclairement G , par contre le courant i_{cc} du court-circuit varie beaucoup en augmentant l'éclairement ce qui engendre une augmentation de la puissance photovoltaïque.

I.8.1. Influence de la température :

La température est un paramètre très important dans le comportement des cellules photovoltaïques. En effet, si la température augmente, le photo-courant augmente.

Les figures (I.13 et I.14) illustrent respectivement les caractéristiques I-V et P-V de la photopile simulée sous un éclairement de 1000 W/m² et différentes températures.

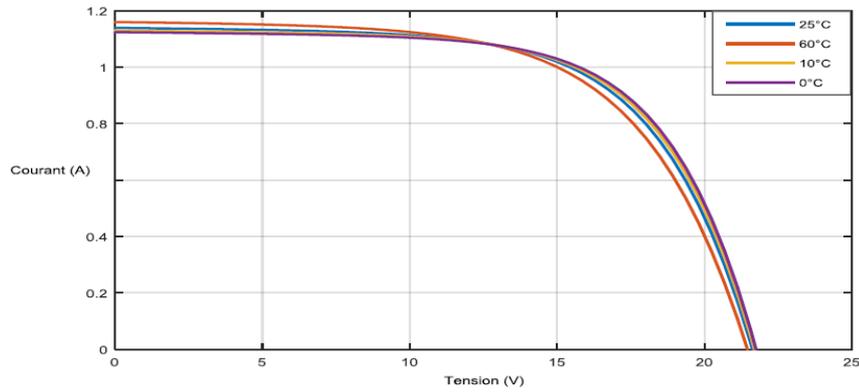


Figure I-13 : Caractéristique $I=f(V)$ en fonction de variation de la température.

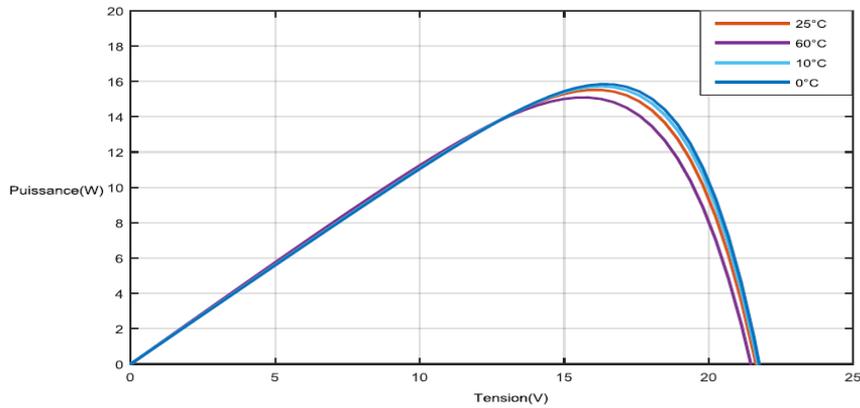


Figure I-14 : Caractéristique $P=f(V)$ en fonction de variation de la température.

- On remarque que le courant du court-circuit i_{cc} reste très peu sensible à la variation de la température mais la tension du circuit ouvert v_{co} diminue en augmentant la température ce qui cause une diminution de la puissance à la sortie de la photopile.

I.8.2. Influence simultanée de l'éclairement et de la température :

Pour un cas réel l'éclairement et la température changent aléatoirement, en général dans le même sens. Les figures suivantes (figure. I-16, figure. I-17) décrivent ces effets.

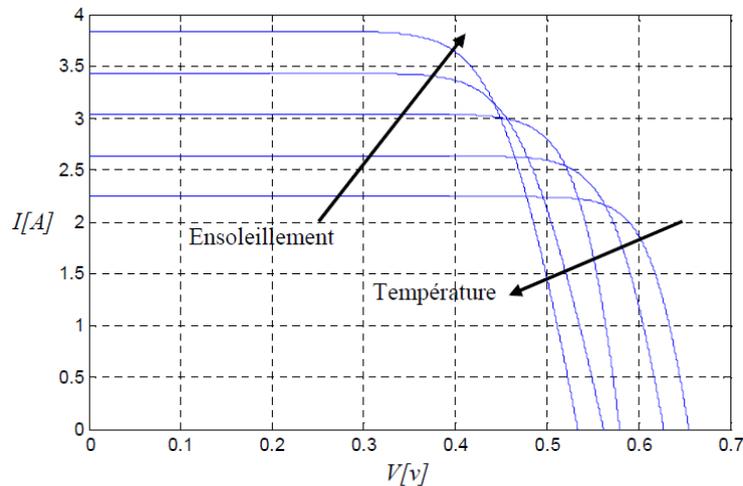


Figure I-16 Influence simultanée de l'éclairement et de la température sur la caractéristique $I-V$.

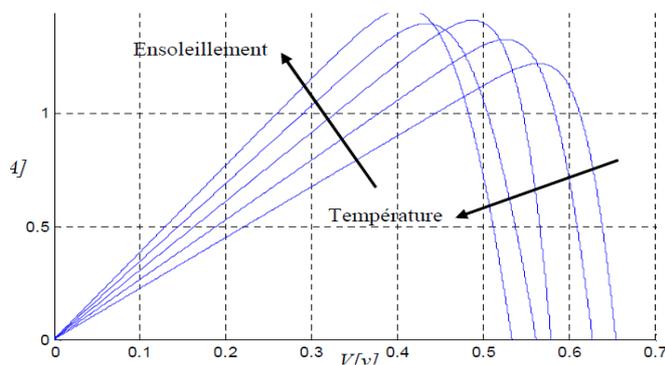


Figure I-17 Influence simultanée de l'éclairement et de la température sur la caractéristique $P-V$.

I.9. Association des cellules photovoltaïques (générateur photovoltaïque) :

Une cellule élémentaire de quelque dizaine de centimètres carrés délivre au maximum quelques watts sous une tension très faible (de l'ordre de 0.6V à 0.8V) puisqu'il s'agit d'une tension de jonction PN. Afin d'augmenter la tension d'utilisation et donc la puissance disponible au niveau de l'ensemble des cellules. Les cellules sont connectées en série/parallèle ce qui donne lieu ce qu'on nomme un générateur photovoltaïque GPV [11].

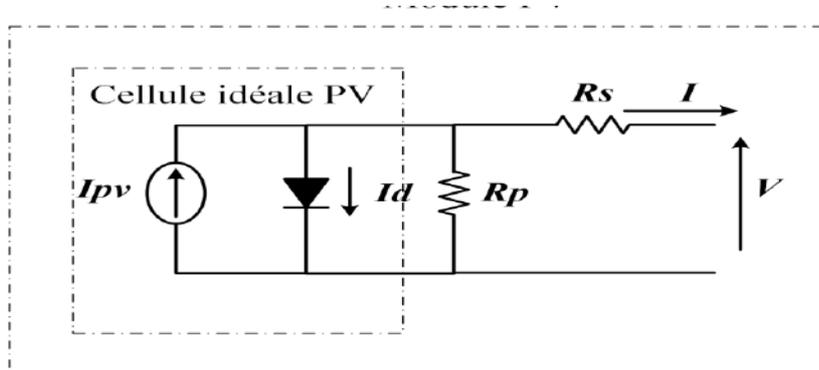


Figure I-18 Modèle à une seule diode de la cellule photovoltaïque et le circuit

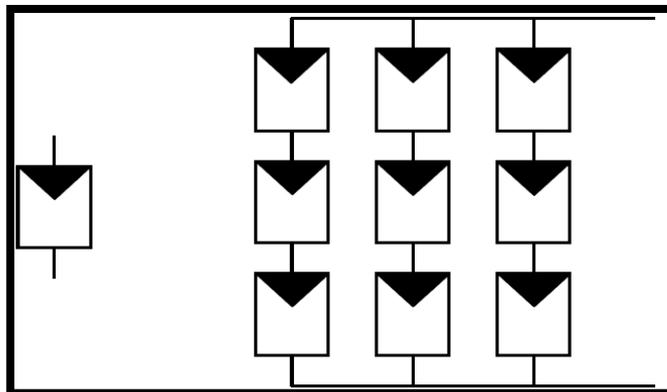
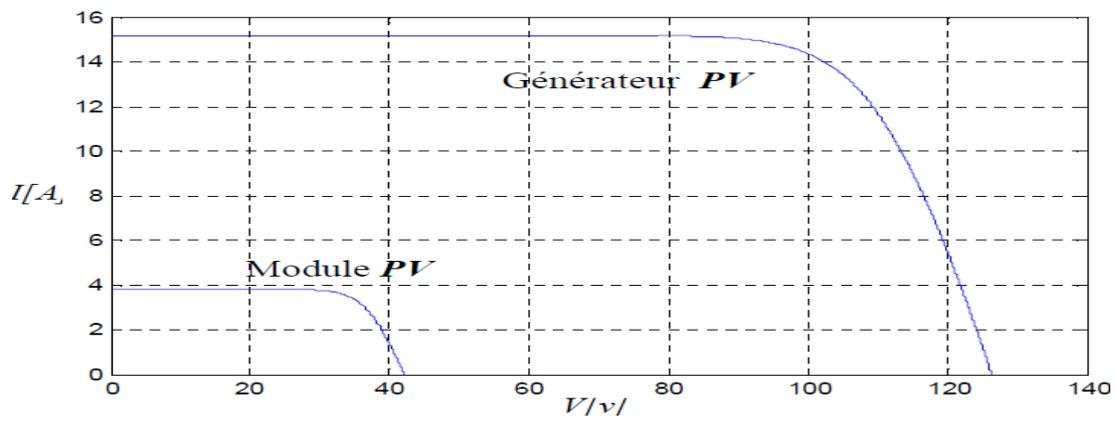
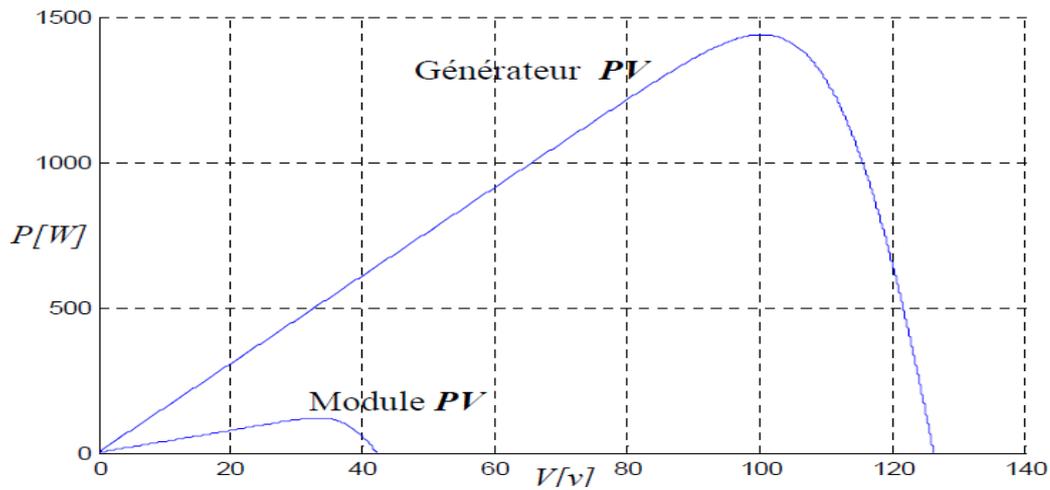


Figure I-19 Association série parallèle de N modules photovoltaïques.



(b)



(b)

Figure I-20 Caractéristique de N_p modules en parallèle et N_s en série.

I.10. Modélisation d'une cellule photovoltaïque :

Il existe plusieurs modèles électriques caractérisant le fonctionnement de la cellule photovoltaïque :

I.10.1 Cellule photovoltaïque idéal :

La cellule sera modélisée par une source du courant I_{ph} en parallèle avec une diode et pour optimiser la modélisation de quelques phénomènes au niveau de la cellule, le modèle comme le montre la figure I.22 [4].

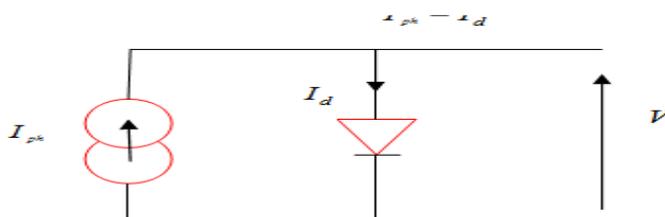


Figure I-22: Modèle de cellule photovoltaïque idéal. [4]

D'après la loi de nœuds :

$$I = I_{ph} - I_d$$

Pour un générateur PV idéal, la tension aux bornes de la résistance est égale à celle aux bornes de la diode :

$$V=V_d$$

Si la caractéristique de la jonction est de la forme :

$$I= I_s(-1)$$

Avec:

I_s : Le courant de saturation inverse de la diode.

V_d : la tension aux bornes de la diode.

V_t : Potentielle thermique.

Donc la relation (I.1) sera :

$$I= I_{ph}- I_s(-1)$$

I.10.2 Cellule photovoltaïque réelle :

C'est un modèle semblable au modèle simplifié. Comme le montre la figure I.10, une source de courant et une diode en parallèle avec une résistance en série, mais dans ce modèle une résistance shunt est ajoutée ayant une grande influence sur le courant généré par le modèle et qui est proche du courant d'une cellule réelle. Physiquement, la résistance shunt sert à la modélisation des pertes autour de la jonction dues aux impuretés et sur les coins de la cellule [4] sh R

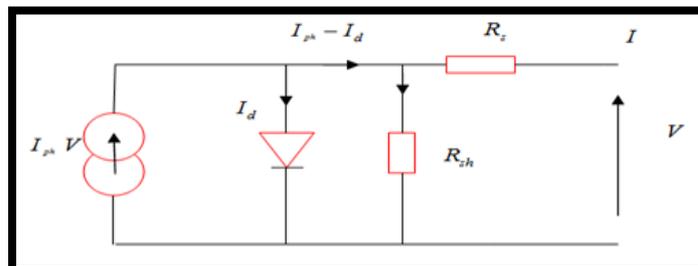


Figure I-23 Modèle de la cellule photovoltaïque réel. [4]

Ce modèle est le plus utilisé dans de nombreuses recherches grâce à son comportement qui est plus proche à une cellule PV par rapport au modèle à résistance série (simplifié) d'une part, et sa simplicité pour le calcul mathématique. [4]

$$I(v) = I_{ph} - I_d - I_{sh}$$

$$I_{sm} =$$

$$I_d = I_s \cdot (-1)$$

$$i_{ph} = (I_{sc} + k_i(T - T_m))$$

Avec :

I: Le courant fourni par la cellule.

$I_{ph} = I_{sc}$: Le photo-courant dépendant de l'éclairement (G).

I_s : Le courant de saturation de la diode.

K: constante de Boltzmann (1,381 .10⁻²³ joule/Kelvin).

q : charge d'électron =1,602 .10⁻¹⁹ C.

n : Le facteur de qualité de diode. n

T : La température de cellule en kelvin.

Donc (I.6) sera :

$$I = I_{ph} - I_s (-1) -$$

I.11. Les systèmes autonomes :

On dit qu'un système PV est autonome si la charge est passive (exemple : lampes, les moteurs, etc.). Le système PV autonome est un système photovoltaïque complètement indépendant d'autres sources d'énergie et qui alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique.

Ces systèmes photovoltaïques sont installés pour assurer un fonctionnement autonome sans recours à d'autres sources d'énergie. Généralement, ces systèmes sont utilisés dans les régions isolées et éloignées du réseau.

Les systèmes autonomes dépendent uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité. Ils peuvent comporter des accumulateurs qui emmagasinent l'énergie produite par les modules au cours de la journée servant la nuit ou lors des périodes où le rayonnement solaire est insuffisant. Ces systèmes peuvent également répondre aux besoins d'une application (par exemple, le pompage de l'eau) sans recours aux accumulateurs.

En règle générale, les systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique. À l'heure actuelle, c'est dans les endroits isolés, loin d'un réseau électrique et où les besoins en énergie sont relativement faibles (généralement moins de 10 kWc) que l'énergie photovoltaïque est la plus concurrentielle.

Dans la plupart des cas une adaptation d'impédance doit être réalisée en insérant entre le générateur et sa charge électrique un dispositif électronique qui permet de forcer le système à fonctionner à sa puissance maximale. [16]

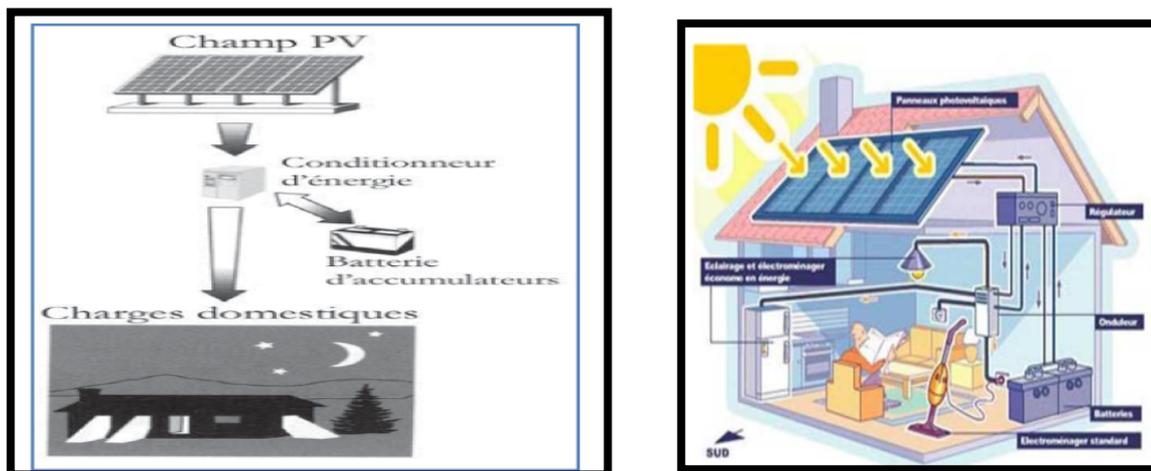


Fig. I-24 Schéma d'un système autonome (hors-réseau).

I.12. Définition de l'MPPT d'un système solaire photovoltaïque :

La technique MPPT est une commande associée à un étage d'adaptation permettant de faire fonctionner un générateur électrique non linéaire de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Les systèmes MPPT sont généralement associés avec le générateur

Photovoltaïque ou encore avec les générateurs éoliens. Un contrôleur MPPT permet alors de piloter le convertisseur statique reliant la charge et le panneau photovoltaïque, de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge [17].

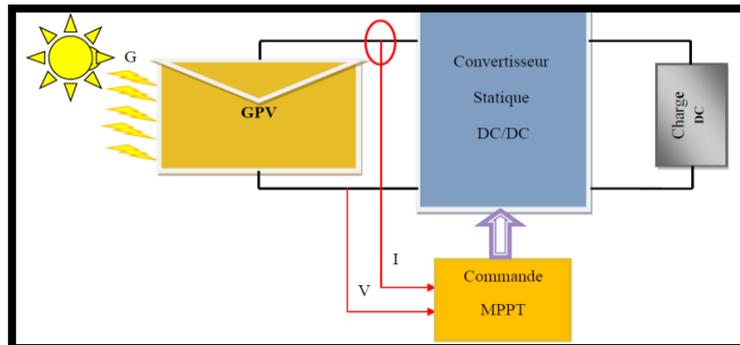


Figure I.25 : Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque avec convertisseur Statique contrôlé par une commande MPPT sur charge quelconque [18].

I.12.1 : Principe du MPPT :

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur PV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quelles que soient les conditions météorologiques (température et éclairage), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum ($V_{m\ pp}$, $I_{m\ pp}$). [2] L'adaptation d'impédance est souvent sous forme d'un convertisseur DC –DC comme représenté sur la figure (I.17). [19]

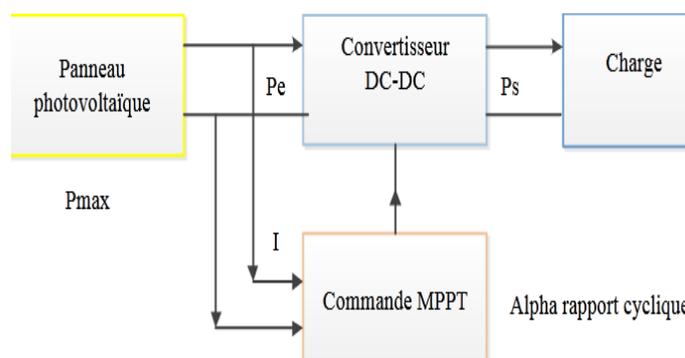


Fig. I.26- Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT.

I.12.2. Méthode perturbation et observation (P&O) :

C'est la méthode la plus utilisée vu sa simplicité. Une boucle de retour et peu de mesures sont nécessaires. La tension aux bornes des panneaux est volontairement perturbée d'une faible amplitude (augmentée ou diminuée) puis la puissance est comparée à celle obtenue avant perturbation. Précisément, si la puissance aux bornes des panneaux est augmentée à cause de la perturbation, la suivante est faite dans la même direction (cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du MPP). Réciproquement, si la puissance diminue, la nouvelle perturbation est réalisée dans le sens opposé.

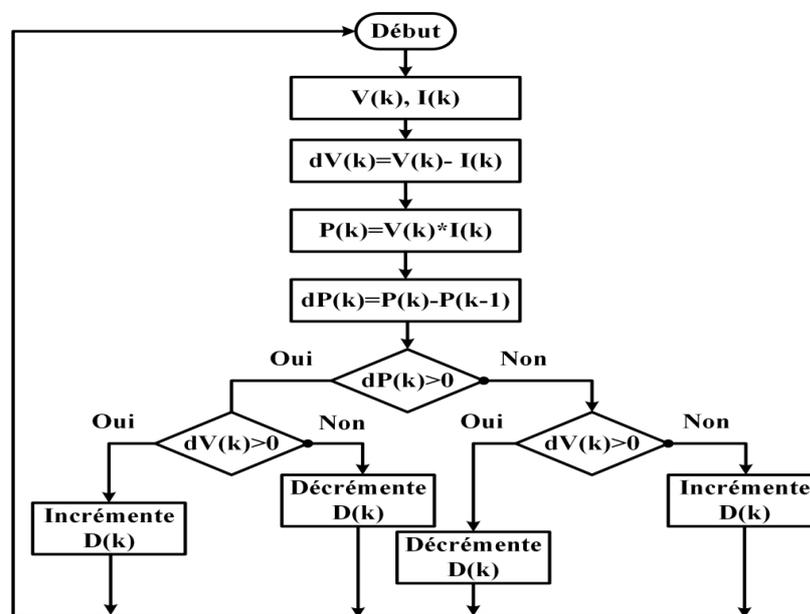


Figure I.27 Organigramme de l'algorithme P & O.

I.12.3. Algorithme basé sur la logique floue :

La logique floue ou la théorie des ensembles floue est une nouvelle méthode de commande MPPT permettant d'obtenir le point de puissance maximale (MPP). Le contrôleur flou

fonctionne en deux modes de base grossière et fin. [24] Cet algorithme de commande comprend trois étapes, à savoir:

- Fuzzification.
- La méthode d'inférence.
- La défuzzification.

$$E(k) =$$

$$E(k) =$$

ΔE E	NG	NP	ZE	PP	PG
NG	ZE	ZE	NG	NG	NG
NP	ZE	ZE	NP	NP	NP
ZE	NP	ZE	ZE	ZE	PP
PP	PP	PP	PP	ZE	ZE
PG	PG	PG	PG	ZE	ZE

Tableau I.1 Table de règles floues.

Le tableau (I.1) comprend 25 règles floues de commande. Ces règles sont employées pour la commande du convertisseur survolteur (ou dévolteur) telle que la puissance maximum du panneau solaire soit atteinte. Par exemple la case (5,3) du tableau 4.1représente la règle de commande. Si E est GP et CE est ZO alors dD est GP. Ceci implique que. "Si le point de fonctionnement est éloigné du point de puissance maximale (MPP) du côté gauche et le changement de la pente de la courbe P-I est presque nul, alors il y a une grande augmentation du rapport cyclique D". Pour la commande floue, on utilise en général une des méthodes suivantes:

- Méthode d'inférence MAX-MIN

- Méthode d'inférence MAX-PROD.
- Méthode d'inférence SOMME-PROD

Dans notre cas, on utilise la méthode d'inférence de Mamdani qui est la combinaison floue MAX- MIN. Les opérateurs logiques sont interprétés comme suit:

Opérateur logique	Interprétation
ET	Minimum
OU	Maximum
Implication	Minimum

Tableau (I.2) Interprétation des opérateurs logiques [24]

I.13.Ombrage partiel de panneau photovoltaïque :

En principe, les générateurs *PV* sont construits en utilisant des modules identiques et destinés à recevoir un éclairage homogène. L'apparition de conditions d'ombrage partiel en raison des nuages et des obstacles physiques tels que des arbres et/ou des bâtiments est fréquent sur les installations individuelles ou résidentielles. Des photographies illustrant des exemples typiques d'ombrage partiel dû à un obstacle physique dans une installation sur un bâtiment.

I.13.1.Problème de points chauds :

Lors de la connexion en série des cellules *PV* ou des modules (figure I.29), si l'un des éléments dispose d'un photo-courant plus faible que les autres, à cause d'un ombrage par exemple, ce dernier fonctionne comme une charge par rapport aux autres cellules puisqu'il est polarisé en inverse. Cette cellule ou ce module dissipe alors de l'énergie plutôt que d'en

généraler, occasionnant ainsi une augmentation de température de la cellule. Si la température atteint des valeurs trop élevées, la cellule ou le module peut être endommagé et affecter l'ensemble du module *PV* ou le générateur. Pour corriger ce problème, une diode *Dp* connectée en parallèle, appelée *diode shunt ou bypass*, aux bornes d'un groupement élémentaire de 30 à 40 cellules au silicium au maximum [Ast08]. La figure 2.26 illustre ce principe. L'amorçage spontané de cette diode parallèle *Dp* est effectif dès l'apparition d'une tension inverse aux bornes du groupement de cellules et limite la tension inverse appliquée à la cellule à la valeur de la tension de seuil *Vd* intrinsèque de la diode sélectionnée.

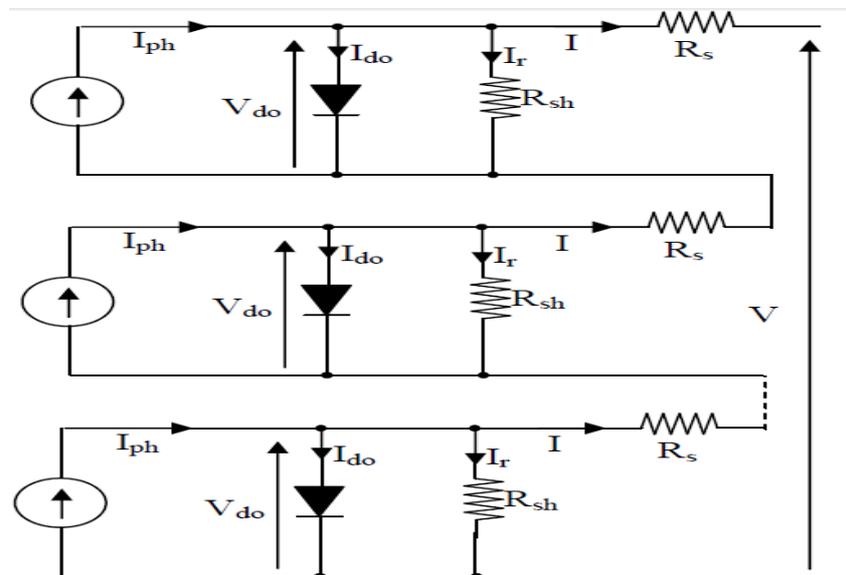


Figure I.28. Schéma équivalent d'une connexion série de cellules *PV*.

I.13.2 Perte de puissance due à l'ombrage :

Comme il est décrit dans la section précédente, des diodes en parallèle avec les modules *PV* sont généralement utilisés afin de les protéger contre les problèmes de points chauds. Par ailleurs, comme le courant de la chaîne doit être inférieur ou égal au courant de court-circuit de la cellule ou du module sous l'ombre, cela provoque une réduction notable de la puissance extraite [Woy03]. La figure I.24 expose la caractéristique électrique de la puissance en fonction de la tension *P-V* d'un générateur photovoltaïque sous ombrage partiel. Dans le cas considéré, le générateur photovoltaïque se compose de trois panneaux solaires

photovoltaïques **BP MSX120** connectés en série dont deux de ces panneaux subissent un ombrage. L'éclairement du premier panneau sous l'ombre est fixé à $400W/m^2$, le deuxième à $700W/m^2$ et le troisième à $1000W/m^2$. Comme le montre la figure 2.27, la caractéristique **P-V** présente plusieurs maxima, la valeur maximale pour la puissance s'élève à $180.3W$, ce qui ne représente que $71,54\%$ de la puissance maximale du générateur **PV** si chaque panneau fonctionnait à leur puissance maximale ($PPV1= 120W$, $PPV2= 84W$, $PPV3= 48W$).

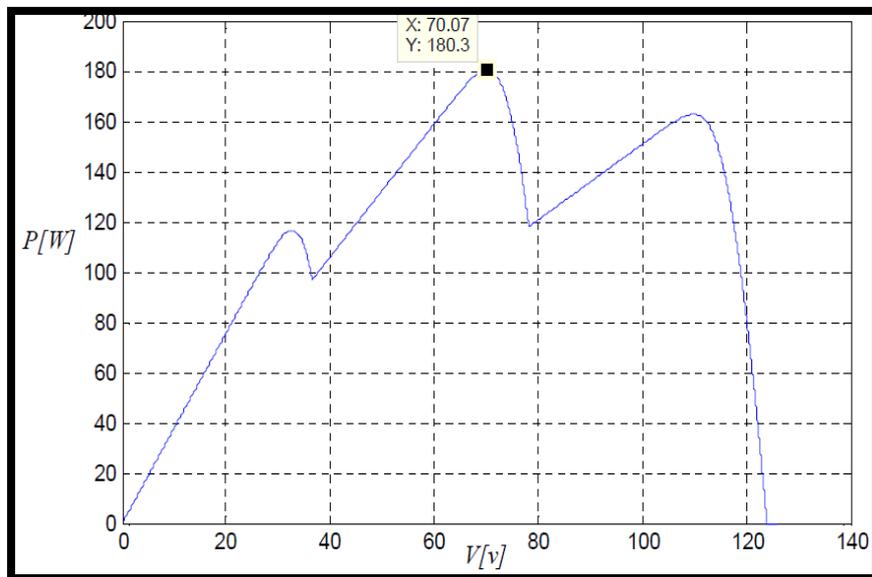


Figure I.29 Caractéristique électrique de la puissance en fonction de la tension **P-V** d'un générateur photovoltaïque sous ombrage partiel.

I.13.3. Les différents types d'ombrages :

On peut distinguer deux types d'ombrages :

- L'ombrage partiel : c'est un ombrage qui laisse passer en partie les rayons du soleil.
- L'ombrage total : on appelle ombrage total ou complet ce qui vient couvrir le panneau (couverture, branche cassée, saleté de toute nature, etc.).

- 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 branchées sur la même diode by-pass est court-circuitée et le reste du panneau continue de produire.
- En revanche, si les panneaux photovoltaïques sont montés en séries appelées « branches », c'est le panneau qui produit le moins qui définit la performance de la branche de panneaux

I.14. MÉTHODE PROPOSÉE :

Contrairement aux MPPT conventionnels où le système PV fonctionnant la puissance est perturbé et observé pour suivre le MPP, le balayage, stocker, perturber et observer la puissance de fonctionnement du système PV est utilisé pour le MPPT proposé. La méthode proposée est capable de suivre le MPP dans toutes les conditions météorologiques, ombrage particulièrement partiel où le maximum local et global existe.

Le MPPT proposé calle le point de fonctionnement autour du point de puissance maximale globale par un pointeur qui fait glisser le point de fonctionnement opérationnel autour du point de puissance globale, puis la commande floue classique continue l'objet de poursuivre le point de puissance globale . Dans ce cas, l'algorithme garantit que le MPPT n'est pas piégé par des maxima locaux et récupère rapidement le nouveau point maximum global lors de variations conditions météorologiques.

Chapitre 2

Résultats de simulation des systèmes étudiés

II.1 Introduction

Ce chapitre décrit la simulation des algorithmes qui ont déjà présentés dans le chapitre 1 en utilisant le logiciel de simulation MATLAB/Simulink. Premièrement en commençant par l'explication des simulations effectuées puis en passant par les différents cas étudiés dans ce mémoire et enfin avec les analyses des résultats obtenus.

La figure ci-dessous montre le système global simulé sous l'environnement Matlab.

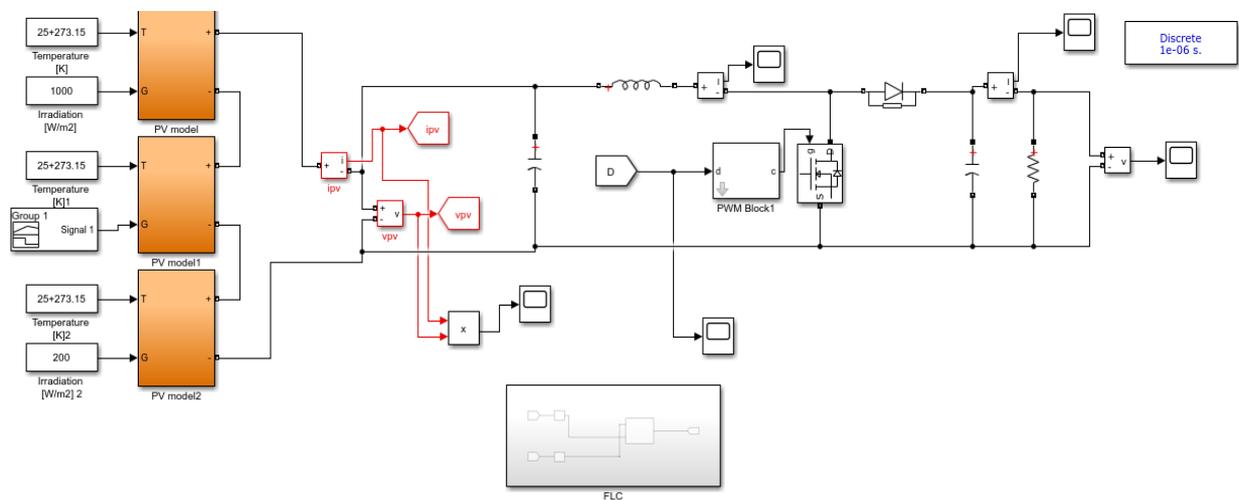


Figure II-1: Schéma de l'ensemble du système simulé sous Matlab.

II.1.1 Paramètres de simulation

Les paramètres de simulation du système proposé sont montrés dans le tableau suivant :

Tableau I : paramètres du panneau solaire utilisé

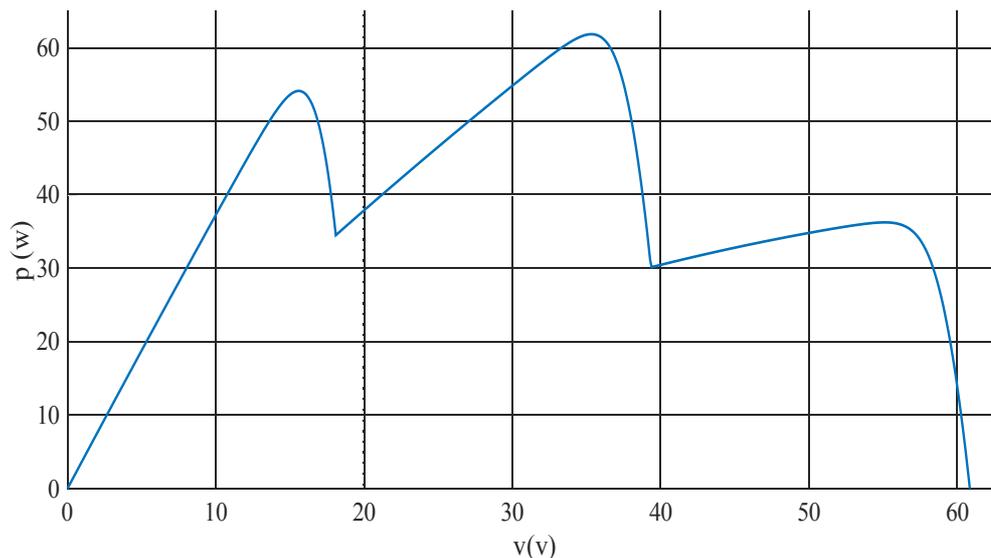
PUISSANCE MAXIMALE, P _{MAX}	60W
TENSION DE P _{MAX} , V _{MP}	17.1V
COURANT DE P _{MAX} , I _{MP}	3.5A
COURANT DE COURT-CIRCUIT, I _{SC}	3.8A
TENSION DE CIRCUIT-OUVERT, V _{CO}	21.1V
COEFFICIENT DE TEMPÉRATURE EN CIRCUIT-OUVERT V _{OC} , K _V	-80mV/°C
COEFFICIENT DE TEMPÉRATURE EN	2.4mA/°C

Le profil d'irradiation proposé pour chaque panneau est donné dans le tableau suivant avec leur plage du temps d'application :

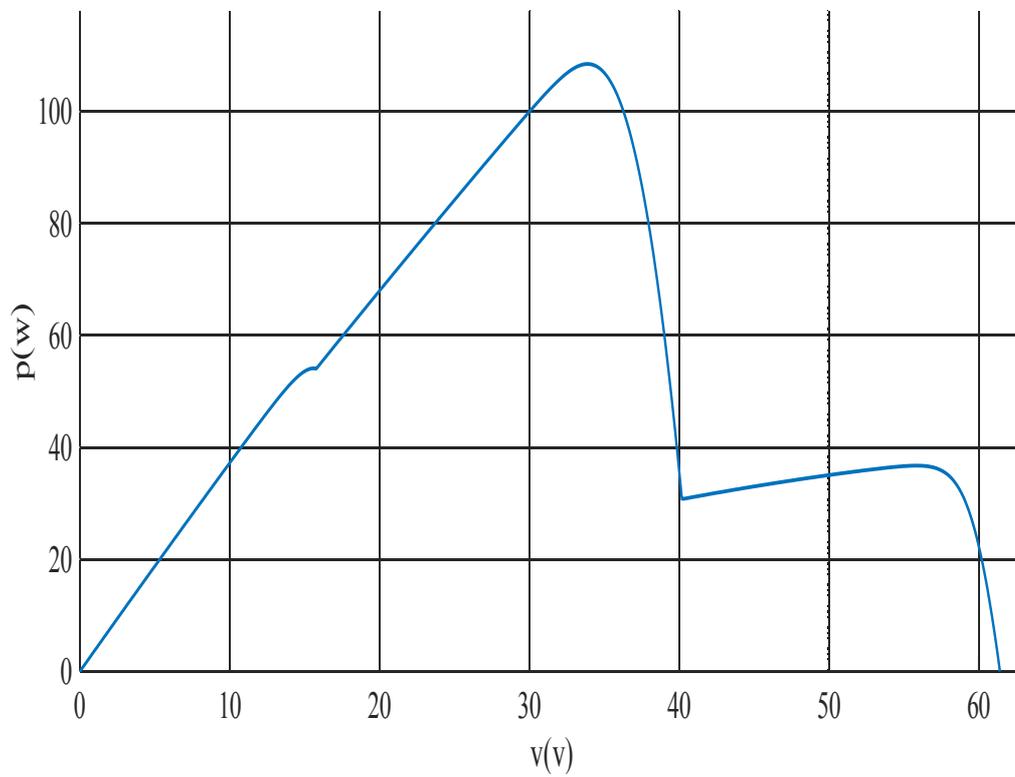
Tableau II : paramètres de l'irradiation proposé.

PANNEAU PV	G1	G2	G3
PANNEAU PV1 (ENTRE 0 s ET 0.2 s)	1000	500	200
PANNEAU PV2 (ENTRE 0.2 s ET 0.5 s)	1000	900	200
PANNEAU PV3 (ENTRE 0.5s ET 0.7s)	1000	500	200

La simulation du générateur PV constitué de trois panneaux solaire sous le profil d'irradiation proposé présente deux point de puissance globales $P_{mpp} = 61.85$ et $P_{mpp} = 108.5$



(a) (entre 0 S et 0.2 S) et (entre 0.5S et 0.7S)



(b) (entre 0.2 S et 0.5 S)

Figure II-2: profil de puissance PV généré par le GPV dans les conditions de profil proposé.

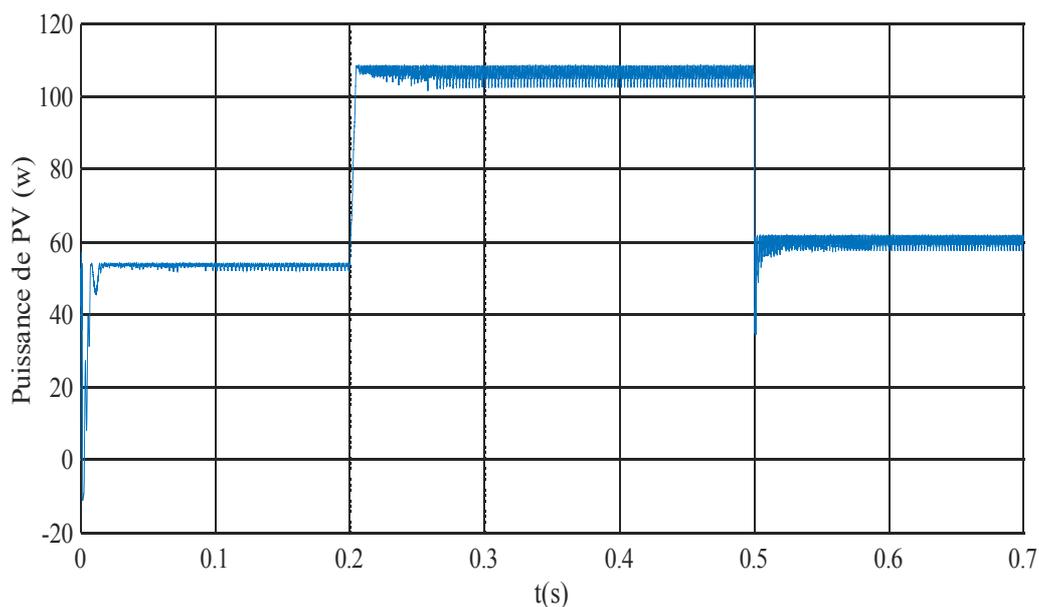
II.2 Algorithme P&O

La simulation du système complet sous le profil proposé prouve la défaillance de l'algorithme P&O pour plusieurs valeurs de dd ($dd=0.05$ et $dd=0.09$).

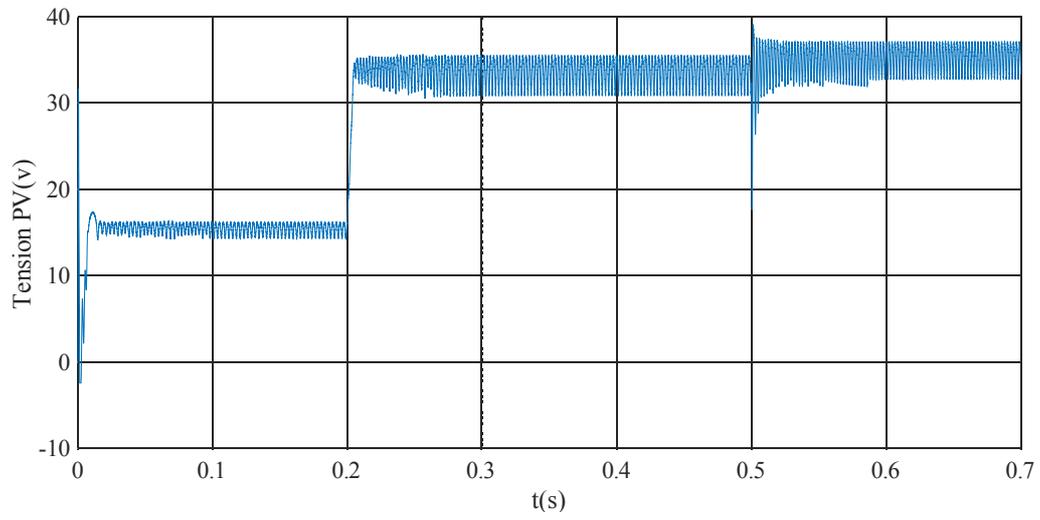
II.2.1 : $dd=0.05$

(dd) Entre (0s et 0.2s - 0.5s et 0.7) , l'algorithme P&O n'arrive pas à atteindre le point de puissance global 61.85 w à cause de la fausse orientation de l'algorithme envers l'ombrage. Sachant qu'entre (0.5 et 0.7) l'algorithme rattrape par hasard le point de puissance global $p= 108.5$ w

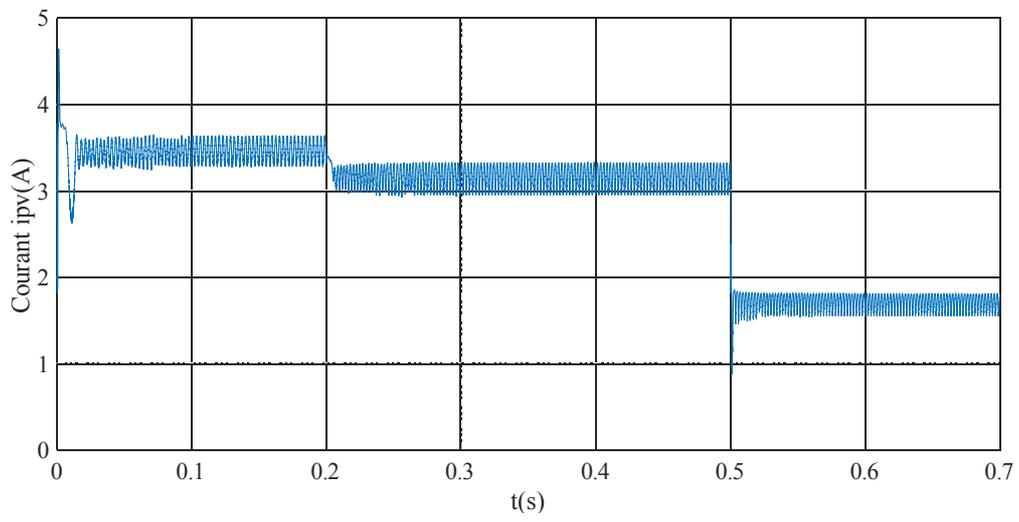
La figure II.3 présente l'évolution de la puissance, tension, courant et rapport cyclique du système sous l'algorithme P&O.



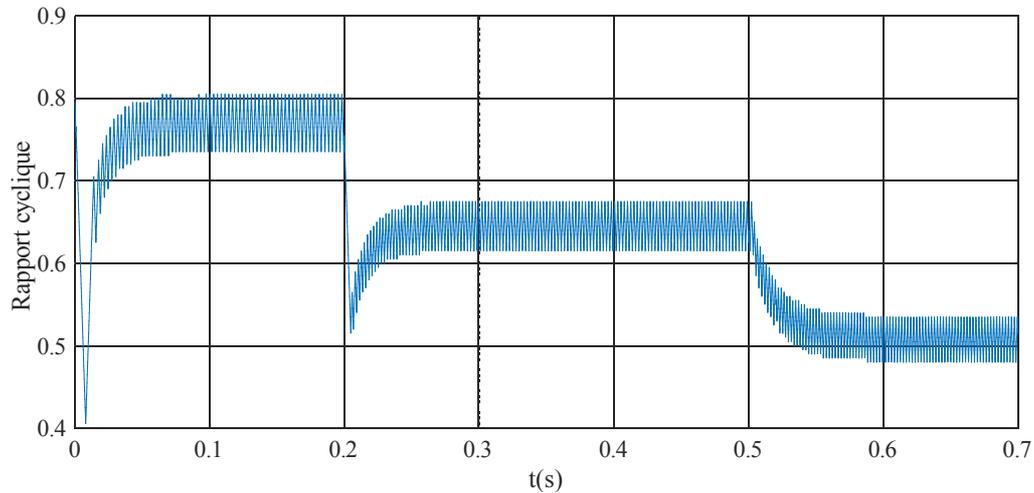
(a)



(b)



(c)



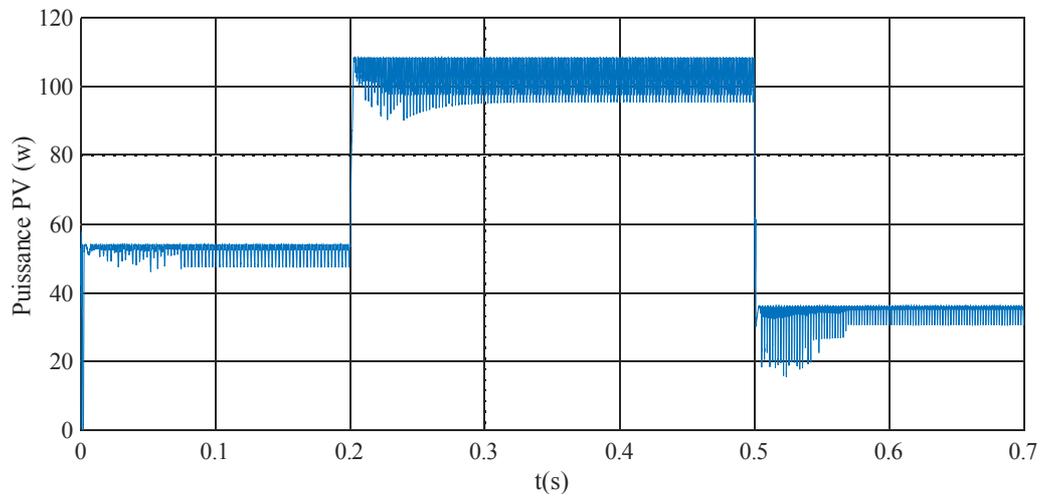
(d)

Figure II-3 : évolution du système sous l’algorithme P&O avec un pas $dd=0.05$.

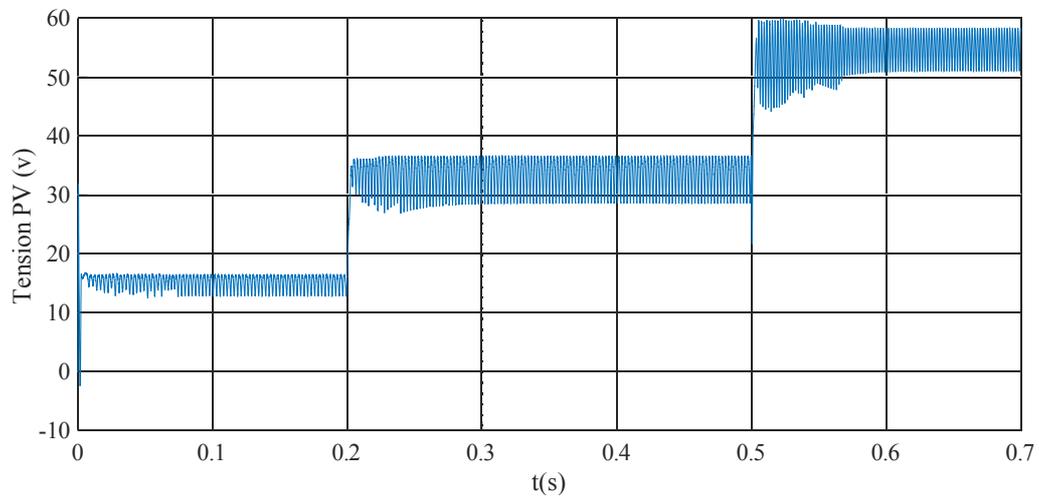
II.2.1 : $dd=0.09$

L’algorithme P&O avec un pas de variation de $dd=0.09$ n’arrive pas à atteindre le point de puissance maximale global comme il est montré dans la figure II. 4. Comparant avec le test précédant, l’algorithme prend un autre point de puissance minimale entre 0.5s et 0.7s () qui prouve que l’algorithme P&O n’est pas capable d’identifier le point de puissance maximale globale. On remarque une grande déviation de la tension du générateur PV entre 33v et 55v.

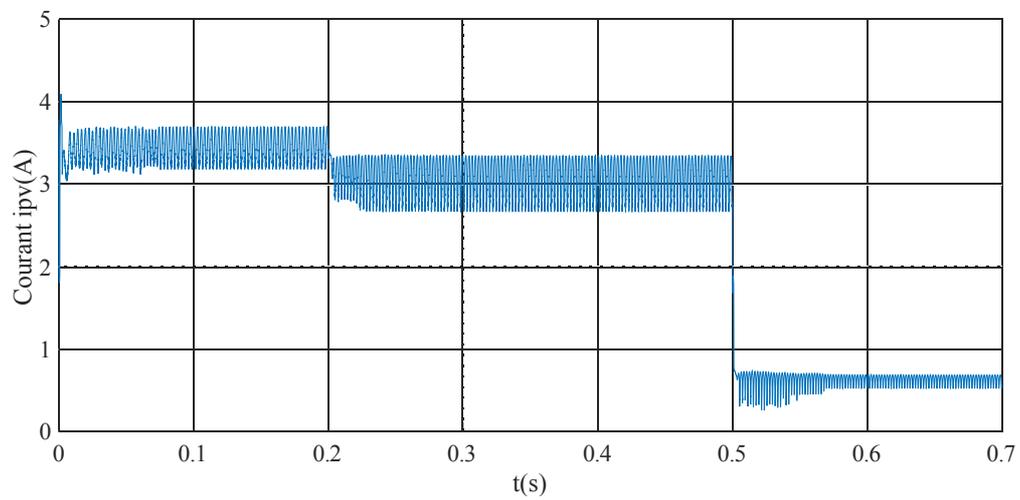
L’algorithme se fonctionne ou il se trouve et rattrape le point de puissance la plus proche de lui. Il peut atteindre le point maximale comme il pet la s’éloigner.



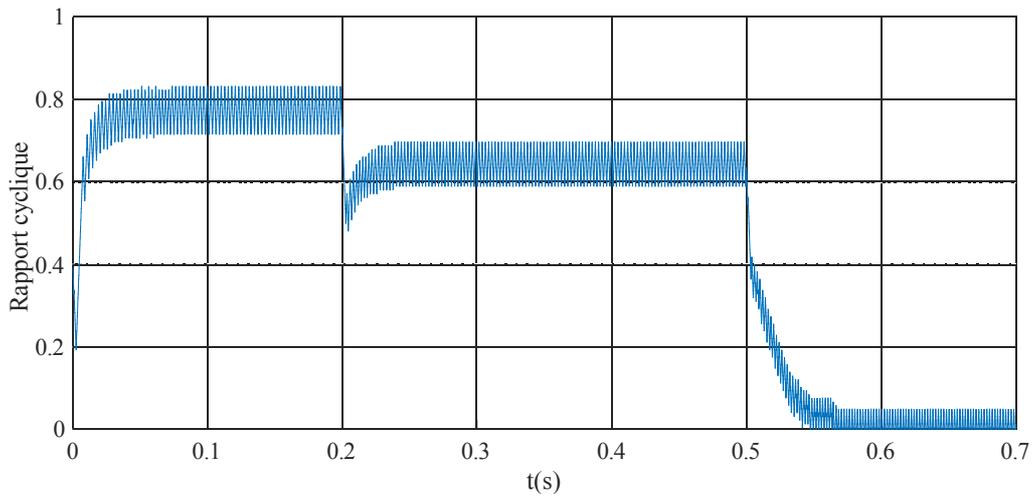
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure II-4 : évolution du système sous l’algorithme P&O avec un pas $dd=0.09$.

II.3 Algorithme FLC

Le schéma de contrôle est présenté sur la figure II-5. L’algorithme flou étudié dans ce mémoire n’arrive pas à atteindre le point de puissance maximale globale comme l’algorithme précédant P&O décrit par la figure II-6.

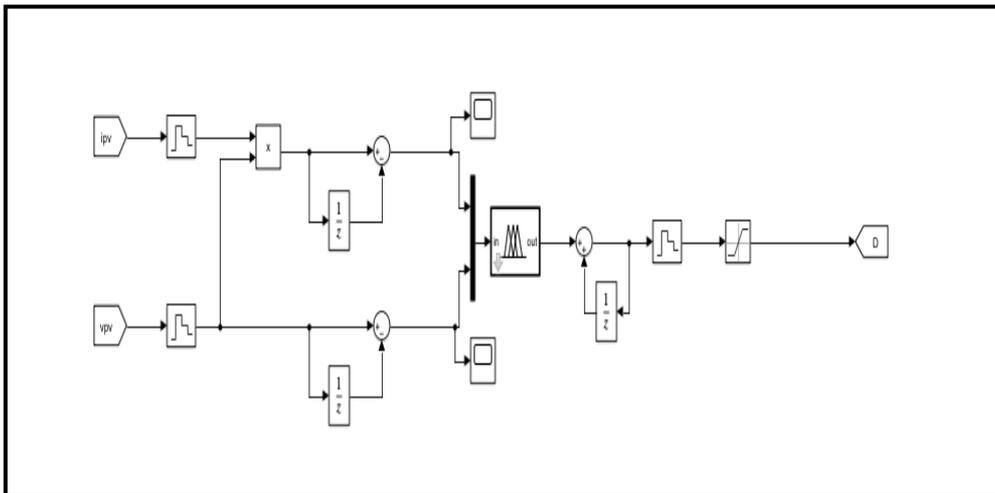
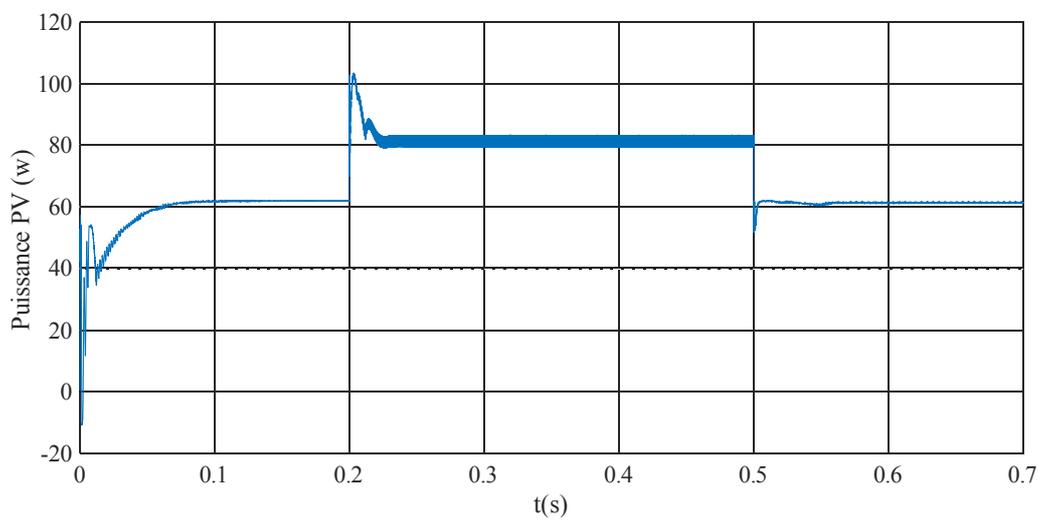


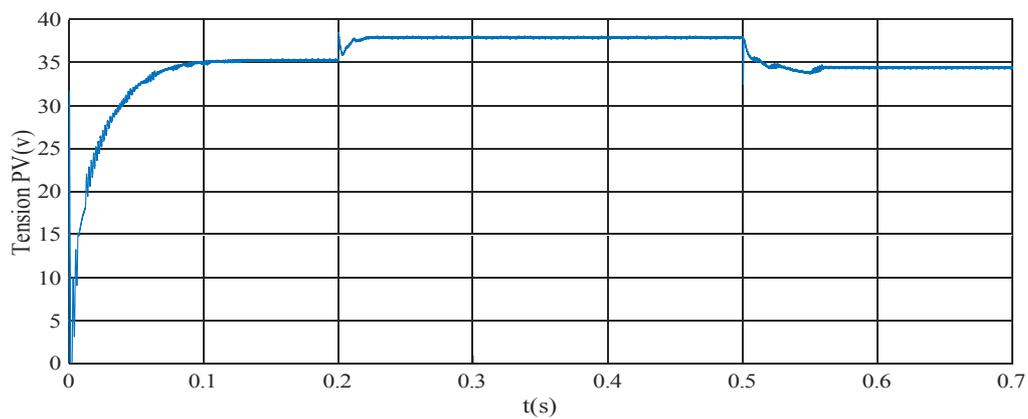
Figure II-5 : Schéma de contrôle de l’algorithme flou FLC.

L'algorithme FLC a pu rattraper le point de puissance maximale $p = 61.85 \text{ w}$ entre (0s et 0.2s, puis 0.5s et 0.7s). Par contre entre (0.2s et 0.5s) l'algorithme dévie du point de puissance $p = 108.5 \text{ w}$ qui prouve l'incompétence de l'algorithme FLC classique de répondre mieux pendant l'ombrage.

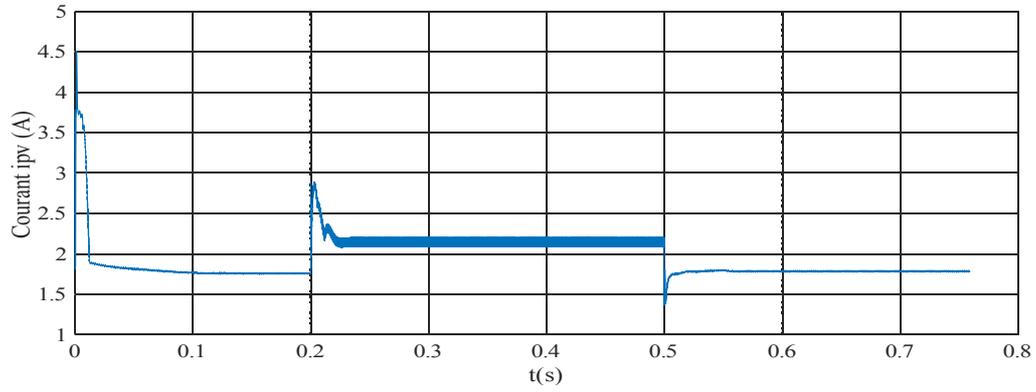
L'évolution de l'algorithme est bien montrée dans la figure II-6.



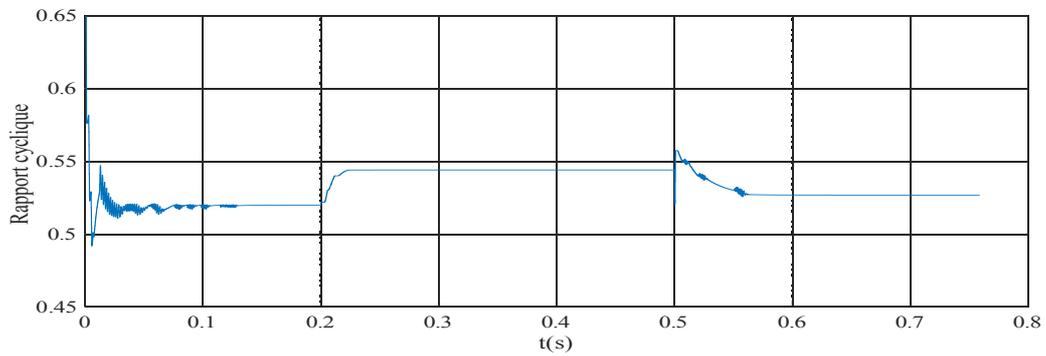
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure II-6 : évolution du système sous l'algorithme FLC.

II.4 Algorithme FLC proposé

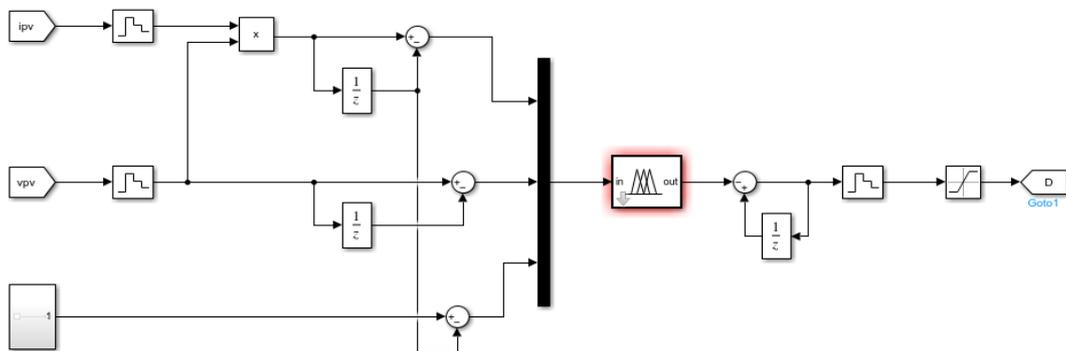
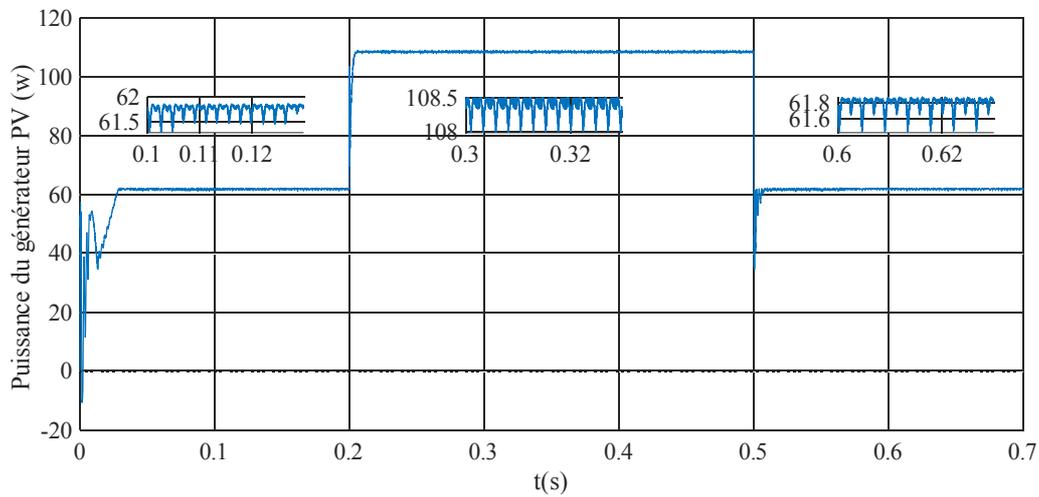
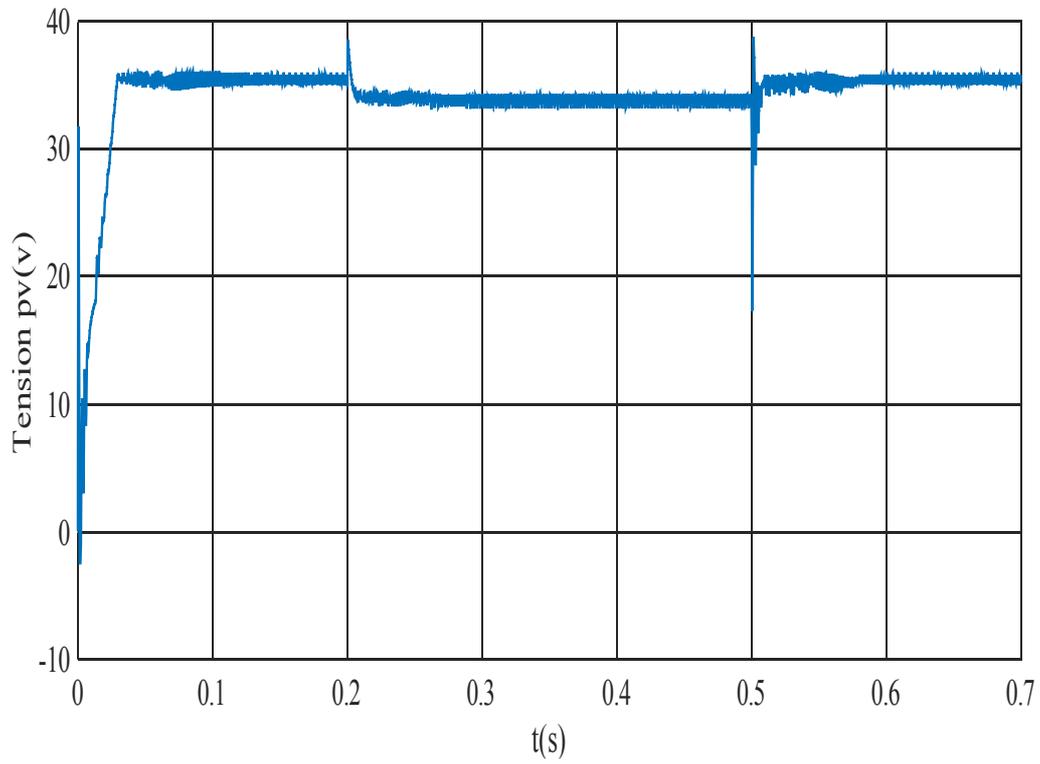


Figure II-7 : Schéma de contrôle de l'algorithme flou FLC proposé.

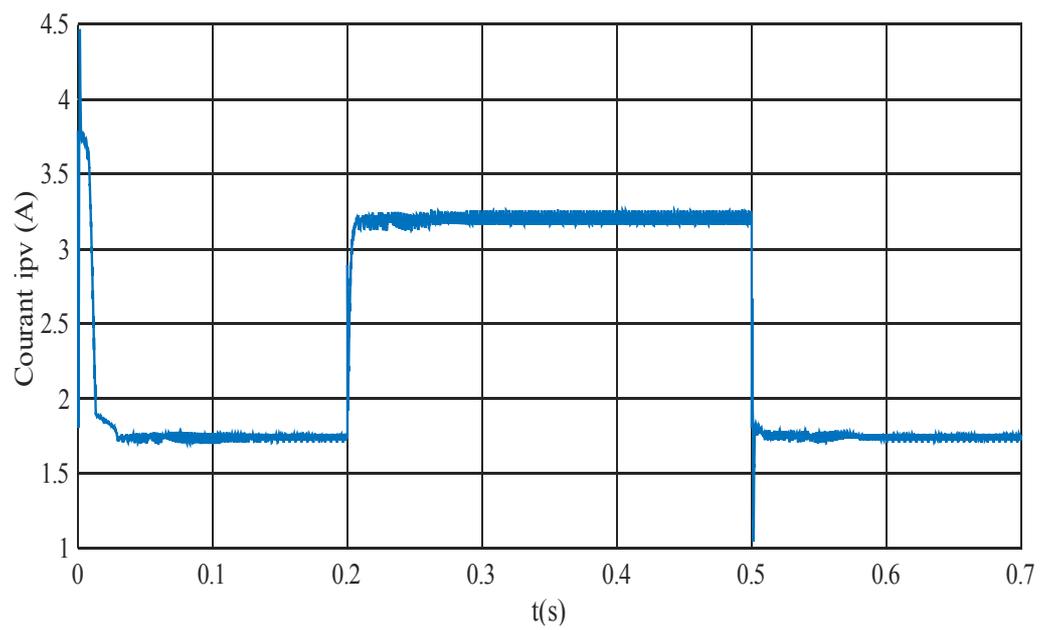
La figure II-7 décrit l'algorithme proposé FLC pour répondre mieux à l'ombrage partiel. Le profil de la puissance montre bien que l'algorithme suit la valeur souhaitée de la puissance maximale globale comme il est montré dans la figure II-8 (a). L'algorithme proposé a prouvé ses compétences vis-à-vis l'ombrage partiel. L'évolution des allures du courant et de la tension ainsi que le rapport cyclique prouve la capacité de l'algorithme pour rattraper le point de puissance maximale globale.



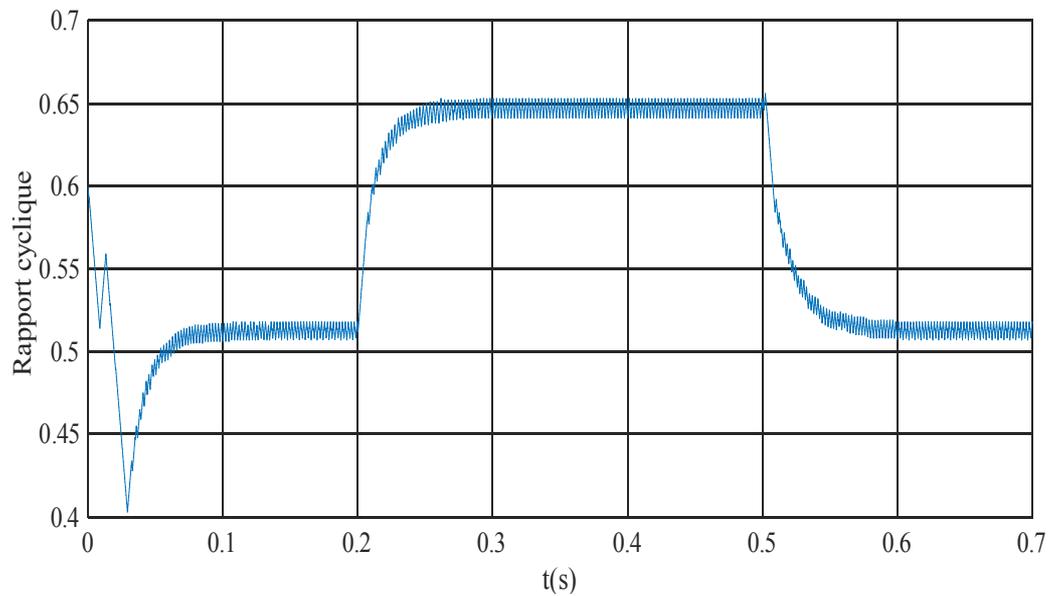
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure II-8 : évolution du système sous l’algorithme proposé.

II.4 Conclusion

Les algorithmes étudiés ont été présentés et simulés dans ce chapitre. Les avantages des algorithmes étudiés ont été présentés en détail. L’algorithme flou proposé afin de remédier le problème de l’ombrage partiel montre sa capacité en ce qui concerne la recherche du point de puissance maximale globale. Comme à futur travail, l’implémentation des algorithmes dans des prototypes expérimentaux seront envisagés.

Conclusion générale

Le travail

présenté dans ce mémoire concerne une application des plus actuelles de L'énergie renouvelable, celle de l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque.

L'énergie solaire photovoltaïque présente un intérêt particulier pour les pays en Voie de développement : elle est susceptible d'améliorer très rapidement et moyennant un coût optimal les conditions de vie et de productivité des habitations géographiquement dispersées

- La conversion photovoltaïque de l'énergie solaire est une des alternatives qui, a montré sa grande souplesse et son aptitude à fonctionner en milieu hostile. Il s'agit d'une solution intéressante aux moyens de productions conventionnels.
- Pour assurer le fonctionnement d'un générateur photovoltaïque à son point de puissance maximale, des contrôleurs MPPT sont souvent utilisés. Ces contrôleurs sont destinés à la poursuite PPM et à minimiser ainsi l'erreur entre la puissance de fonctionnement et la puissance maximale de référence qui est variable en fonction de la charge et des conditions climatiques.
- Les plus utilisés sont : Perturbe & Observe, Incrémental Conductance. Ces méthodes sont basées sur la recherche du maximum de la caractéristique P-V et ne sont efficaces que lorsque celle-ci ne contient qu'un seul maximum. Cependant, dans le cas d'un ombrage partiel, plusieurs collines peuvent apparaître dans la caractéristique P-V rendant la recherche du point de puissance maximale avec les algorithmes MPPT conventionnelles inefficaces

Références bibliographiques

[1] : Pastor, A.C., 2006. Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques (phdthesis). INSA de Toulouse.

[2]-<http://www.energies-renouvelables.org/accueil-systemes-solaires.asp>.

[3] : <https://www.habiter-autrement.org/12.energies/contributions-12/Intoduction-aux-systemes-photovoltaiques.pdf>

[4] **Revue Systèmes Solaires**, Journal des Énergies Renouvelables –http://www.energiesrenouvelables.org/accueil_systemes_solaires.

[5] **Serge Poignant** – L'énergie photovoltaïque, Rapport D'information, 2009, Assemblée Nationale Constitution du 4 Octobre 1958 Treizième Législature.

[6] **Jean jacques, Beziane**(18 Nov.2012) – L'énergie solaire.

[7] : Le photovoltaïque fonctionnement et technologies novembre 2010.

[8] Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat gétiquement autonome AkassewaTchapoSingo.

[9] Z. BENDJELLOULI, « Contribution à la Modélisation d'une Cellule Solaire », Mémoire de Magistère, Université de Bechar, Algérie, 2009.

[10]:Cédric CABAL Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque Le 15 Décembre 2008, DOCTORAT, DE L'UNIVERSITE DE TOULOUSE Délivré par l'Université Toulouse III – Paul Sabatier.

[11] : Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques le 05 Mars 2015, DOCTORAT, UNIVERSITE FERHAT ABBES - SETIF 1 UFAS(ALGERIE)

[12] **V. Boitier, C. Alonso**, (2013) Mémoire Pour l'obtention du titre de MAGISTER

Option : Physique énergétique Présenté Par : SMAÏL SEMAOUI Thème Etude del'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque Soutenu, le: 23 / 06 /2014 ; dimensionnement d'un Système Photovoltaïque.

[13] **F. Gama – Yettou** Revue des Energies Renouvelables CER'07 Oujda (2007) 141 –144 ; Etude et simulation du fonctionnement des installations photovoltaïques

[14] : N. Aouchiche , M.S. Aït Cheikh et A. Malek, Poursuite du point de puissance maximale d'un système photovoltaïque par les méthodes de l'incrémentation de conductance et la perturbation & observation Division Energie Solaire Photovoltaïque Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, 16340, Algiers, Algeria 2 Département d'Electronique, Ecole Nationale Polytechnique Avenue Hassen Badi, El Harrach, Algiers, Algeria (reçu le 10 Mai 2013 – accepté le 30 Septembre 2013).

[15] : J.C. BEKALE and F. TARTARIN, “ Etudier et RØaliser des Applications Temps Réel pour une Carte DSP DS1104 ”, Projet Technique, 2004.

[16] : MENADI Abdelkrim, Commande Par Les Techniques Intelligentes D'un Système Photovoltaïque Connecté Au Réseau, Soutenue publiquement le .../.../2016. Doctorat LMD, Université Mohamed Khider – Biskra Spécialité : Génie Electrique, Option : Estimation et contrôle des systèmes

[17] H. I.-E. M. Momayyezán, G. Farivar, F. Miragha, “An Improved FLC Algorithm for Tracking Maximum Power Point in Photovoltaic Systems,” *Power Electron. Drive Syst. Technol. (PEDSTC)*, 2012 3rd, Tehran, pp. 342–347, 2012.

[Ker89] E. C. Kern, E. M. Gulachenski, G. A. Kern, "*Cloud effects on distributed photovoltaic generation: Slow transients at the Gardner, Massachusetts photovoltaic experiment*", IEEE Trans. Energy Convers., vol. 4, no. 2, Jun. 1989.

[18] J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. G. de Vicuna, and M. Castilla, "Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids—A general approach toward standardization," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 158–172, Jan. 2011.

[19] J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. G. de Vicuna, and M. Castilla, "Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids—A general approach toward standardization," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 158–172, Jan. 2011.

[Ast08] S. ASTIER, "*Conversion photovoltaïque : de la cellule au système*", Techniques de l'Ingénieur, Traité de Génie Electrique D3936, 2008.

[Woy03] A. Woyte, J. Nijs, R. Belmans, "*Partial shadowing of photovoltaic arrays with different system configurations: literature review and field test results*", *Solar Energy*, vol. 74, Issue 3, 2003

[Ayr00] M. Ayres, D. Wait, M. Weiderholt, L. Truong, "*Photovoltaic cell model for the International Space Station*", *IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2000.

Ast07] S. ASTIER, "*Conversion photovoltaïque : du rayonnement au système*", Techniques de l'Ingénieur, Traité de Génie Electrique D3935, 2007.

[Ric05] A. Ricaud, "*Modules photovoltaïques: filières technologiques*", Techniques de l'ingénieur, D3940, 2005.

[Alo06a] M. C. Alonso-Gracia, J. M. Ruiz, F. Chenlo, "*Experimental study of mismatch and shading effects in the I–V characteristic of a photovoltaic module*", *Solar Energy Mater. Solar Cells*, vol. 90, no. 3, Feb. 2006.

