

République Algérienne Démocratique & Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur & de la Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar – El Oued
Faculté de technologie
Département de réseau électrique



Mémoire

Présenté pour l'obtention de diplôme de Master

II Option : Didactique du FLE

**Modélisation et contrôle d'un système photovoltaïque
(étude comparative entre méthode classique et logique flow)**

Intitulé

Réalisé par :

GHENDIR MABROUK Mohammed

KADDOURI Mohammed Seghir

BEKKOUCHE Amina

Supervisé par :

Dr. MAAMRI Oussama

Présenté et soutenu publiquement

Devant le jury composé de

Dr. Labbi Yacine

Dr. Barka Noureddine

Année Universitaire : 2023/2024

الله أكبر
الحمد لله
الذي هدانا لهذا
والذي كنا لا ندر

Remerciements

إلى من أضاءوا دربى وساندوني في رحلتي العلمية

إلى والديّ الحبيين

أهدي ثمرة جهدي ونجاحي إلى والديّ الحبيين، اللذان كانا سنداً لي في كل خطوة، وشجعاني على مواصلة السعي لتحقيق أحلامي. شكراً لحُبكما ودعمكما المتواصل، ولإيمانكما الدائم بقدراتي.

إلى أستاذي الكريم

أهدي هذا العمل إلى أستاذي الكريم، الدكتور أسامة معمرى، الذي آمن بقدراتي وشجعني على البحث العلمي، وقدم لي كل ما يلزم من دعم وتوجيه. شكراً لللماتك الملهمة ونصائحك القيّمة التي ساهمت في صفق مهاراتي وتطوير قدراتي.

إلى زملائي الأعزاء

أهدي هذا الإنجاز إلى زملائي الأعزاء الذين شاركوني رحلة الدراسة، وقدموا لي الدعم والتشجيع شكراً لصداقتكم وتعاونكم، ولذكرياتنا الجميلة التي ستبقى محفورة في ذاكرتي.

إلى نفسي

أهدي هذا النجاح إلى نفسي، إيماناً بقدراتي وإمكانياتي، وإثباتاً لقدرتي على تحقيق أحلامي مهما واجهت من صعوبات وتحديات.

الملخص:

"في هذا السياق، نقدم نظامًا ضوئيًا يعمل مع رافع الجهد بهدف تحقيق متابعة جيدة لنقطة القدرة القصوى، نطبق خوارزميتين: خوارزمية الإزعاج والمراقبة (P&O) وخوارزمية تتبع نقطة القدرة القصوى (MPPT) المعتمدة على المنطق الضبابي. بالإضافة إلى ذلك، سنقوم بإجراء دراسة مقارنة بين الخوارزميتين. وتؤكد اختبارات المحاكاة باستخدام Matlab/Simulink صحة أداء كلتا الخوارزميتين".

الكلمات المفتاحية: المنطق الضبابي، P&O، MPPT، رافع الجهد، اللوح الشمسي.

Résumé

Dans ce contexte, nous présentons un système photovoltaïque fonctionnant avec un hacheur survolteur. Dans le but d'atteindre un bon suivi du point de puissance maximale, nous appliquons deux algorithmes: algorithme Perturbation et Observation (P&O) et l'algorithme MPPT basé sur la logique floue. Ainsi que, nous allons faire une étude comparative entre les deux algorithmes. Les tests de simulation sous Matlab/Simulink viennent confirmer la validité des performances des deux algorithmes.

Mots clés: Logique floue, P&O, MPPT, Hacheur survolteur (Boost), Générateur photovoltaïque.

Abstract:

In this context, we present a photovoltaic system operating with a Boost chopper. In order to achieve good tracking of the maximum power point, we apply two algorithms: Perturbation and Observation (P&O) and MPPT based on fuzzy logic algorithms. As well as, we are going to make a comparison study between the two algorithms. The simulation tests under Matlab / Simulink confirm the validity of the performances of the two algorithms.

Keywords: Photovoltaic Generator, MPPT, P&O, Fuzzy Logic, Boost Chopper.

Sommaire

Remercîments	3
المخلص:	4
Sommaire.....	5
Liste des Figures	8
Liste des tableaux	9
Étude bibliographique.....	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة. 10
Introduction générale	10
Chapitr I : Généralité sur les panneaux solaires et système photovoltaïque	
I.1. Introduction :	4
I.2. L'énergie :	4
I.2.1. Définition de l'énergie	4
I.2.2. Les énergies renouvelables	4
I.3. L'énergie solaire photovoltaïque :	4
I.4. L'effet photovoltaïque :	5
I.5. La cellule photovoltaïque :	5
I.5.1. Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque :	7
I.5.2. Types de cellules photovoltaïques	8
I.5.2.1. Cellules cristallines	8
I.5.2.2. Cellules monocristallines :	8
I.5.2.3. Cellules polycristallines :	8
I.5.2.4. Cellules à couches minces	9
1.5.3. Paramètre des cellules photovoltaïques	9
I.5.3.1. Tension à circuit ouvert, VCO :	9
1.5.3.2. Courant de court-circuit, ICC :	10
I.5.3.4. Facteur de qualité :	10
I.5.3.5. Facteur de forme :	10
I.5.4. Rendement des différents types de cellules.....	10
I.5.5. Association des cellules :	12
I.5.5.1 Association en série :	12
1.5.5.2. Association en parallèle :	12
I.5.5.3. Association mixte	13
I.5.6. Influence des paramètres sur la cellule photovoltaïque :	13

I.5.6.1. Paramètres internes :	13
I.5.6.1.1 Influence de la résistance série :	13
I.5.6.1.2 Influence de la résistance shunt :	14
I.5.6.2. Paramètres externes:	14
I.5.6.2.1 Influence de l'éclairement :	14
I.6. Les différents types du système PV :	16
I.6.1 Systèmes autonomes :	16
I.6.2 Systèmes hybrides :	17
I.6.3 Systèmes accordés au réseau :	17
I.7. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :	17
I.7.1. Avantages :	17
I.7.2. Inconvénients :	17
I.8. Circuit équivalent a une cellule photovoltaïque	18
I.8.1. Le photo-courant:	19
I.8.2. Le courant de saturation (I_0)	19
I.8.3. Le courant de saturation inverse de la diode (courant de fuite)	20
I.8.4. Le courant du panneau	20
I.9. Les convertisseurs statiques:	20
I.9.1. Convertisseur DC-DC (hacheur) :	21
I.9.1.1 Hacheur survolteur (boost) :	21
I.9.1.2. Hacheur dévolteur (Buck) :	22
I.9.1.3. Hacheur dévolteur- survolteur (Buck-boost) :	22

Chapitre II : Etude sur La commande MPPT

II.1. Introduction.....	25
II.2. La commande MPPT:	25
II.3. Commande MPPT des convertisseur DC-DC:	26
II.4. Principe de la commande MPPT:	27
II.5. Classification des commandes MPPT:.....	28
II.5.1. Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée:	28
II.5.1.1. Commande MPPT fonctionnante à partir des paramètres d'entrée :	28
II.5.2. Classification des commandes MPPT selon le type de recherche :	29
II.5.2.1 MPPT indirect:.....	29

II.6. Différents types de commande MPPT :	30
II.6.1. Commande MPPT par la méthode classique	30
II.6.1.1. Algorithme Perturber et Observer (P&O):.....	31
II.6.1.2. Algorithme Incrément de la Conductance (INC).....	33
II.6.2. Commande MPPT par la méthode logique floue :	36
II.6.2.2 l'inférence:	37
II.6.2.3 défuzzification.....	37
II.7. Synthèse des commandes MPPT :	38
II.8. Conclusion :	40

Chapitr III : Simulation et résultat de la command MPPT

III.1. introduction:	45
III.2. simulation d'un module photovoltaïque :	45
III.2.1.1. Schéma de fonctionnement:	49
III.2.1.2. Schéma d'inférence Le schéma d'inférence floue est celui de Mandani-Assilian : ..	49
III.2.2. Tableau des règles floue	49
III.2.1. Construction du courant Imppt : La valeur de courant Imppt obtenue de l'addition de la sortie de système floue dI avec la valeur précédente de Imppt (Imppt (k-1)).	50
III.2.2. Conception du contrôleur MPPT flou :	50
Conclusion Générale	53
Références bibliographiques.....	55

Liste des Figures

Figure I.1 – Semi-conducteur de type N.....	5
Figure I.2 – Semi-conducteur de type P	6
Figure I.3 – Représentation d’une jonction PN sous éclairnement	7
Figure I.4 : Présentation schématique d’une cellule solaire [5].	8
Figure I.5: Les images des différents types de cellule photovoltaïque.....	9
I.5.3.3. Puissance maximale:	10
Figure I.6: (a) Schéma d’un module formé d’un groupement des cellules en série [9].	12
Figure I.7 : (a) Schéma d’un module formé d’un groupement des cellules en parallèle [9]. ...	12
Figure I.8 : Schéma d’un module formé d’un groupement des cellules en série/parallèle.....	13
Figure I.9 : Influence de la résistance série sur la caractéristique (I-V) d’une cellule solaire.	13
Figure I.10 : Influence de la résistance shunt sur la caractéristique (I-V) d’une cellule solaire.	14
Figure I.11: Caractéristique I(V) d’un module pour différents éclairnements solaires.	15
Figure I.12: Caractéristique P(V) d’un module pour différents éclairnements solaires.	15
Figure I.13 : Caractéristique I(V) d’un module pour différentes températures.	16
Figure I.14 : Caractéristique P(V) d’un module pour différentes températures.	16
Figure I.15: schéma électrique d’une cellule photovoltaïque [16]	18
Figure I.16 : schéma équivalent d’une cellule idéale	19
Figure I.17: convertisseur DC-DC.....	21
Figure I.18 : schéma électrique de l’hacheur survolteur (boost)	21
Figure I.19 : schéma électrique du hacheur dévolteur (Buck).....	22
Figure I.20 : schéma électrique du hacheur dévolteur-survolteur (Buck-boost)	22
Figure II.1 : schéma de principe d’une connexion à travers un convertisseur DC- DC contrôlé par une commande MPPT [22].....	27
Figure II.2 : Fluctuation du PPM avec l’intensité d’éclairnement (a) et la charge R (b).	28
Figure II.3 : principe de la première commande MPPT	31
Figure II.4 : Caractéristique de fonctionnement de la méthode P&O.	32
Figure II.5 : Organigramme de l’algorithme Perturbation et Observation (P & O)	33
Figure II.6 : Caractéristique (p-v) de fonctionnement de la méthode IncCond.....	34
Figure II.7 : Organigramme de commande à incrémentation de conductance.	35
Figure II.8 : schéma bloc de l’algorithme à base de la logique floue.....	36
Figure II.9 : structure de base de la commande floue.....	37
Figure. III.1 : Schéma de simulation d’un module photovoltaïque	45
Figure.III.2 : Caractéristique I-V d’un module PV.	46
Figure.III.3 : Caractéristique P-V d’un module PV.	46
Figure III.4: Schéma de la commande MPPT (INC).....	47
Figure III.5 : Résultats de simulation des courbes de puissance	47
Figure III.6: Résultats de simulation du courant	48
Figure III.7: Résultats de simulation la tension.	48
Figure III.8 : Schéma de fonctionnement du système flou conçu via la fuzzy logic toolbox de Matlab.....	49
Figure III.9 : Schéma de la commande MPPT floue.....	51
Figure III.10 : Résultats de simulation des courbes de puissance	51
Figure III.11 : Résultats de simulation du courant	51
Figure III.12 : Résultats de simulation de la tension.	52
Figure III.13 : Résultats de simulation des courbes de puissance	52

Liste des tableaux

Tableau I.1 : le rendement de différents types de cellules photovoltaïques et leur domaine d'application : [8]....	11
Tableau (II.1) : Caractéristiques majeures des commandes MPPT [28].	39
Tableaux III.1 : Caractéristiques électriques du module PO KC200GT en condition de test standard [16].	46
Tableau III.2 : tableau des règles des systèmes floue (type I)	50

Introduction générale

Introduction générale

Face aux besoins énergétiques mondiaux croissants, à l'épuisement prévisible des ressources en combustibles fossiles et à la dégradation générale de l'environnement, il est essentiel de développer des sources d'énergie respectueuses de l'environnement. Les sources de ces énergies étant généralement nocives pour l'environnement, les pays en développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mettre en œuvre leur développement. La consommation de ces sources fossiles entraîne des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution atmosphérique, plus elles sont appauvries.

La solution réside dans l'alternative qui est des sources d'énergie fiables, rentables et renouvelables. Parmi ces sources figurent : l'énergie, l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'hydroélectricité, la géothermie et la biomasse. Inversement, pour les énergies fossiles. Les nouvelles énergies ne sont ni polluantes ni émissions gazeuses, l'effet de serre. La solution consiste à développer de bonnes sources d'énergie renouvelables sur le marché. Parmi eux, l'énergie photovoltaïque qui consiste en une conversion directe de l'énergie solaire en énergie électrique. C'est l'un des sujets les plus prometteurs et c'est le sujet Recherche approfondie. Contrairement aux autres énergies renouvelables (éoliennes, biomasse, eau ...), l'énergie solaire est disponible partout dans le monde avec plus ou moins d'intensité.

Le photovoltaïque solaire provient de la conversion directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Ce transfert d'énergie se fait à travers ce qu'on appelle une cellule photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photoélectrique, qui consiste à produire un motif électrique à la surface de cette cellule exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour fabriquer la cellule. L'énergie photovoltaïque issue de la conversion de l'énergie solaire souffre du problème d'amélioration, En raison des propriétés électriques non linéaires (courant-tension) du photovoltaïque, les performances de la cellule photovoltaïque dépendent fortement des conditions météorologiques, telles que le rayonnement solaire, la température et la vitesse du vent, pour Extraire l'énergie maximale d'un groupe de ces cellules s'appelle commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) méthode efficace pour résoudre ce problème d'optimisation. 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 du

système PV dans différentes conditions d'exploitation Plusieurs travaux ont abordé le problème de la recherche du point de fonctionnement permettant de tirer le maximum d'énergie des modules PV en utilisant différentes méthodes MPPT parmi ces méthodes on

peut citer la méthode perturbe observe et logique floue. Pour la décrire, cette mémoire est présentée en quatre chapitres.

Ce travail a pour but de présenter les différents modèles d'un générateur photovoltaïque PV reliée à un hacheur élévateur commandé par la technique MPPT (The maximum power point tracking) pour atteindre cet objectif il faut réaliser les étapes suivantes :

- Généralité sur Les Système Photovoltaïques.
- Simulation du panneau PV étude de l'hacheur survolteur dans un système photovoltaïque
- Présentation de l'aspect théorique des commandes MPPT.
- Application de deux algorithmes de commandes MPPT, la méthode perturbe et observe et la commande MPPT par la logique floue sur notre système PV.
- Etude comparative des résultats obtenus par les deux méthodes.

Sur la base de ce que nous avons discuté précédemment, nous soulevons le problème suivant : Quelle est la manière idéale de trouver le point de puissance maximale ?

Chapitr I :
Généralité sur les panneaux
solaires et système
photovoltaïque

I.1. Introduction :

Actuellement dans le monde, l'énergie électrique est produite, en très grande partie, grâce à la combustion des carburants fossiles (charbon pétrole et gaz naturel) ou d'éléments radioactifs. L'impact nocif de ces procédés de production d'électricité sur l'environnement terrestre est très important du fait de l'émission des gaz à effet de serre et la génération de déchets radioactifs. Pour des considérations écologiques et pour remédier aux effets néfastes de la pollution due aux énergies fossiles, l'Homme s'oriente de plus en plus vers l'utilisation de ressources propres et renouvelables, dont l'énergie solaire.

La production de l'électricité par les systèmes photovoltaïques utilisant l'énergie solaire suscite un plus grand intérêt, connaît une croissance significative et trouve de plus en plus de nouvelles applications. D'où, l'intérêt d'étudier minutieusement cette ressource d'énergie dont sa composante photovoltaïque. Les éléments constitutifs des systèmes photovoltaïques, leurs fonctions, avantages et inconvénients seront définis.

I.2. L'énergie :

I.2.1. Définition de l'énergie

C'est une grandeur physique nécessaire a la réalisation de travail qui a des plusieurs formes et d'actions comme fournir de la chaleur, de la lumière et fait tourner ou déplacer des objets.

I.2.2. Les énergies renouvelables

Ce sont ces énergies qui ne se terminent pas avec le temps et qui sont disponibles en grande quantité. Elles ne produisent pas d'émissions polluées pendant la phase d'exploitation et contribuent ainsi à lutter contre l'impact du réchauffement climatique et du réchauffement climatique.

Et les cinq formes d'énergies renouvelables les plus importants sont (la géothermie, la biomasse, l'énergie hydraulique, l'énergie éolienne et l'énergie solaire photovoltaïque).

I.3. L'énergie solaire photovoltaïque :

C'est l'énergie obtenue des rayons solaires qui utilise les panneaux photovoltaïques pour convertir une partie du rayonnement solaire en énergie électrique directement par la cellule photovoltaïque, cette énergie répond parfaitement aux besoins des sites isolés et dont le raccordement au réseau électrique est trop onéreux, Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon [1].

I.4. L'effet photovoltaïque :

Le physicien français Edmund Becquerel a remarqué pour la première fois en 1839 l'effet photovoltaïque et que l'énergie transmise par les photons est la principale composante de la transformation photovoltaïque. Là où une petite quantité de courant peut être produite sous l'influence de la lumière à travers un capteur fabriqué à partir de matériaux sensibles à l'énergie contenus dans des photons, et ce capteur est présenté à l'échelle de base sous la forme d'une cellule PV, et la recherche s'est poursuivie jusqu'aux années 1950, lorsque des chercheurs de la Bell Company aux États-Unis ont pu créer la première cellule solaire. Composante principale ou principale de la transformation photoélectrique [2].

I.5. La cellule photovoltaïque :

Le fonctionnement de la photopile est basé sur les propriétés électroniques acquises par le silicium quand des atomes étrangers en petit nombre (des impuretés) sont substitués dans un réseau cristallin. Cette action est appelée dopage [14].

- Si l'atome d'impureté contient plus d'électrons que le silicium, le matériau est le siège d'électrons libres en excès : il est de type N (exemple : silicium dopé au phosphore)(Figure I.1).

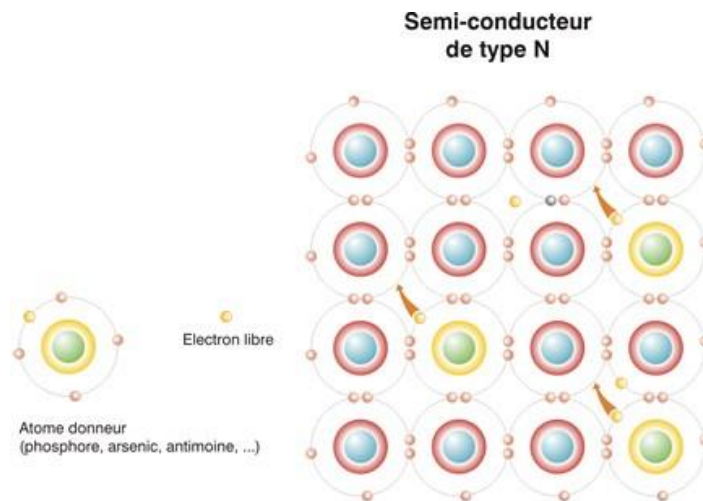


Figure I.1 – Semi-conducteur de type N

- Si l'atome d'impureté contient moins d'électrons que le silicium, le matériau sera déficitaire en électrons : il est de type P (exemple : silicium dopé au bore).(Figure I.1)

La fabrication des cellules s'effectue à partir de lingots de silicium. Ces lingots sont découpés en fines couches de type P ou N en y diffusant du bore ou du phosphore. La cellule solaire est obtenue en constituant une jonction de deux zones de types opposés (jonction PN). Au voisinage de la jonction apparaît un champ électrique qui maintient la séparation des charges positives et négatives. Des contacts métalliques en formes de grille, contacts avant et arrière, y sont déposés [15] .

La cellule photovoltaïque est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants [16] :

- Absorption des photons par le matériau constituant le dispositif;
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création des paires électrons/trous dans le matériau semi-conducteur;

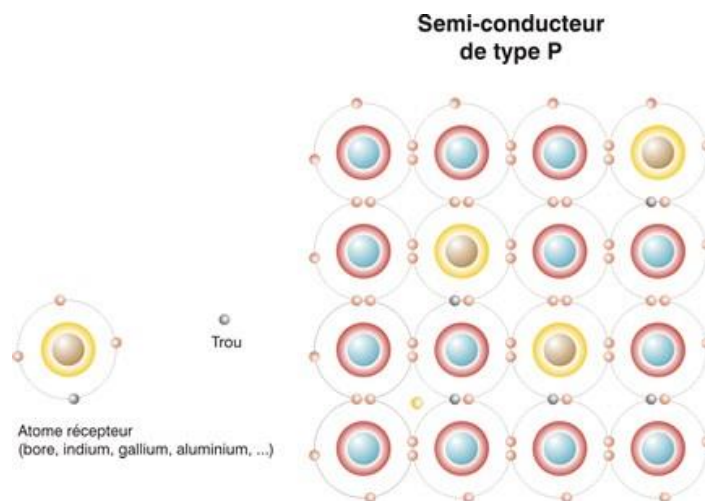


Figure I.2 – Semi-conducteur de type P

- Collecte des particules générées dans le dispositif.

Le matériau constituant la cellule photovoltaïque doit posséder deux niveaux d'énergie et être suffisamment conducteur pour permettre l'écoulement du courant : d'où l'intérêt des semi-conducteurs.

Pour collecter les particules générées, un champ électrique permettant de dissocier les paires électrons / trous créés est nécessaire, une jonction PN est utilisée le plus souvent (Figure I.2).

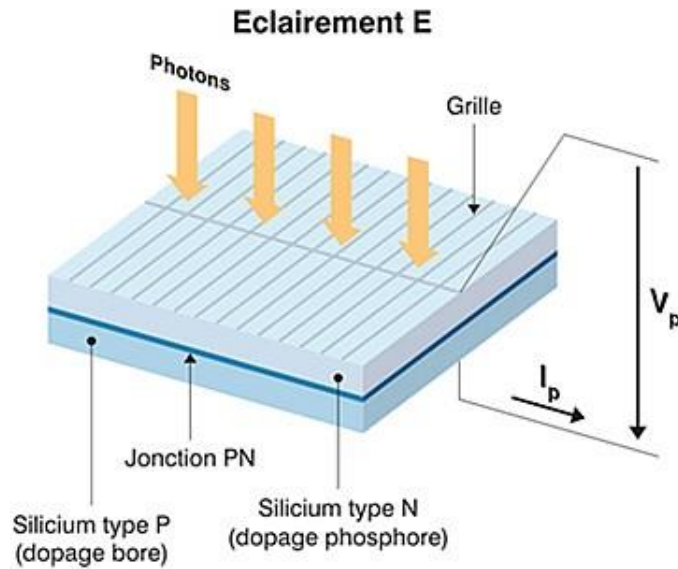


Figure I.3 – Représentation d'une jonction PN sous éclairage

I.5.1. Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque :

Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque est fondé sur la collision de molécules photosynthétiques (photons) avec un élément semi-conducteur tel que le silicium, qui sépare les électrons de leurs atomes. Ainsi, les électrons supplémentaires sont dispersés de manière aléatoire.

Le mouvement des électrons est contrôlé en plaçant deux types de silicium, le premier côté étant anesthésié par des atomes de phosphore qui contiennent plus d'électrons que le silicium, de sorte qu'ils deviennent chargés négativement et appelés la région narcotique N. D'autre part, il est anesthésié par des atomes de bore qui contiennent un plus petit nombre d'électrons de silicium, de sorte qu'ils deviennent chargés positivement en raison d'un manque d'électrons appelés la région narcotique P. Cette double face devient un peu une batterie qui s'appelle (jonction pn).

En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi une paire électron - trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel [5]. Voir la figure (I.4) :

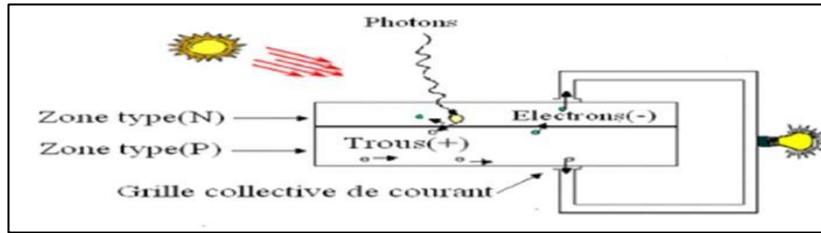


Figure I.4 : Présentation schématique d'une cellule solaire [5].

I.5.2. Types de cellules photovoltaïques

La production de cellules photovoltaïques dépend principalement de leur Rendement et de leurs coûts, et la plupart des recherches sont dirigées dans ce domaine.

Les technologies des cellules solaires se sont développées de manière très diverse. On distingue en général les cellules cristallines et les cellules à couches minces.

I.5.2.1. Cellules cristallines

La plupart des cellules solaires disponibles sur le marché mondial, sont à base de silicium, On Reconnaît deux types des cellules sont :

I.5.2.2. Cellules monocristallines :

C'est la première génération de photopiles, cette cellule est effectivement composée d'un seul cristal divisé en deux couches. Les cellules monocristallines permettent d'obtenir de hauts rendements. Mais le processus de fabrication est complexe et difficile, et donc très coûteux. [6].

- Un taux de rendement excellent (12-16%) (23% en Laboratoire).
- Une méthode de fabrication laborieuse et difficile, donc très chère.
- Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir du cristal pur [10].

I.5.2.3. Cellules polycristallines :

Sont composées d'un agglomérat de cristaux. Elles aussi proviennent du sciage de blocs de cristaux, mais ces blocs sont coulés et sont dès lors hétérogènes. le cout de fabrication est moins important cependant leur rendement est plus faible [6]. Voici quelques avantages et inconvénients :

- Coût de production moins élevé.
- Procédé nécessitant moins d 'énergie.
- Rendement 11-13% (18% en Labo)

I.5.2.4. Cellules à couches minces

Elles sont également appelées cellules de deuxième génération car elles suivent historiquement des cellules en silicium cristallin relativement épaisses et sont considérées comme l'une des technologies les moins chères en raison de leur production grâce à un processus de revêtement sur de grandes surfaces. Il peut même être placé sur des supports flexibles. Divers matériaux semi-conducteurs entrent en ligne de compte pour cette technologie : le silicium amorphe et Micro-morphe, le Cd-Te (tellurure de cadmium), le CIS (sélénium de cuivre et d'indium), Parfois aussi le CIGS (sélénium de cuivre, indium et gallium). [7] Voici quelques avantages et inconvénients :

- Coût de production bien plus bas.
- Rendement plus bas : 8-10% (13% en labo).
- Durée de vie plus faible.

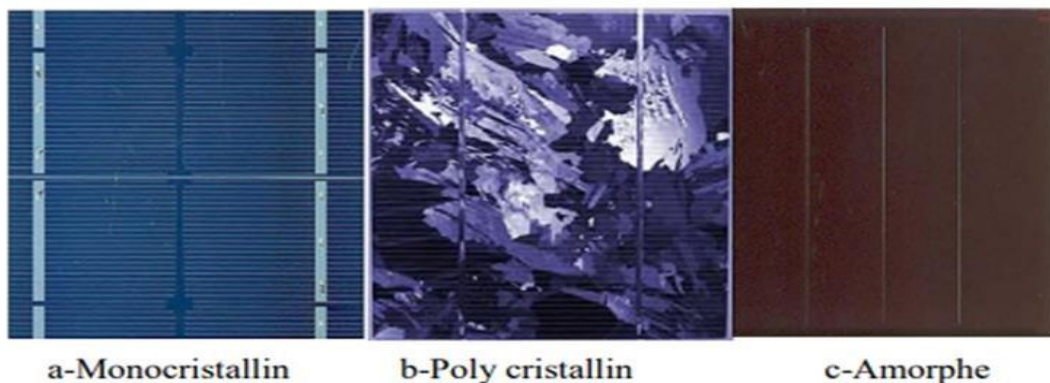


Figure I.5: Les images des différents types de cellule photovoltaïque

1.5.3. Paramètre des cellules photovoltaïques

Ces paramètres sont extraits des caractéristiques courant-tension, permettent de comparer différentes cellules éclairées dans des conditions identiques.

I.5.3.1. Tension à circuit ouvert, VCO :

On obtient la tension de circuit ouvert lorsque le courant traversant la cellule est nul en fonction de la barrière de puissance et de la résistance de shunt (varie légèrement avec l'éclairage) Cette valeur correspond à la tension de coupure de la diode, confirmant le fait que la cellule solaire peut être assimilée à une jonction PN. Pour obtenir une tension plus élevée à la sortie de l'unité, il sera nécessaire de connecter des cellules en série [12].

1.5.3.2. Courant de court-circuit, ICC :

Ce courant appelé courant de court-circuit ICC est obtenu en raccourcissant les bornes du circuit de la cellule (en prenant $V = 0$ dans le graphique équivalent) le courant d'image fourni par la cellule est proportionnel à l'intensité de la lumière et à la surface de la plaque appliquée et dépend de la température, du mouvement des porteurs et de la longueur d'onde du rayonnement

$$I_{cc}(V = 0) = I_{ph} \quad (I.1)$$

1.5.3.3. Puissance maximale:

La puissance fournie au circuit extérieur par une cellule photovoltaïque sou éclairement dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes de la cellule). Cette puissance est maximale (notée P_{max}) pour un point de fonctionnement $P_{max}(I_{max}, V_{max})$ de la courbe courant-tension (courants compris entre 0 et I_{CC} et tension comprise entre 0 et V_{CO}).

1.5.3.4. Facteur de qualité :

C'est un paramètre dépendant de la qualité de la diode, (compris entre 1 et 2).

1.5.3.5. Facteur de forme :

On appelle facteur de forme FF (Filling Factor), le rapport entre la valeur maximale de la puissance pouvant être extraite ($P_{max} = I_{max} \times V_{max}$) de la photopile sous les conditions de mesures standardisées, et le produit $I_{cc} \times V_{co}$ où:

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

1.5.4. Rendement des différents types de cellules

Le rendement permet une comparaison de l'efficacité de différentes cellules, qui est le rapport de l'énergie produite par la cellule et de l'éclairage absorbé par la cellule multiplié par la surface de la cellule. Ce rendement a pour formule :

$$\eta = \frac{P_m}{E \times S} \quad (I.3)$$

- η : Le rendement de la cellule photovoltaïque

- P_m : La puissance produite la cellule photovoltaïque
- E : L'éclairement absorbé par la cellule
- S : La surface de la cellule [m^2].

Le tableau ci-dessous montre le rendement de différents types de cellules photovoltaïques et leur domaine d'application :

Tableau I.1 : le rendement de différents types de cellules photovoltaïques et leur domaine d'application : [8]

Type de cellule	Rendement des cellules PV			Domaines d'applications
	théorique	en laboratoire	disponibles	
Si mono (silicium monocristallin)	27,0 %	24,7 %	14,0-16,0 %	Modules de grandes dimensions pour toits et façades, appareils de faibles puissances, espace (satellites)
Si poly (silicium polycristallin)	27,0 %	19,8 %	12,0-14,0 %	Modules de grandes dimensions pour toits et façades, générateurs de toutes tailles (reliés réseau ou sites isolés)
Si a (silicium amorphe)	25,0 %	13,0 %	6,0-8,0 %	Appareils de faible puissance production d'énergie embarquée (calculatrice, montres...) modules de grandes dimensions (intégration dans le bâtiment)
GaAs	29,0 %	27,5 %	18,0-20,0 %	Systèmes de concentrateur, espace (satellites).
CIGS (sélénure de cuivre, indium et gallium)	27,5 %	18,2 %	10,0-12,0 %	Appareils de faibles puissances, modules de grandes dimensions (intégration dans le bâtiment)
CdTe (tellure de Cadmium)	28,5 %	16,0 %	8,0 %	Modules de grandes dimensions (intégrations dans le bâtiment)

I.5.5. Association des cellules :

De nombreuses cellules aux propriétés similaires sont connectées électriquement pour former un générateur photoélectrique. La méthode de dictée de ces cellules varie en fonction des caractéristiques requises telles que l'énergie, le courant de court-circuit ou la tension de circuit ouvert.

I.5.5.1 Association en série :

Par association en série, les cellules sont traversées par le même courant et la tension résultante correspond à la somme des tensions générées par chacune des cellules [10]. Comme indiqué sur la figure (I.6).

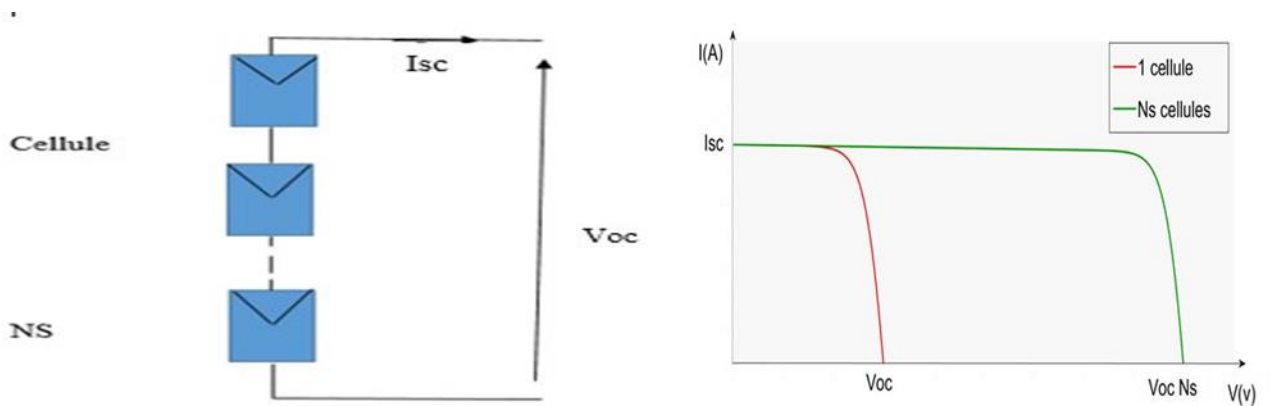


Figure I.6: (a) Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en série [9].

(b) Caractéristique d'un groupement des cellules en série.

1.5.5.2. Association en parallèle :

Par association en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et le courant résultant correspond à la somme des courants générés par chacune des cellules [10]. Comme indiqué sur la figure (I.7).

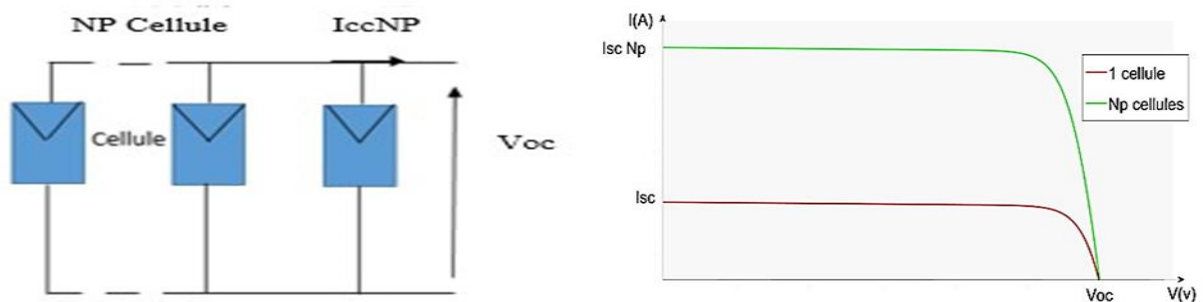


Figure I.7 : (a) Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en parallèle [9].

(b) Caractéristique d'un groupement des cellules en parallèle.

I.5.5.3. Association mixte

Pour atteindre une grande résistance, il est nécessaire de connecter plusieurs cellules en chaîne et en parallèle, car une cellule n'est pas suffisante pour faire fonctionner un courant électrique de la taille requise. Cette interconnexion d'unités détermine le concept de générateur photoélectrique (GPV).

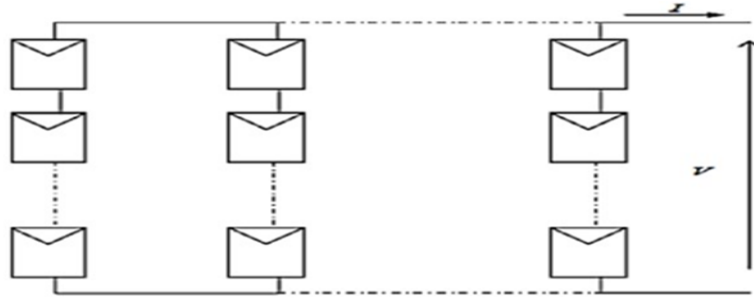


Figure I.8 : Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en série/parallèle.

I.5.6. Influence des paramètres sur la cellule photovoltaïque :

De nombreux paramètres affectent le rendement des cellules il peut être classé en deux catégorie :

I.5.6.1. Paramètres internes :

Ces paramètres sont directement liés au processus de fabrication, à la présence de défauts structuels et aux conditions de surface.

I.5.6.1.1 Influence de la résistance série :

La résistance série représente les pertes dues aux effets joule dus au contact entre les différentes régions qui composent la cellule.

La figure (I.9) ci-dessous illustre l'effet de la résistance série sur la caractéristique (I-V) de la cellule solaire sous éclairement.

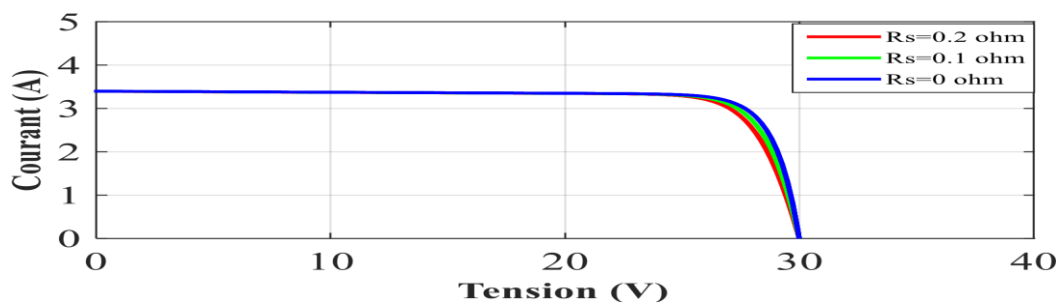


Figure I.9 : Influence de la résistance série sur la caractéristique (I-V) d'une cellule solaire.

On remarque sur la figure que la tension en circuit ouvert (V_{co}) et le courant de courtcircuit (I_{cc}) ne changent pas avec la variation de la valeur de la résistance de chaîne mais des distorsions se produisent dans la région où la cellule opère la source de la tension. Ce qui implique une perte de puissance donc une perte de rendement.

I.5.6.1.2 Influence de la résistance shunt :

La résistance shunt caractérise les pertes par recombinaison dues aux épaisseurs des régions N et P et de la zone de charge et d'espace.

La figure (I.10) ci-dessous illustre l'effet de la résistance parallèle sur la caractéristique (I-V) de la cellule solaire sous éclairage.

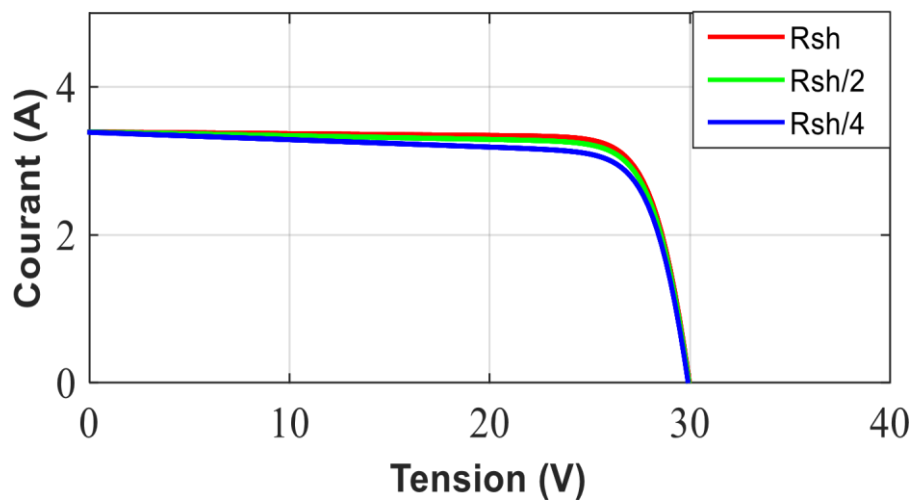


Figure I.10 : Influence de la résistance shunt sur la caractéristique (I-V) d'une cellule solaire.

On remarque que la tension de circuit ouvert (V_{co}) le courant du court-circuit (I_{cc}) et ne sont pas modifiés ; mais la caractéristique se déforme très rapidement.

I.5.6.2. Paramètres externes:

Ces paramètres sont généralement imposés par les conditions climatiques et dépendent principalement de l'atmosphère et de l'emplacement des installations.

I.5.6.2.1 Influence de l'éclairement :

En changeant l'intensité lumineuse entre 200 et 1000 et en maintenant une température constante, nous obtenons les deux figures (I.11) et (I.12) qui expliquent l'effet de l'éclairage sur les propriétés du courant et de la tension. Il est à noter qu'il affecte fortement la valeur du courant de court-circuit. par contre, son effet sur la valeur de la tension en circuit ouvert est très minime, ce qui signifie que la force optimale de la cellule est pratiquement proportionnelle à l'éclairage.

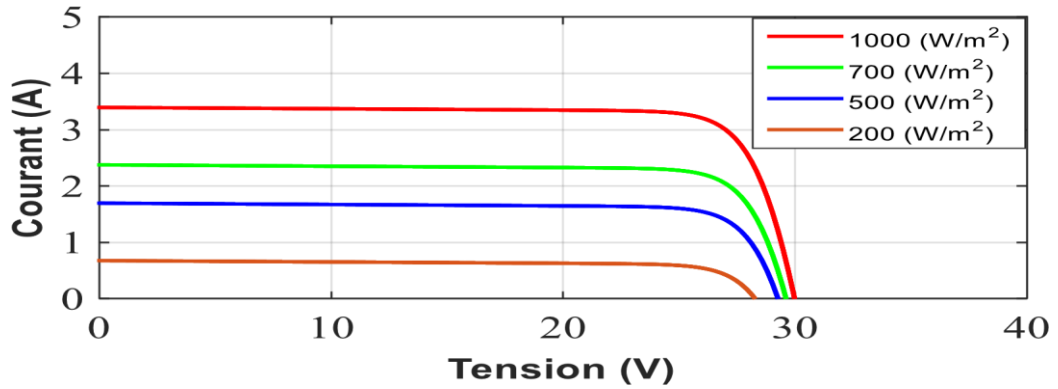


Figure I.11: Caractéristique I(V) d'un module pour différents éclairagements solaires.

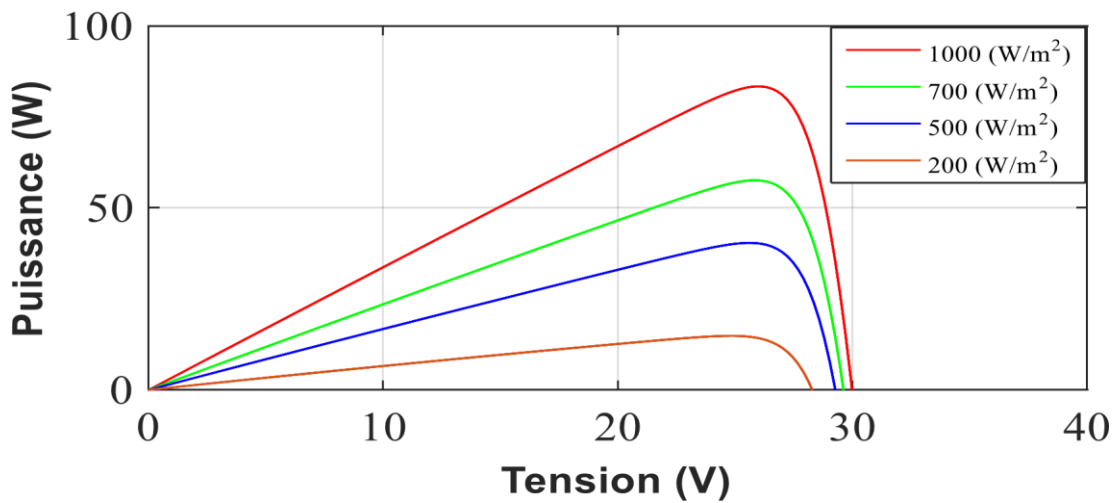


Figure I.12: Caractéristique P(V) d'un module pour différents éclairagements solaires.

I.5.6.2.2 L'influence de la température :

En changeant la température entre 25 et 50 et en maintenant un éclairage constant, nous obtenons les figures (I.13) (I.14) qui expliquent l'effet de la chaleur sur les propriétés du courant et de la tension. On remarque que la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente, par conséquent la puissance extractible diminue.

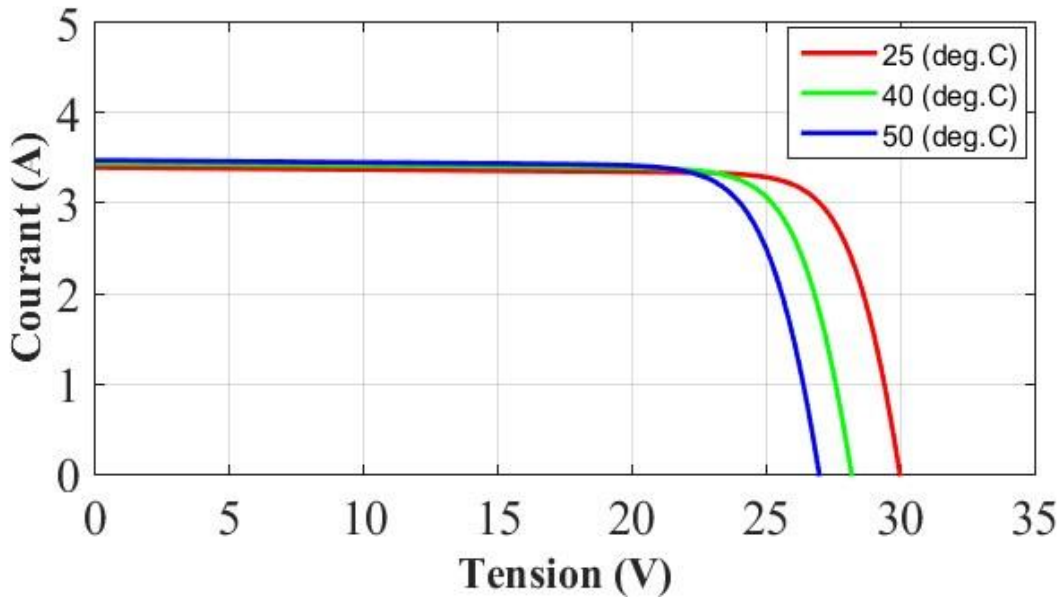


Figure I.13 : Caractéristique I(V) d'un module pour différentes températures.

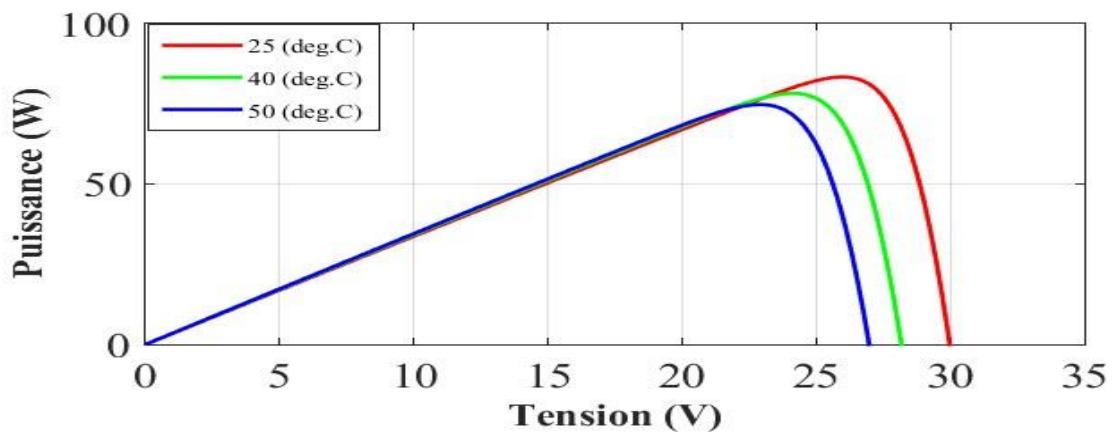


Figure I.14 : Caractéristique P(V) d'un module pour différentes températures.

I.6. Les différents types du système PV :

Les systèmes PV se composent de trois types : autonomes, en réseau et hybrides. Le type est choisi en fonction de l'emplacement, du budget ou des exigences.

I.6.1 Systèmes autonomes :

Une installation photovoltaïque autonome est une installation qui fonctionne indépendamment du réseau électrique ou toutes autres sources d'énergies. Il est généralement utilisé pour faire fonctionner des maisons, des chalets ou des camps dans des régions éloignées ainsi que pour des applications telles que la surveillance à distance et le pompage d'eau.

Ce sont des systèmes qui fonctionnent 24h / 24 avec la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique sans l'aide d'aucune autre source électrique. Par conséquent, il est nécessaire de stocker une partie de la production quotidienne des unités PV dans les batteries.

I.6.2 Systèmes hybrides :

Il est également indépendant des réseaux de distribution d'électricité. À utiliser lorsque la demande d'énergie est élevée. Il s'agit d'un mélange de deux technologies complémentaires ou plus pour augmenter les alimentations, comme la combinaison de modules PV avec des éoliennes ou un générateur de carburant.

Un système hybride photovoltaïque optimise l'utilisation combinée de plusieurs sources d'énergies renouvelables et, ou fossiles et des moyens de stockage associés [6].

I.6.3 Systèmes accordés au réseau :

Il s'agit d'un système qui est directement couplé au réseau électrique à l'aide d'un onduleur qui convertit le courant résultant en courant alternatif proportionnel au réseau électrique. Dans ces systèmes, l'onduleur est l'élément principal, mais les batteries ne sont pas nécessaires, sauf si vous souhaitez obtenir une forme d'énergie indépendante pendant la panne de courant.

I.7. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

I.7.1. Avantages :

- L'énergie photovoltaïque est une énergie propre car le produit n'est pas pollué, silencieux et ne perturbe pas l'environnement.
- Disponible pour tout le monde et partout dans le monde.
- L'installation d'installations photovoltaïques est simple et peut être proche de l'emplacement du consommateur.
- Le système photoélectrique peut être des systèmes autonomes qui fonctionnent de manière fiable sans supervision pendant de longues périodes.
- Il nécessite peu d'entretien et est très fiable.

I.7.2. Inconvénients :

- L'efficacité des cellules photovoltaïques diminue avec le temps, en plus d'une durée de vie ne dépassant pas 30 ans
- Les faibles rendements des panneaux ne sont que d'environ 23,4%
- Sa production dépend des conditions météorologiques et ne fonctionne pas 24h/24

- La fabrication de modules photovoltaïques est très coûteuse ainsi que le stockage d'énergie est également coûteux

I.8. Circuit équivalent a une cellule photovoltaïque

Pour établir le modèle mathématique de la cellule PV, il faut tout d'abord retrouver son circuit électrique équivalent. De nombreux modèles mathématiques de cellule PV ont été développés pour représenter leur comportement très fortement non linéaire dû à la jonction semi-conductrice.

Le circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque est présenté dans la figure (I.15) inclut une source de courant, une diode, une résistance série et une résistance parallèle.

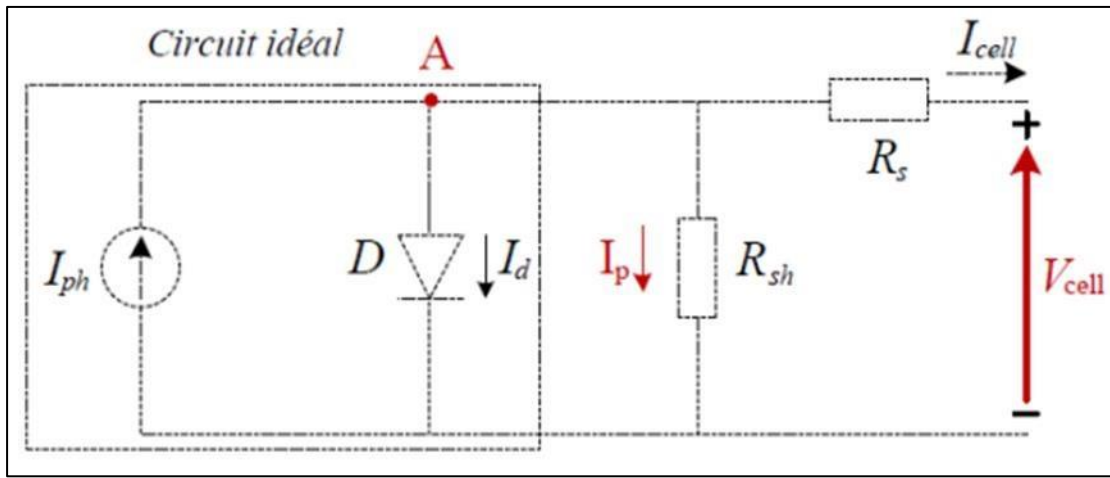


Figure I.15: schéma électrique d'une cellule photovoltaïque [16]

Ce modèle fait intervenir un générateur de courant pour modéliser le flux lumineux incident, une diode pour les phénomènes de polarisation de la cellule et deux résistances (série et shunt) pour les pertes [17]

L'étude physique d'une photopile nous permet d'obtenir l'équation de courant de la charge :

$$I_{cell} = I_{ph} + I_d + I_{sh} \quad (I.4)$$

- I_{cell} : Courant générer par la cellule photovoltaïque
- I_{ph} : Courant photonique.
- I_d : Le courant circulant dans la diode. il est donné par :

$$I_d = I_0 * \left[\exp \left(\frac{q * (V_{cell} + I_{cell} * R_s)}{(n * k * T)} \right) - 1 \right] \quad (I.5)$$

- I_{sh} : Le courant circulant dans la résistance

On a la résistance (R_{sh}) plus élevée donc on peut négliger le courant I_{sh} (cas d'une cellule idéal).

Dans le cas idéal, la cellule photovoltaïque soumise à l'éclairement et connecté à une charge peut être schématisée par un générateur de courant en parallèle avec une diode délivrant un courant selon la figure (I.16), qui représente le circuit équivalent d'une cellule solaire idéale [13].

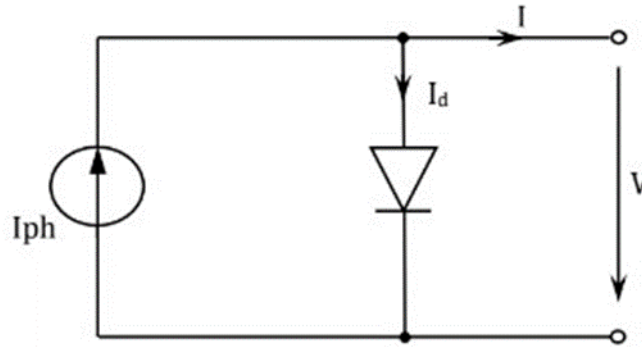


Figure I.16 : schéma équivalent d'une cellule idéale

Donc l'équation s'écrit :

$$I_{cell} = I_{ph} + I_d \quad (I.6)$$

I.8.1. Le photo-courant:

C'est le courant généré par une cellule, il dépend de la température et de l'ensoleillement comme montré dans l'équation qui suit:

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i * (T - T_{ref})] * \frac{G}{G_{ref}} \quad (I.7)$$

- I_{sc} [A] : est le courant de court-circuit
- K_i [A/K] : est le rapport entre le courant de court-circuit et le coefficient de température (0.0017 A/K).
- G [W/m²] : c'est irradiation solaire
- T [K] : température de fonctionnement
- T_{ref} [K] : Température de référence (298 K)
- G_{ref} [W/m²] : Irradiation de référence(1000W/m²)

I.8.2. Le courant de saturation (I_0)

Ce courant varie avec la température et est donné par :

$$I_0 = I_{rs} * \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^3 * \exp \left[\frac{q * E_{g0} * (1/T_{ref} - 1/T)}{n * K} \right] \quad (I.8)$$

E_{g0} [eV] : Énergie de gap du semi-conducteur (1.1 eV pour le silicium poly cristallin à 25°C).

- q [°C] : Charge de l'électron ($1.602 \cdot 10^{-19}$ °c).
- n : Constante d'idéalité de la jonction ($1 < n < 2$).
- K [J/K] : Constante de Boltzmann ($1.3805 \cdot 10^{-23}$ J/K).
- I_{rs} [A] : courant de fuite.

I.8.3. Le courant de saturation inverse de la diode (courant de fuite)

$$I_{rs} = I_{sc} / \exp\left[\frac{q \cdot V_{oc}}{n \cdot K \cdot T}\right] - 1 \quad (I.9)$$

- V_{oc} [V] : Tension de circuit ouvert du module (donnée par le constructeur).

À partir des expressions décrites précédemment on peut déduire le courant délivré par une cellule :

$$I_{cell} = I_{ph} - I_0 * \left[\exp\left(\frac{q \cdot (V_{cell} + I_{cell} \cdot R_s)}{n \cdot K \cdot T}\right) - 1 \right] - \frac{(V_{cell} + I_{cell} \cdot R_s)}{R_s} \quad (I.10)$$

I.8.4. Le courant du panneau

Les équations décrites précédemment ne peuvent représenter la caractéristique I-V d'un module PV puisqu'elles sont propres à une seule cellule PV qui représente l'élément de base du panneau, on introduit donc l'équation spécifique à un module :

$$I_{pv} = N_p * I_{ph} - N_p * I_0 * \left[\exp\left(\frac{q \cdot (V_{cell} + I_{cell} \cdot R_s)}{(N_s \cdot n \cdot K \cdot T)}\right) - 1 \right] - N_p * \frac{(V_{cell} + I_{cell} \cdot R_s)}{R_{sh}} \quad (I.11)$$

- N_s : Nombre de cellules connectées en série dans un module.
- N_p : Nombre de cellules connectées en parallèle dans un module. Spécifications du

I.9. Les convertisseurs statiques:

Un convertisseur statique est un dispositif, à base de semi-conducteurs, qui transforme de l'énergie électrique disponible, en une forme appropriée pour alimenter une charge [13].

Ce sont des systèmes qui sont utilisés dans la plupart des nouveaux types de sources de production d'énergie dispersées connectées au réseau, telles que (éolienne, photovoltaïque, pile a combustible), utilisées pour convertir l'énergie électrique disponible sous une forme appropriée pour un récepteur particulier, où il existe de nombreuses familles de transformateurs fixes.

I.9.1. Convertisseur DC-DC (hacheur) :

Les hacheurs sont les convertisseurs statiques qui permettent le transfert de l'énergie électrique d'une source continue vers une autre source continue. (Ils sont l'équivalents des transformateurs en alternatif), permettant de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue à un autre niveau de tension (ou de courant).

Ils se composent de condensateurs, d'inductances et de commutateurs. Tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance dans le cas idéal, c'est pour cette raison que les hacheurs ont de bons rendements.

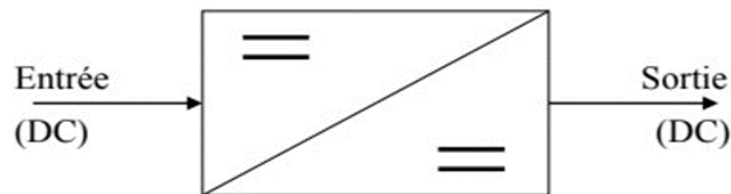


Figure I.17: convertisseur DC-DC

Trois topologies de base de circuit de conversion seront décrites dans les paragraphes suivants (DC-DC) : Dans cette partie nous présentons le principe des trois types de convertisseurs DC/DC (Buck, Boost et Buck-Boost), utilisés fréquemment dans les systèmes photovoltaïques pour générer les tensions et les courants souhaités.

I.9.1.1 Hacheur survolteur (boost) :

C'est un convertisseur direct DC-DC. Assurant le transfert d'une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur. On utilise un convertisseur boost lorsqu'on désire augmenter la tension disponible d'une source continue.

Le circuit électrique du convertisseur survolteur est illustré à la Figure (I.18),

L'interrupteur « K » peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage) [20].

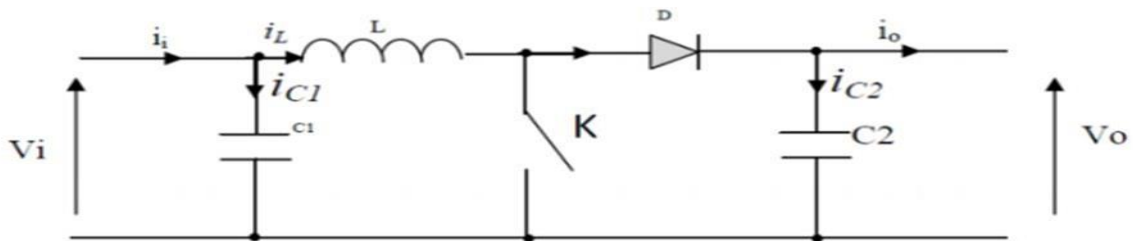


Figure I.18 : schéma électrique de l'hacheur survolteur (boost)

I.9.1.2. Hacheur dévolteur (Buck) :

Le convertisseur dévolteur, connu aussi sous le nom de Buck ou hacheur série ; son schéma de principe est celui de la figure (I.19) .

Est un appareil qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur. La source d'entrée est de type tension continue et la charge de sortie continue de type source de courant.

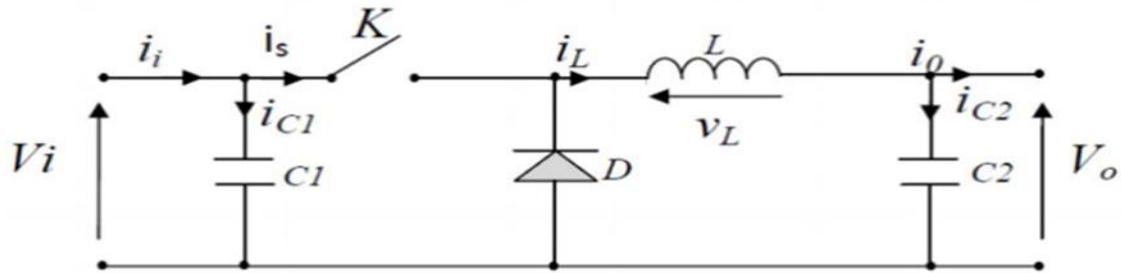


Figure I.19 : schéma électrique du hacheur dévolteur (Buck)

I.9.1.3. Hacheur dévolteur- survolteur (Buck-boost) :

Hacheur du type Buck-boost est un convertisseur indirect DC-DC. La source d'entrée est de type tension continue (filtrage capacitif en parallèle avec une source de tension) et la charge de sortie continue de type source de tension (condensateur en parallèle avec la charge résistive). Le convertisseur dévolteur-survolteur combine les propriétés des deux convertisseurs précédents [15]

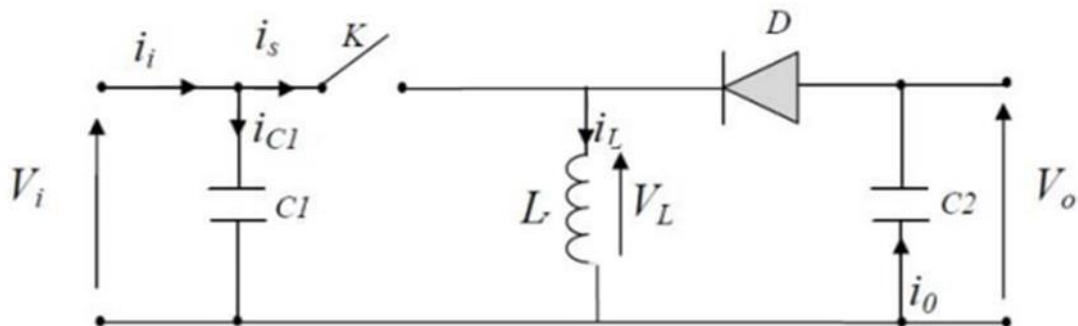


Figure I.20 : schéma électrique du hacheur dévolteur-survolteur (Buck-boost)

I.10. Conclusion

Dans tout système photovoltaïque, le circuit raccordé au panneau solaire a un rôle fondamental permettant l'adaptation de la charge afin d'extraire la puissance maximale disponible qui est influencée par l'ensoleillement et la température. Dans ce chapitre, nous avons modélisé mathématiquement le panneau solaire . Pour obtenir un modèle exploitable sur Simulink. Les montages le Buck (abaisseur) ,le Buck-boost et le boost (élevateur) , employés très souvent, ont été étudiées théoriquement et par simulation numérique. La commande de ces convertisseurs s'effectue par une variation du rapport cyclique du signal de commande de l'interrupteur qui est déduit de l'algorithme du MPPT. Enfin, à la fin de ce chapitre, un comparatif de ces convertisseurs est présenté et le choix du plus adapté.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons les techniques de surveillance des points de fonctionnement les plus populaires à puissance maximale.

Chapitre II :
Etude sur La commande
MPPT

II.1. Introduction

Le photovoltaïque (PV) est considéré comme une source d'énergie renouvelable populaire en raison de plusieurs avantages, principalement un faible coût d'exploitation, presque sans entretien et respectueux de l'environnement. Pour optimiser l'utilisation de grands réseaux de modules photovoltaïques, le suivi du point de puissance maximale est normalement utilisé en conjonction avec le convertisseur de puissance. L'objectif de MPPT est de s'assurer que le système peut toujours récolter la puissance maximale générée par les panneaux photovoltaïques. Cependant, en raison des conditions environnementales variables, à savoir la température et l'ensoleillement, la courbe caractéristique P-V présente un point de puissance maximale (MPP) qui varie de manière non linéaire avec ces conditions, ce qui pose un défi pour l'algorithme de suivi. À ce jour, diverses méthodes de suivi des MPP ont été proposées. Ces techniques varient en complexité, précision et vitesse. Chaque méthode peut être classée en fonction du type de variable de contrôle qu'elle utilise. Ci-dessous, nous passons aux éléments les plus importants concernant l'MPPT.

Dans ce chapitre, on présentera l'aspect théorique des méthodes pour le suivi du point de fonctionnement à puissance maximale du système photovoltaïque et qui sont la méthode « perturbation et observation », la méthode « conductance incrémentale » et la commande par la logique floue.

II.2. La commande MPPT:

La commande MPPT « Maximum Power Point Tracking » est une méthode permet au générateur PV de travailler à sa puissance maximale quel que soit les conditions météorologiques d'irradiations et de température. Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique α d'un convertisseur DC-DC à la valeur adéquate de manière à maximiser continuellement la puissance à la sortie du panneau PV.

Les hacheurs sont utilisés comme interface de puissance à contrôler par le régulateur MPPT, afin d'adapter la tension de sortie du hacheur à la tension requise par la charge. A partir de cette règle et selon le type de contrôleur, on peut raisonner sur plusieurs et différentes méthodes, afin d'extraire le maximum de puissance d'un panneau solaire [21].

Le rendement du point de fonctionnement (η_{MPPT}), permet de mesurer l'efficacité de la commande qui a en charge le contrôle du convertisseur de puissance.

II.3. Commande MPPT des convertisseur DC-DC:

Les générateurs photovoltaïques ont une production électrique aléatoire directement dépendante des conditions météorologiques. Ainsi, le dimensionnement et l'exploitation optimale de l'énergie produite par ces générateurs exige l'utilisation de méthodes de gestion appropriées. ces méthodes qui font fonctionner les appareils à leurs point maximale de caractéristique, dans le cas de source d'énergie telles que les panneaux solaires entraînent les points d'énergie maximum. Ce type de contrôle appelé (MPPT) « recherche de suivi du point de puissance maximale ». Cette commande est essentielle pour un fonctionnement optimal du système photovoltaïque.

La puissance maximale que peut fournir un GPV ainsi que sa tension optimale V_{OPT} n'est pas connue à l'avance. La commande MPPT est utilisé pour extraire le maximum de puissance du GPV, des lois de commandes permettant de trouver le point maximum existant, elles permettent de contrôler le convertisseur de puissance afin qu'il assure la meilleure adaptation possible entre le GPV et sa charge. La figure (II.1) représente une chaîne élémentaire typique de conversion photovoltaïque associée à une commande MPPT fournissant une puissance électrique à une charge DC. Comme le montre cette chaîne, la commande MPPT est nécessairement associée à un quadripôle (convertisseur statique) possédant un à plusieurs degrés de liberté en fonction de sa structure, permettant d'adapter à chaque instant l'impédance du GPV à celle de la charge. Dans le cas de la conversion de l'énergie solaire en électricité, le quadripôle peut être réalisé à l'aide d'un simple convertisseur statique DC-DC à un degré de liberté noté D et correspondant au rapport cyclique, de telle sorte que la puissance fournie par le GPV à son entrée corresponde à la puissance maximale (P_{MAX}) qu'il puisse générer à chaque instant. De plus cette puissance doit pouvoir être transférée simultanément et totalement directement à la charge.

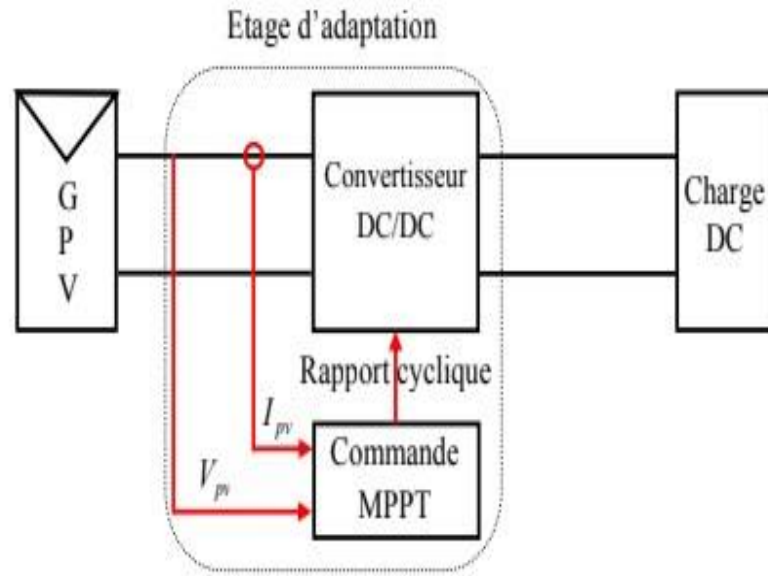


Figure II.1 : schéma de principe d'une connexion à travers un convertisseur DC- DC contrôlé par une commande MPPT [22]

II.4. Principe de la commande 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, quelque soient les conditions météorologiques (température et irradiation), et quelle que soit la tension de la batterie, la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum [21].

Le principe de cette commande est basé sur la comparaison de deux points, point de puissance (P2) mesuré a l'instant (t) avec le point de puissance (P1) mesuré a l'instant (t-1) pour trouver le point de puissance maximal.

- Si $P1 < P2$, la dérivée de puissance (dP) est positive cela signifie que nous sommes proches de point de puissance maximal.
- Si dP est négative veut dire que nous avons dépassé le point de puissance maximal.

La figure (II.2) illustre deux cas de perturbations possibles. Suivant le type de perturbation, le point de fonctionnement bascule du point de puissance maximal noté PPM2 vers un nouveau point de fonctionnement noté Pf, 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 qui correspond à PPM1. Pour une variation de charge (cas b), impliquant une nouvelle caractéristique de la charge, on peut

également constater qu'une modification du point de fonctionnement est nécessaire pour rechercher une nouvelle position optimale grâce à la recherche d'un nouveau rapport cyclique.

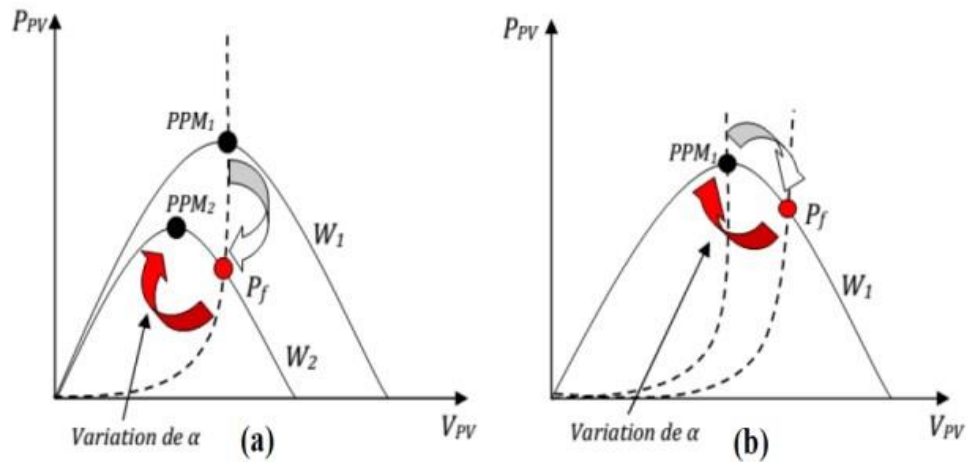


Figure II.2 : Fluctuation du PPM avec l'intensité d'éclairement (a) et la charge R (b).

II.5. Classification des commandes MPPT:

Nous pouvons classer d'une manière générale les commandes MPPT selon le type d'implémentation électronique : analogique, numérique ou mixte. Il est cependant plus intéressant de les classer selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande MPPT [23].

II.5.1. Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée:

II.5.1.1. Commande MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée :

Certaines commandes MPPT qui effectue une recherche du PPM en fonction du développement de la puissance fournie par GPV par exemple Perturb&Observe, les algorithmes d'incrément de conductance qui utilisent la valeur de la puissance fournie par le GPV pour l'application d'une action de contrôle adéquate pour le suivi du PPM ou bien Les commandes qui sont basé sur des relations de proportionnalité entre les paramètres optimaux caractérisant le point de puissance maximal (V_{max} , I_{max}) .

Dans ces commandes, soit on fait appel à des systèmes à mémoires informatiques importantes ayant stocké tous les cas possibles, soit les commandes sont encore une fois de plus approximatives. Toutes ces commandes ont comme avantages leurs précisions et leur rapidité de réaction. [23]

II.5.1.2. Commande MPPT fonctionnante à partir des paramètres de sortie :

Il existe quelque algorithme basée sur les paramètres de sortie comme les commandes MPPT basées sur la maximisation du courant de sortie qui sont principalement utilisées quand la charge est une batterie. Une estimation approximative de l'efficacité du transformateur est effectuée dans tous les systèmes en utilisant les paramètres de sortie, Plus l'étape de conversion est bonne, meilleur est l'approximation.

D'un autre côté, en général, tous les systèmes de capteurs individuels ne sont pas intrinsèquement précis. La plupart de ces systèmes étaient à l'origine conçus pour l'espace. [23]

II.5.2. Classification des commandes MPPT selon le type de recherche :

II.5.2.1 MPPT indirect:

Ce type de commandes MPPT utilise le lien existant entre les variables mesurées (Tension de circuit ouvert « Voc » ou Courant de court-circuit « Isc »), qui peuvent être facilement déterminées, et la position approximative du MPP. Il compte aussi les commandes se basant sur une estimation du point de fonctionnement du GPV réalisée à partir d'un modèle paramétrique défini au préalable. Il existe aussi des commandes qui établissent une poursuite de la tension optimale en prenant en compte uniquement les variations de la température des cellules donnée par un capteur .Ces commandes ont l'avantage d'être simples à réaliser. Elles sont plutôt destinées à des systèmes peu coûteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où il y a peu de changements climatiques [24].

II.5.2.2 MPPT direct:

Ce type de commande MPPT détermine le point de fonctionnement optimal (MPP) à partir des courants, tensions ou puissances mesurés dans le système. Il peut donc réagir à des changements imprévisibles du fonctionnement du GPV. Généralement, ces procédures sont basées sur un algorithme de recherche, avec lequel le maximum de la courbe de puissance est déterminé sans interruption du fonctionnement. Pour cela, la tension du point de fonctionnement est incrémentée dans des intervalles réguliers. Si la puissance de sortie est plus grande, alors la direction de recherche est maintenue pour l'étape suivante, sinon elle sera inversée. Le point de fonctionnement réel oscille alors autour du MPP. Ce principe de base peut être préservé par d'autres algorithmes contre des erreurs d'interprétation. Ces erreurs peuvent survenir, par exemple, à cause d'une mauvaise direction de recherche, résultant d'une hausse de puissance qui est due à une augmentation rapide du niveau de rayonnement. La détermination de la valeur de la puissance du générateur PV, indispensable pour la recherche du MPP, nécessite la mesure de la tension et du courant du générateur, ainsi

que la multiplication de ces deux variables. D'autres algorithmes se basent sur l'introduction de variations sinusoïdales en petit signal sur la fréquence de découpage du convertisseur pour comparer la composante alternative et la composante continue de la tension du GPV et pour ainsi placer le point de fonctionnement du GPV le plus près possible du MPP. L'avantage de ce type de commandes est leurs précisions et leur rapidité de réaction [24].

II.6. Différents types de commande MPPT :

Il existe environ une vingtaine de méthodes de recherche du point de puissance maximale (MPPT) d'un champ de modules photovoltaïque, dont l'efficacité et la rapidité varient. Parmi ces méthodes, on va présenter et étudier par la suite les algorithmes de commande les plus populaires.

II.6.1. Commande MPPT par la méthode classique

La première loi de commande MPPT adaptée à une source d'énergie renouvelable de type photoélectrique a été publiée en janvier 1968. Le contrôle est basé sur un algorithme de contrôle adaptative, qui permet de maintenir le système en fonctionnement au point de puissance maximale. Cependant, les capacités des microcontrôleurs disponibles à l'époque étaient faibles et les applications, surtout destinées au spatial avaient beaucoup moins de contraintes en variation de température et d'éclairement que les applications terrestres.

Ce dernier est décrit sur la figure (II.3) le principe de la première commande numérique MPP et peut être entièrement implémenté sous forme numérique.

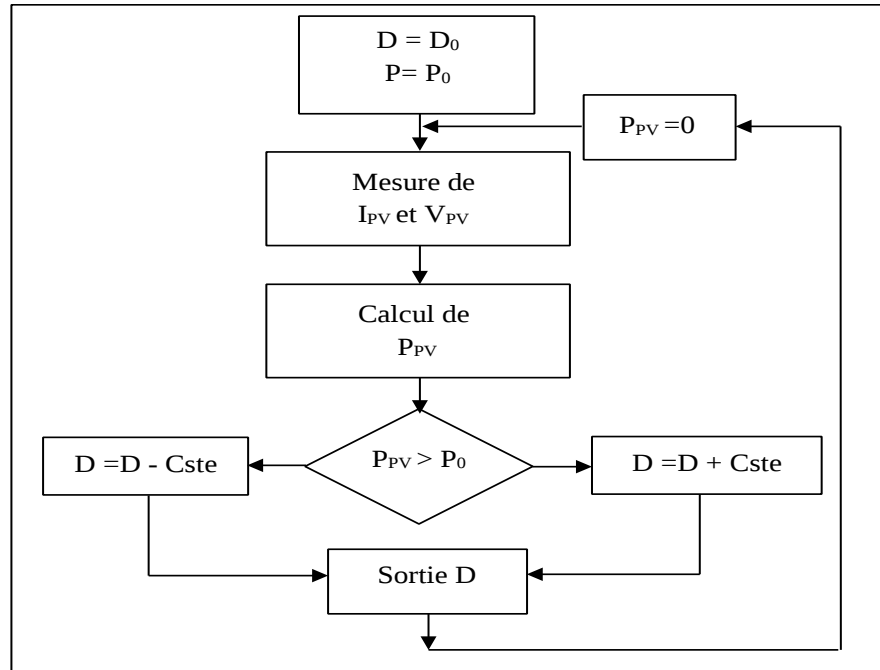


Figure II.3 : principe de la première commande MPPT

Il consiste à calculer la puissance à l'instant (t_i) à partir des mesures de (I_{PV}) et (V_{PV}), et de la comparer à celle stockée en mémoire, correspondant à l'instant (t_{i-1}). De là, un nouveau rapport cyclique (D) est calculé et est appliqué au convertisseur statique. Ce principe est toujours valable du point de vue théorique et appliqué de nos jours sur des algorithmes numériques plus performants. Cependant, le temps de réaction a été amélioré ainsi que la précision de la recherche du PPM associée à un certain nombre de précautions pour ne pas perdre le PPM même temporairement.

II.6.1.1.Algorithme Perturber et Observer (P&O):

Il est le plus utilisé dans la littérature et surtout dans la pratique en raison de sa facilité de mise en œuvre. Cet algorithme a pour objectif de faire fonctionner le système à sa puissance maximale. Comme son nom l'indique, cette méthode repose sur la perturbation du système par une (augmentation ou diminution) de tension, ou de courant, et de surveiller le résultat de ce désordre sur la puissance mesurée.

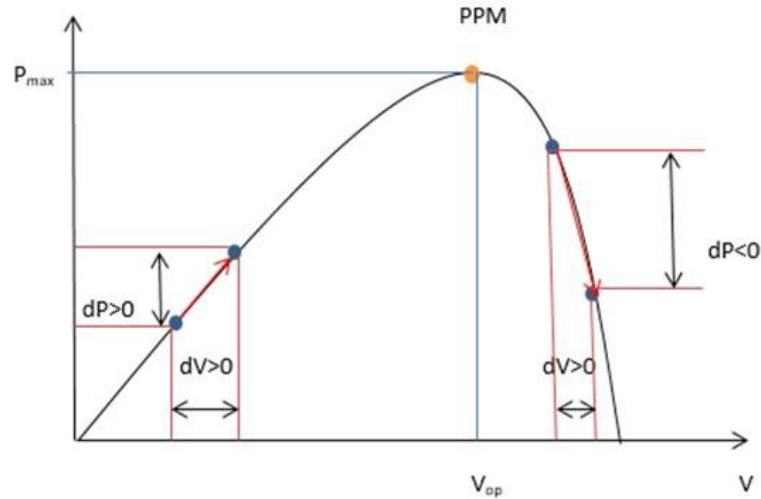


Figure II.4 : Caractéristique de fonctionnement de la méthode P&O.

Cette méthode repose principalement sur la perturbation de la tension de la plaque de tension pendant le travail dans le cycle de service α . Après cette perturbation, nous calculons l'énergie fournie par le panneau PV au moment K , et la comparons à la puissance précédente à l'instant $(K-1)$. Si la force augmente, alors nous approchons du point de résistance maximale, cela signifie que le point de fonctionnement est à gauche de PPM. Au contraire, si la puissance baisse, cela signifie que le système a contourné le MPP, nous devons donc inverser le changement du cycle économique.

La figure (II.5) représente organigramme l'algorithme classique d'une commande

MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension.

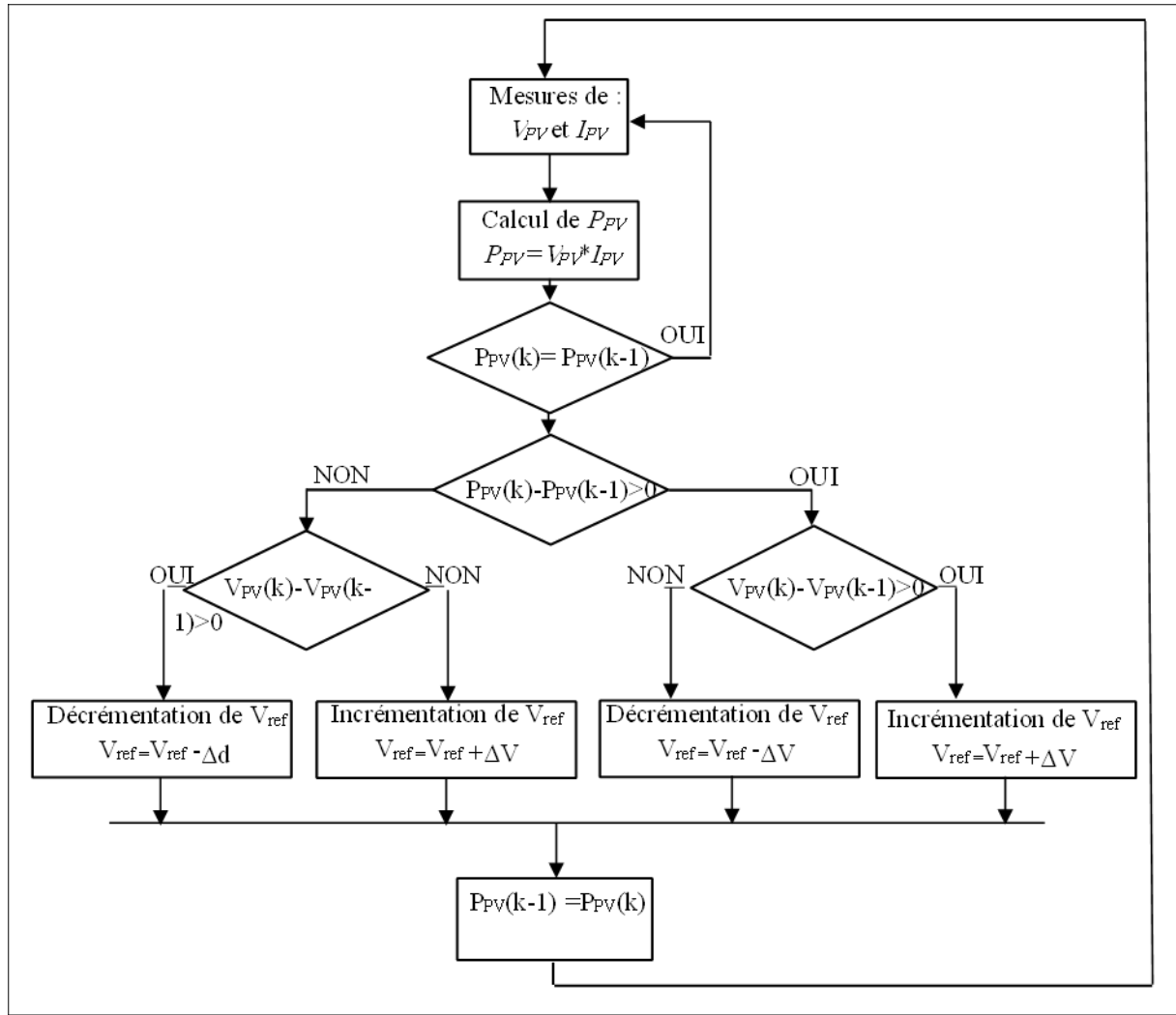


Figure II.5 : Organigramme de l’algorithme Perturbation et Observation (P & O)

- Avantages
 - Structure de régulation simple
 - Nombre des paramètres mesures réduit
- Inconvénients
 - Dépassement du point maximum optimal en cas de changement rapide des conditions atmosphériques [25].

II.6.1.2. Algorithme Incrément de la Conductance (INC)

La commande à incrément de conductance se base sur la dérivée de la conductance du GPV, cette commande essaye de faire monter le point de fonctionnement (PF) du GPV le long de la caractéristique (P-V) jusqu’à atteindre le PPM. Elle permet la recherche du PPM en se basant sur l’égalité de la conductance ($G=I/V$) et de l’incrément de la conductance ($dG=dI/dV$). (voir la figure III.6)

La puissance en sortie de la source peut s'écrire :

$$P = I * V \quad (II.1)$$

D'où en dérivant :

$$\frac{dP}{dV} = I + V * \frac{dI}{dV} \quad (II.2)$$

Donc :

$$\left(\frac{I}{V}\right) \frac{dP}{dV} = \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} \quad (II.3)$$

$$\left(\frac{I}{V}\right) \frac{dP}{dV} = G + dG \quad (II.4)$$

- $(dP/dV) > 0$ donc , $G > -dG$ Le point maximal se trouve à gauche donc il faut incrémenter
- $(dP/dV) = 0$ donc , $G = -dG$ est sur le point maximal
- $(dP/dV) < 0$ donc , $G < -dG$ Le point maximal a droite donc il faut décrémente

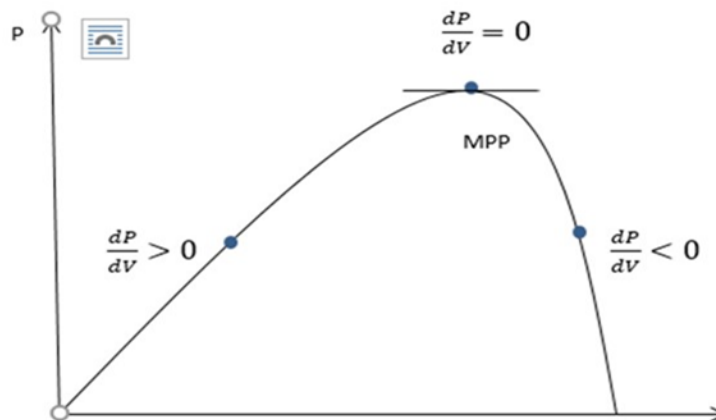


Figure II.6 : Caractéristique (p-v) de fonctionnement de la méthode IncCond

Le principe de cet algorithme est basé sur la connaissance de la valeur de la conductance

$G=I/V$ et l'incrément de la conductance (dG) pour en déduire la position du point de fonctionnement par rapport PMP. Si l'incrément de conductance (dG) est supérieur à l'opposé de la conductance ($- G$), on diminue le rapport cyclique. Par contre, si l'incrément de

conductance est inférieure à l'opposé de la conductance, on augmente le rapport cyclique. Ce processus est répété jusqu'à atteindre le PMP.

La figure (II.7) représente organigramme l'algorithme classique d'une commande a incrémentation de conductance

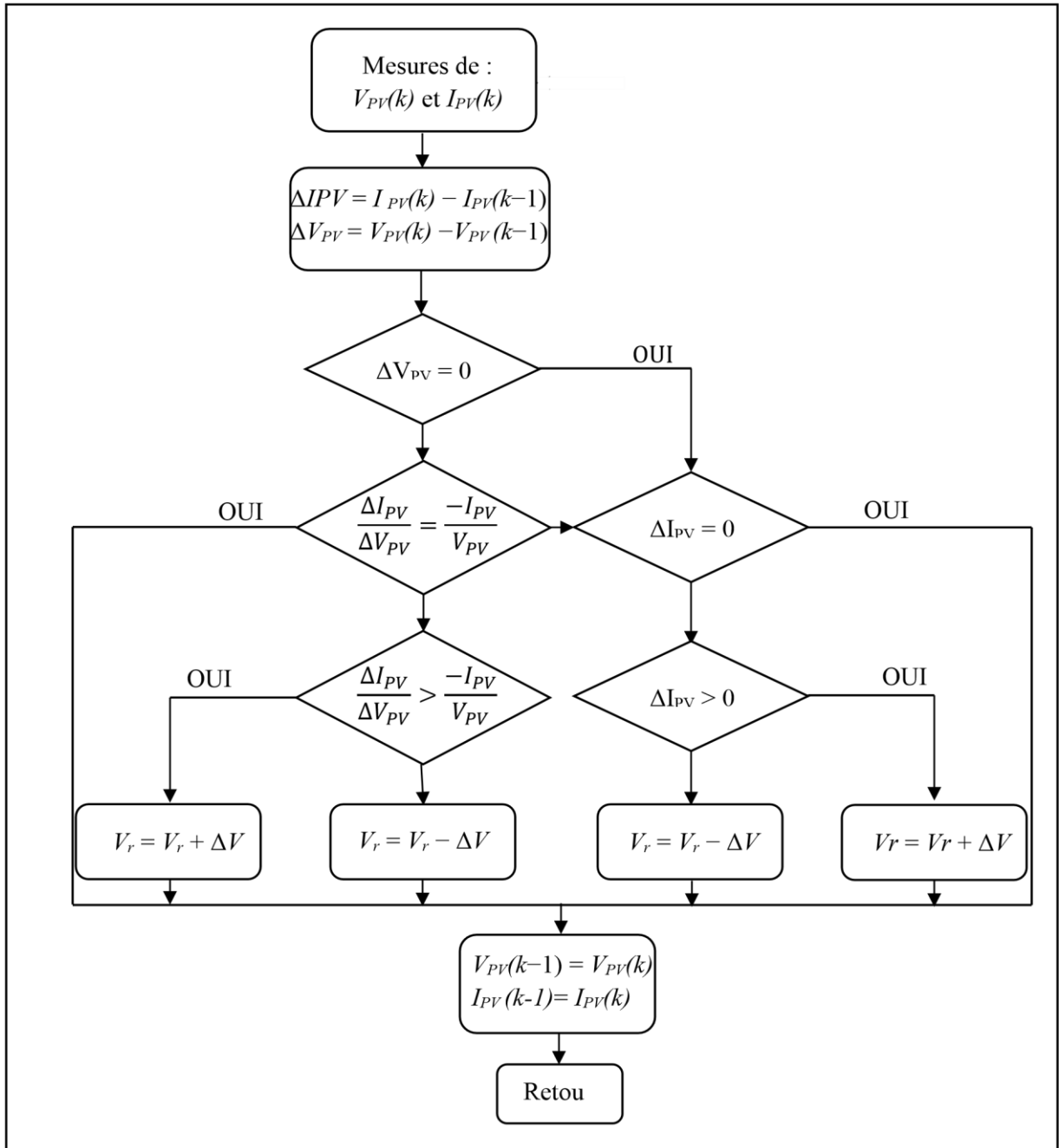


Figure II.7 : Organigramme de commande a incrémentation de conductance.

- **Les avantages :**
 - L'avantage principal de cet algorithme est qu'il offre un bon rendement même sous un changement rapide des conditions atmosphériques.

- la précision et la vitesse de recherche du PPM quand les conditions atmosphériques changent rapidement.
- **Les inconvénients :**
- l'inconvénient est que le circuit de commande est complexe et très coûteux. .

II.6.2. Commande MPPT par la méthode logique floue :

Dans la logique classique, une proposition simple est une déclaration linguistique ou déclarative contenue dans un univers d'éléments, disons X, qui peut être identifiée comme étant une collection d'éléments en X, qui sont strictement vrais ou strictement faux.

En logique floue, une proposition est une déclaration impliquant un concept sans limites clairement définies. Les énoncés linguistiques qui ont tendance à exprimer des idées subjectives et qui peuvent être interprétés différemment par divers individus engagent généralement des propositions floues [58] .

La mise en place d'un contrôleur flou se réalise en trois étapes, qui sont : la fuzzification, l'inférence et la défuzzification. Figure (II.8)

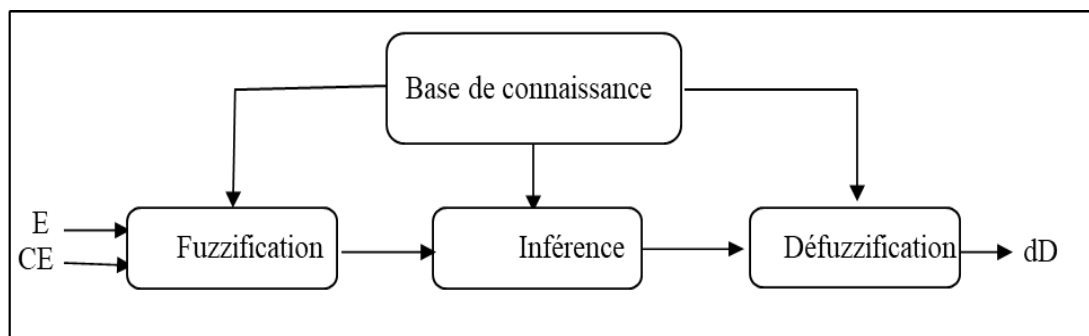


Figure II.8 : schéma bloc de l'algorithme à base de la logique floue

L'erreur E et le changement d'erreur CE et la variable de sortie est la variation du rapport cyclique dD. La fuzzification permet la conversion des variables physiques d'entrée en ensembles flous.

II.6.2.1 La fuzzification:

La fuzzification permet la conversion des variables physiques d'entrée en ensembles flous.

En particulier, dans le cas de la poursuite du PPM, l'erreur E et le changement d'erreur CE sont calculés en fonction des valeurs instantanées de la puissance et de la tension comme suit : [26]

$$E = \frac{P(K) - P(K-1)}{I(K) - I(K-1)} \quad (II.7)$$

$$CE = E(K) - E(K - 1) \quad (II.8)$$

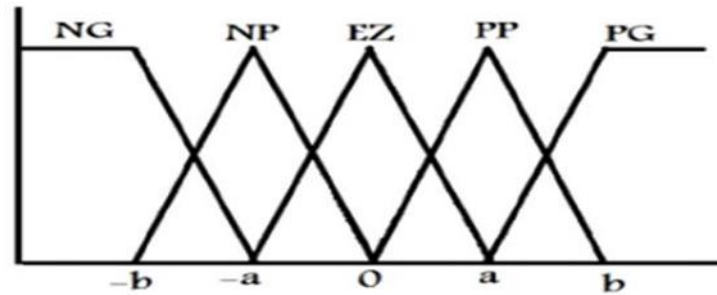


Figure II.9 : structure de base de la commande floue

Durant la fuzzification, les variables d'entrées numériques sont converties en variables linguistiques. On attribue à ces grandeurs des variables linguistiques Négatif Grand (NG), Négatif Petit (NP), Erreur nul ou bien zéro (EZ), Positif Petit (PP) et Positif Grand (PG).

II.6.2.2 l'inférence:

Dans l'étape d'inférence, on prend des décisions. En effet, on établit des relations logiques entre les entrées et la sortie tout en définissant les règles d'appartenance. Il existe différentes méthodes d'inférence [27] :

- Méthode max-min :

Cette méthode est la plus mentionnée dans la littérature sur les régulateurs flous.

- Au niveau de la condition : ET $\Rightarrow$ MIN ; OU $\Rightarrow$ MAX
- Au niveau de la conclusion : OU $\Rightarrow$ MAX ; alors $\Rightarrow$ MIN.

- Méthode max-prod :

- Au niveau de la condition : ET $\Rightarrow$ MIN ; OU $\Rightarrow$ MAX
- Au niveau de la conclusion : OU $\Rightarrow$ MAX ; alors $\Rightarrow$ PROD

- Méthode somme-prod :

- Au niveau de la condition : ET $\Rightarrow$ PROD ; OU $\Rightarrow$ SOMME
- Au niveau de la conclusion : OU $\Rightarrow$ somme ; ALORS $\Rightarrow$ PROD.

II.6.2.3 défuzzification

Finalement, en défuzzification, on convertit les sous-ensembles flous de sortie en une valeur numérique. Il existe différentes méthodes de défuzzification :

- Méthode du maximum :

Cette méthode introduit une ambiguïté car il y a plusieurs abscisses x qui correspondent au maximum. Comme il n'y a pas de règle bien précise sur le choix de x , on décide de prendre l'abscisse la plus petite correspondant au maximum.

- Méthode de la moyenne pondérée :

Dans le cas où plusieurs sous-ensembles auraient la même hauteur maximale, on réalise leur moyenne.

- Méthode du centroïde :

La sortie correspondant à l'abscisse du centre de gravité de la surface de la fonction d'appartenance résultante.

- Les avantages

L'avantage de ces techniques est qu'elles peuvent fonctionner avec des valeurs d'entrées peu précises et qu'elles n'ont pas besoin de modèle mathématique de grande précision. De plus, elles peuvent traiter des non linéarités.

II.7. Synthèse des commandes MPPT :

Le tableau (II.2) résume les caractères majeurs des différentes techniques MPPT dont nous avons rappelé les principes ci-dessus. Nous avons adopté plusieurs critères pour pouvoir les évaluer sans mesure et très rapidement. Ainsi, nous avons choisi leur degré de dépendance à la source GPV employée. Ce critère est pour nous important pour savoir le degré de généricité de ces commandes et le degré d'intervention humaine à prévoir pour effectuer par exemple des préréglages. Leur mode de conception donnant une idée sur le cout de revient, l'encombrement, la puissance consommée. Leur précision maximale théorique escomptée et leur temps de réponse minimum à prévoir en recouvrement de PPM. Pour les commandes utilisant une variable d'incrément, nous avons vu d'après la littérature que les performances en termes de rendement et de temps de réponse dépendent considérablement de la valeur de l'incrément choisi. Ainsi, le terme « variable » au niveau du tableau signifie que ces commandes peuvent être très performantes si le réglage de cet incrément est maîtrisé.

Tableau (II.1) : Caractéristiques majeures des commandes MPPT [28].

MPPT Technique	η MPPT (%)	Connaissance technologique du GPV nécessaire	Mise à jour périodique manuelle nécessaire	Mode d'implantation analogique ou numérique	Vitesse de recouvrement	Complexité d'implémentation	Nombre et type de capteurs
P&O (Incrément Fixe)	Variable 81.5% à 96.5%	NON	NON	Les deux	Variable	Basse	01 Tension 01 Courant
IncCond (Incrément Fixe)	Variable 89.9% à 98.2%	NON	NON	Numérique	Variable	Moyenne	01 Tension 01 Courant
Fraction De VCO	88.1%	OUI	OUI	Les deux	Moyenne	Basse	01 Tension
Fraction de ICC	N. S.	OUI	OUI	Les deux	Moyenne	Moyenne	01 Courant
Logique Floue	N. S.	OUI	OUI	Numérique	Rapide	Haute	Variable

II.8. Conclusion :

Afin d'améliorer l'efficacité des systèmes photovoltaïques, différents algorithmes de commandes intelligentes ont été étudiées pour la poursuite du point maximum de puissance.

Dans ce chapitre nous avons présenté les techniques les plus connues pour le suivi du point de fonctionnement à puissance maximale. Nous avons commencé par la méthode la plus utilisée, perturbe et observe, qui a un organigramme simple à implémenter et qui converge rapidement.

- La deuxième méthode présentée, conductance incrémentale, s'appuie sur la variation de la conductance du circuit. Elle a un organigramme plus complexe et ne converge pas rapidement et est influencée par le pas de simulation et celui de variation de rapport cyclique.
- Troisièmement, c'est la commande MPPT approche Open- and Short-Circuit qui effectue la mesure de courant I_{cc} ou la tension de circuit.
- Dernièrement, la présentation de commande MPPT par la logique floue et une description du système qui se base sur des variables d'entrées (l'erreur et la variation de l'erreur) et variable de sortie (variation de rapport cyclique) on fait une représentation et définition des étapes.

Chapitr III :
Simulation et résultat de la
command MPPT

III.1. introduction:

Le branchement d'une charge à un générateur photovoltaïque est le mode de couplage le plus simple qui soit. Le point de fonctionnement dans ce cas se situe à l'intersection de la droite de charge et de la caractéristique I-V du générateur. Ce point ne peut pas coïncider avec le point de puissance maximale, il s'ensuit une perte de puissance maximale du système. Ce problème peut être résolu soit par le changement de configuration du générateur photovoltaïque, soit par l'adjonction d'un dispositif de recherche de point de puissance maximale placé entre le générateur et la charge pour assurer l'adaptation d'impédance. L'exploitation optimale de l'énergie électrique disponible aux bornes du générateur photovoltaïque peut contribuer à la réduction du coût global du système. Il existe plusieurs techniques pour satisfaire ce but. Dans ce chapitre nous allons citer et expliquer différentes méthodes de poursuite du point de puissance maximale et en terminant par notre méthode qui est choisie parmi les précédent s'appelle 'perturbation et observation', (P&O : Perturb-and-Observe).[15]

III.2. simulation d'un module photovoltaïque :

Sur la base du modèle mathématique de la cellule solaire développé dans l'outil MATLAB/ Sim Power System. Le bloc schématique de SIMULINK est montré sur la Figure (1.10).

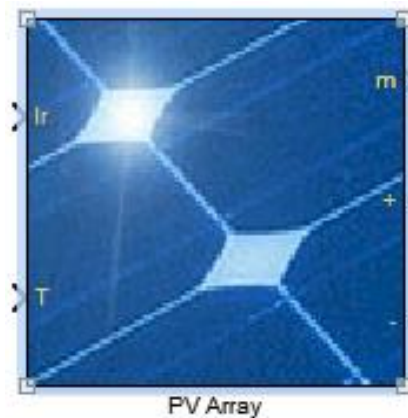


Figure. III.1 : Schéma de simulation d'un module photovoltaïque

Tableaux III.1 : Caractéristiques électriques du module PO KC200GT en condition de test standard [16].

test standar d [16]. Nombre de cellule en série par panneau (Ns)	54
Puissance maximale (P_max)	200.143 W
Courant de court-circuit (I_cc)	8.21 A
Tension de circuit ouvert (v_co)	32.9 V
Courant au point de MPP (I_op)	7.61 A
Tension au point de MPP (v_op)	26.3 V

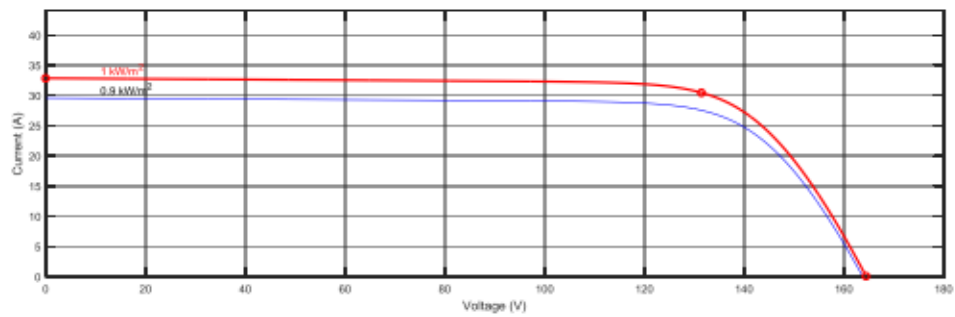


Figure.III.2 : Caractéristique I-V d'un module PV.

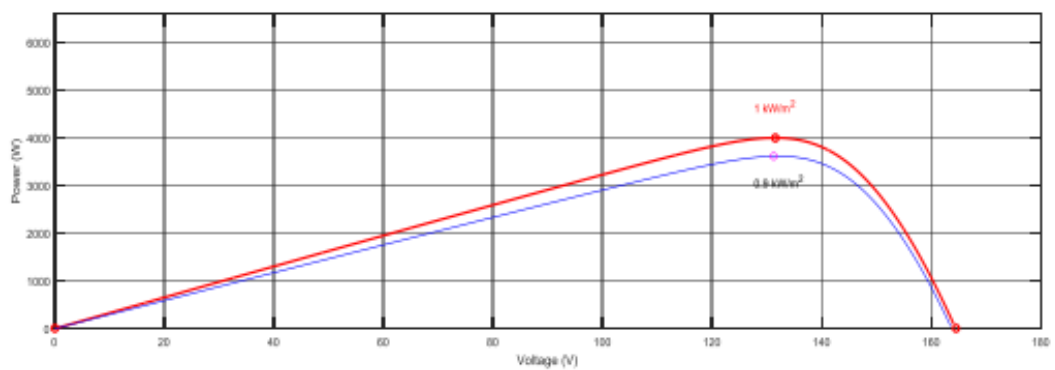


Figure.III.3 : Caractéristique P-V d'un module PV.

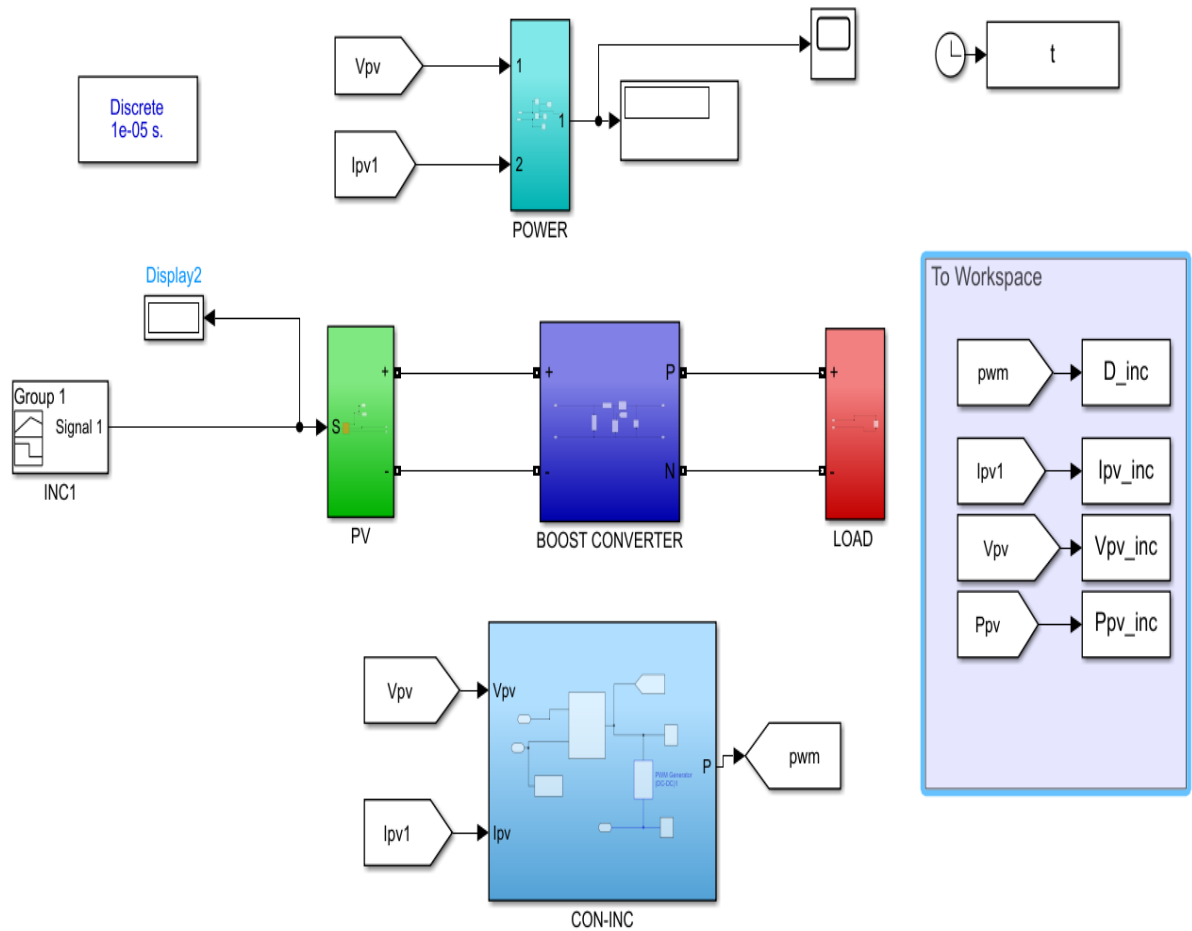


Figure III.4: Schéma de la command MPPT (INC)

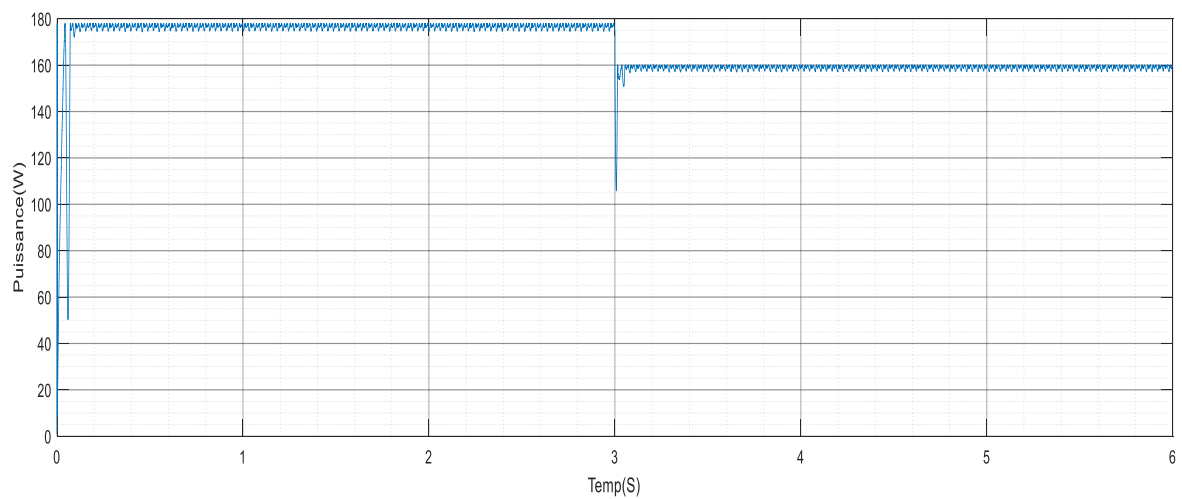


Figure III.5 : Résultats de simulation des courbes de puissance

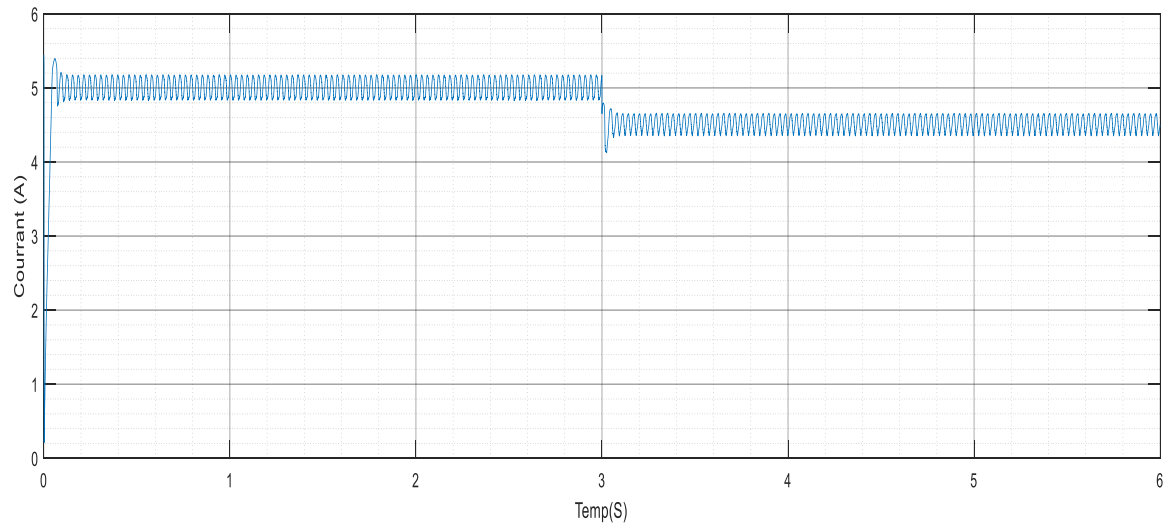


Figure III.6: Résultats de simulation du courant

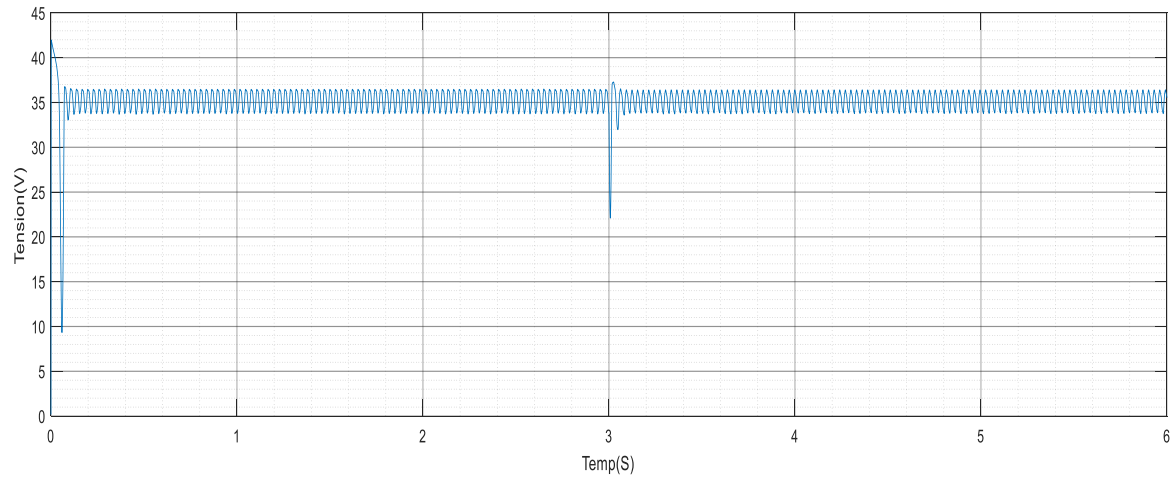


Figure III.7: Résultats de simulation la tension.

III.2.1. Fonctionnement du système floue:

III.2.1.1. Schéma de fonctionnement:

Le système flou possède deux entrées (E et CE) et une sortie dD

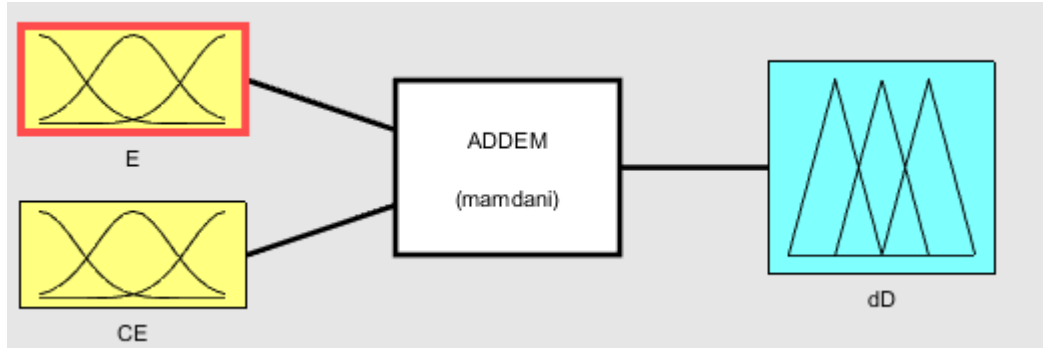


Figure III.8 : Schéma de fonctionnement du système flou conçu via la fuzzy logic toolbox de Matlab

III.2.1.2. Schéma d'inférence

Le schéma d'inférence floue est celui de Mandani-Assilian :

- Méthode $\longrightarrow$ La modélisation
- ET $\longrightarrow \wedge$
- OU $\longrightarrow \vee$

On calcule le degré de déclenchementⁱ de chacune des règles R_i en modélisant le «ET» par ($\wedge$). La conséquence finale est obtenue par max-union de toutes les conséquences partielles. Nous avons défuzzifié par une méthode barycentrique («centroïde» dans la Fuzzy Logic Toolbox de Matlab).

III.2.2. Tableau des règles floue

Le tableau ci-dessous donne l'ensemble des règles qui permettent de déterminer le signal

de sortie dD du régulateur MPPT en fonction des signaux d'entrées (E et CE). Les règles de contrôle doivent être désignées de sorte que la variable d'entrée E doit être toujours nulle.

E = Voltage step $\Delta e = S(\mathbf{k})$	PVL	PL	PA	PH	PVH
PVL	PVH	PVL	PVL	PL	PL
PL	PVH	PVL	PVL	PL	PL
PA	PL	PL	PL	PVH	PVH
PH	PL	PVH	PL	PVL	PVH
PVH	PVL	PVL	PVH	PH	PVH

Tableau III.2 : tableau des règles des systèmes floue (type I)

Le tableau ci-dessous donne l'ensemble des règles qui permettent de déterminer le signal de sortie dD du régulateur MPPT floue type II en fonction des signaux d'entrées (ΔP et ΔV)

III.2.1. Construction du courant $Imppt$:

La valeur de courant $Imppt$ obtenue de l'addition de la sortie de système floue dI avec la valeur précédente de $Imppt$ ($Imppt(k-1)$).

$$Imppt(K) = Imppt(K - 1) + dI$$

(III.1)

III.2.2. Conception du contrôleur MPPT flou :

Dans ce travail nous utilisons la conception des contrôleurs flous (CF) appliqué à la poursuite du point de puissance maximale (commande MPPT floue)

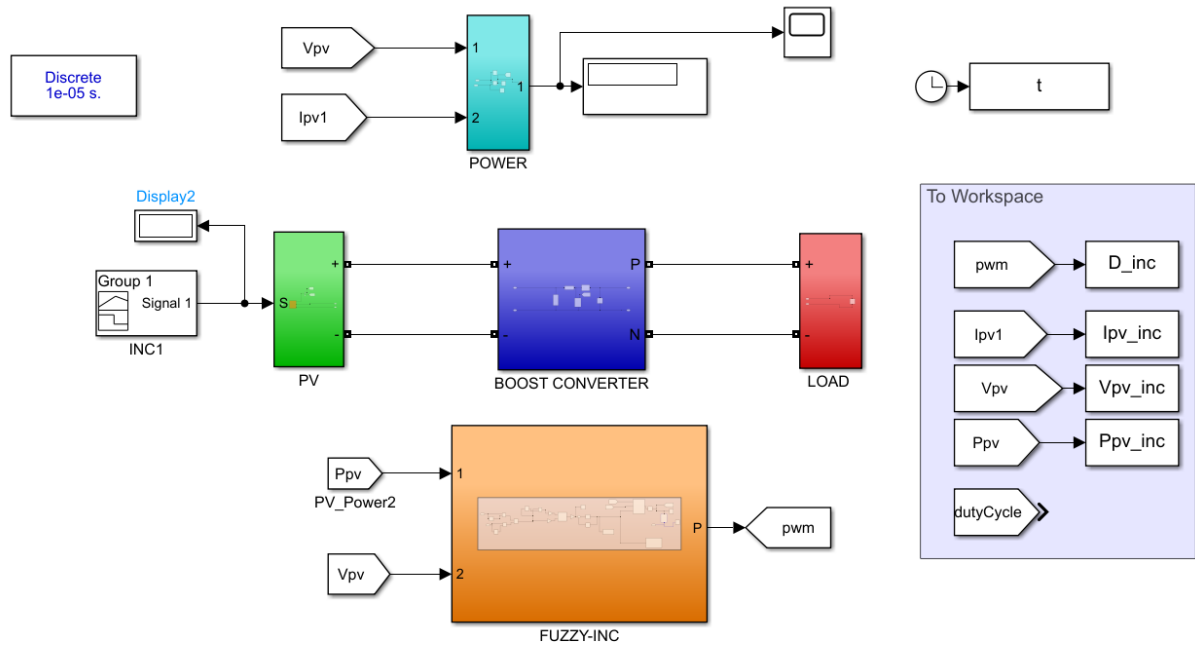


Figure III.9 : Schéma de la command MPPT floue

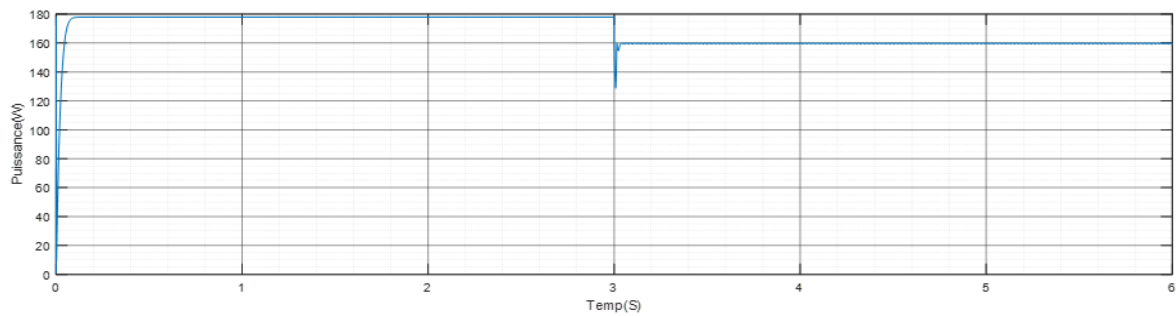


Figure III.10 : Résultats de simulation des courbes de puissance

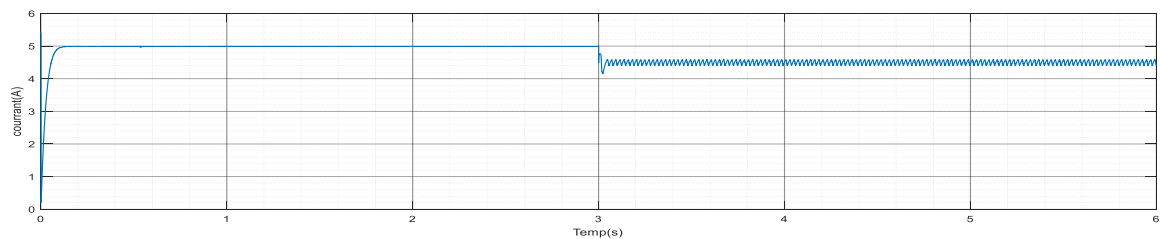


Figure III.11 : Résultats de simulation du courant

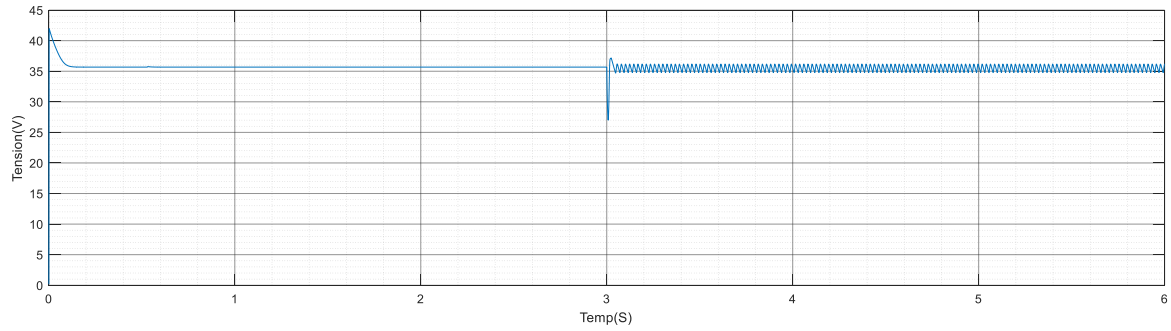


Figure III.12 : Résultats de simulation de la tension.

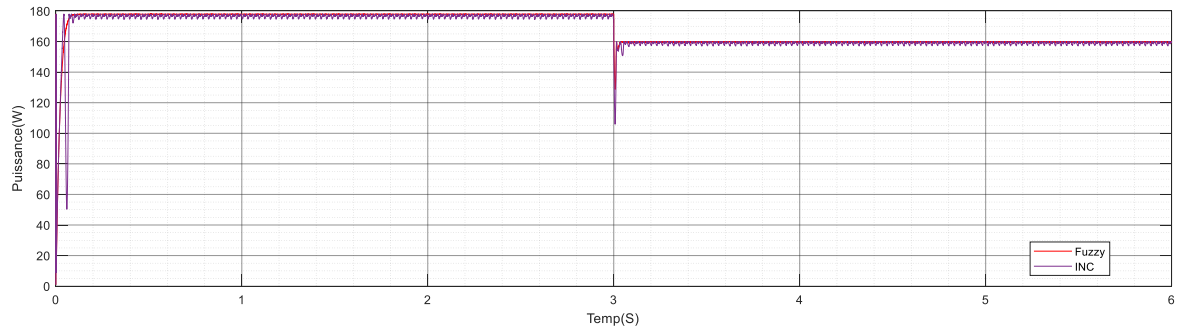


Figure III.13 : Résultats de simulation des courbes de puissance

D'après les résultats de simulation obtenus, on remarque que le contrôleur MPPT par la méthode (INC) à des meilleures performances comme le montre la figure (III.13), avec petit des oscillations dans le régime pemanant, et un temps de réponse plus rapide.

III.3.conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons fait une présentation du système de commande mppt floue avec une application des deux commandes MPPT choisi sur le système PV associant le panneau PV – hacheur – charge. Nous avons ensuite présenté les résultats pour une variation de l'éclairement. Les résultats de simulation montre un fonctionnement satisfaisant sur la tension et la puissance générée et au niveau de la charge.

L'algorithme P&O est classique et simple. En général, cet algorithme repose fortement sur les conditions initiales et offre des fluctuations sur la valeur optimale. Le principal inconvénient de cet algorithme est sa mauvaise conduite après un brusque changement d'éclairage. L'algorithme floue se comporte mieux lorsque les conditions météorologiques changent rapidement. Cependant, il s'agit d'un algorithme plus complexe que le précédent.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La demande mondiale d'énergie évolue rapidement et les ressources énergétiques naturelles Tels que la faible teneur en uranium, gaz et pétrole en raison de la L'industrie s'est développée ces dernières années. Pour couvrir les besoins énergétiques, La recherche a conduit aux énergies renouvelables. Une des énergies renouvelables que vous pouvez vous permettre Répondre à la demande, c'est le solaire PV, c'est une énergie propre et silencieuse, Disponible et gratuit. Cela explique pourquoi son utilisation s'est développée Important dans le monde. Une grande partie de la puissance générée par un générateur photovoltaïque reste inexploitée, cela est dû aux perturbations interne ou bien externe, externe tel que les variations de températures ou d'ensoleillement, interne du aux perturbations de la charge tout cela provoque des perturbations dans le point de puissance maximale du générateur PV, et pour y remédier on a recoure à une commande MPPT qui ajuste le point de fonctionnement du générateur PV celons les conditions de fonctionnement. La commande MPPT fonctionne en agissant sur la gâchette d'un convertisseur DC/DC qui sert d'interface entre le générateur photovoltaïque et la charge.

Afin d'améliorer l'efficacité des systèmes photovoltaïques, différents algorithmes de commandes intelligentes ont été étudiées pour la poursuite du point maximum de puissance dans ce travail. Nous Nous avons fait des simulations d'un contrôleur basé sur des techniques populaires tel que la perturbation et l'observation et puis la commande floue. Qui offre un meilleur comportement que la P&O. Après quoi on a établis une comparaison entre les deux méthodes face à des variations d'ensoleillements, pour étudier la différence de comportement entre elles. Apres simulation et analyse des différents résultats on arrive à plusieurs conclusions:

- Un générateur photovoltaïque face à une diminution d'ensoleillement a tendance à perdre de la puissance .
- La commande MPPT P&O permet la poursuite du point de puissance maximum malgré un manque de précision et de rapidité .
- La commande MPPT a base de logique floue permet une poursuite du point de puissance maximum avec beaucoup plus de rapidité et de précision que la commande P&O ce qui la rend plus avantageuse .
- D'âpre les résultats énumérer on constate bien que la méthode a base de logique floue est une méthode qui offre un très bon suivi du point de puissance maximum.

Références bibliographiques

- [1] A. FERRAI, « Dimensionnement des Infrastructures Utilisant Diverses Sources Énergétiques Renouvelables Potentielles pour l'Alimentation Electrique d'un Village» ; Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2008.
- [2] Edition Masson « Les piles solaires, le composant et ces applications ».1985
- [3] L'électricité photovoltaïque, Yves JAUTARD et Thierry BOUDOL (Solarte) - 25/05/2000
- [4] Alain RICAUD, "Modules photovoltaïques, Filières technologiques", Techniques de l'ingénieur, D3940.
- [5] DEBILI Narimene , "Etude et optimisation en environnement Matlab/Simulink d'un système de pompage Photovoltaïque ", Mémoire De Magister ,2015.
- [6] Maouedj Rachid, "Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de Tlemcen et de Bouzareah", Mémoire De Magister ,2005.
- [7] Photovoltaïque Electricité solaire, document délivré par l'association suisse des professionnels de l'énergie solaire.
- [8] MERAHI REDA , "MODELISATION D'UN DIPOSITIF MPPT POUR L'ETUDE DE
- [9] M. Taherbaneh, G. Farahani, and K. Rahmani, "Evaluation the accuracy of one-diode and two-diode models for a solar panel based open-air climate measurements," *Solar Cells-Silicon Wafer-Based Technologies*, vol. 4, pp. 201–228, 2011.
- [10] N. Oleksiy, "Simulation, fabrication et analyse de cellules photovoltaïques à contacts arrières interdigtés," *Institut national des sciences appliquée de Lyon*, 2005.
- [11] T. J. Ross, "Fuzzy logic with engineering applications," *Journal of the Korean Steel Structural Society*, vol. 25, no. 4, pp. 71–71, 2013.
- [12] M. Moulay-Amar et M. Loghouini, « Etude et réalisation d'un système de poursuite de point de puissance maximale à base de microcontrôleur destiné a une installation photovoltaïque », Mémoire d'ingénieur, université de Ouargla, Algérie, 2005.
- [13] Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, Ernesto Ruppert Filho, "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays", *IEEE Transactions on power electronics*, vol.24,no.5, may2009
- [14] Dr.F.Bouchafaa,«Cours Électronique de puissance», <http://www.usthb.com>, 2008/2009.
- [15] H. LEQUEU – [DIV435] – Fichier : IUT-EDP-9, 2004/2005.
- [16] A. Bouharchouche, A. Bouabdallah, « Étude et dimensionnement d'une centrale hybride photovoltaïque-éolienne », Projet de fin d'études, ENP, 2010.

- [17] Dariga MEEKHUN, « Réalisation d'un système de conversion et de gestion de l'énergie d'un système photovoltaïque pour l'alimentation des réseaux de capteurs sans fil autonomes pour l'application aéronautique », Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2011.
- [18] BELKAID ABDELHAKIM, "Conception et implémentation d'une commande mppt de haute performance pour une chaine de conversion photovoltaïque autonome", Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas - Sétif 1 2015.
- [19] HUANG Bin, "CONVERTISSEUR CONTINU-CONTINU A RAPPORT DE TRANSFORMATION ELEVE POUR APPLICATIONS PILE À COMBUSTIBLE ", Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine ,2009.
- [20] BENSACI Wafa, « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT », mémoire de master, Université de Ouargla, 2012.
- [21] W. Boucheritte, « Convertisseurs multi niveaux dans les systèmes PV Connectés au réseau», Mémoire de Magister en Electrotechnique, Université Mohamed Khider , Biskra, 2013.
- [22] M.Angel Cid Pastor, "Conception et Réalisation de Modules Photovoltaïques Electroniques" Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse", 2006.
- [23] Angel Cid Pastor, “Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques”, thèse de Doctorat : Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse 2008.
- [24] BEHIR B KHEMIDA F GUETROUNE K, “ Optimisation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT floue”, Mémoire De Master, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued, 2019.
- [25] H. BOUZERIA, Modélisation et commande d'une chaine de conversion photovoltaïque, DOCTORAT 3ème cycle LMD en Électrotechnique, Université de Batna, 2016
- [26] Algazar Mohamed M, AL-monier Hamdy, EL-halim Hamdy Abd, Salem Mohamed
- [27] Ezzat El Kotb, “Maximum power point tracking using fuzzy logic control”, Electr Power Energy Syst, vol. 39, 2012, pp. 21–28.
- [28] M. BOUKLI HACENE OMAR, Conception et Réalisation d'un générateur photovoltaïque Muni d'un convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Energétique, Mémoire Magister, Université Abou Bakr Belekaid, 2011.

- [29] Cédric CABAL, "Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque", Thèse de doctorat , UNIVERSITE TOULOUSE III,2008.
- [30] A. DAOUD, A. MIDOUN « A Fuzzy Logic Based Photovoltaic Maximum Power Tracker Controller», Université de Oran.
- [31] A. e. M. A.GUELLAL, «La Commande MPPT Basée sur les Algorithmes Intelligents Destinée aux Applications Photovoltaïques : Etude comparative et implémentation sur FPGA, Le 4ème Séminaire International sur les Energies Nouvelles et renouvelable,» 2016.
- [32] I. Sari-Ali, B. Benyoucef, and B. Chikh-Bled, “étude de la jonction pn d'un semiconducteur à l'équilibre thermodynamique”, *Journal of Electron Devices*, vol. 5, pp. 122–126, 2007.