

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MOUHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE

ELECTRIQUE

N° : RE-268



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

DOMAINE : GENIE ELECTRIQUE

FILIERE : ELECTROTECHNIQUE

OPTION : RESEAUX ELECTRIQUES

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: ALILI Amel

Intitulé

**COMMANDE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE EN
UTILISANT UN CONTROLEUR FLOUE**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr KHODJA Djalel

Université De M'sila

Président

Dr MESSALTI Sabir

Université De M'sila

Rapporteur

Dr ZEMMIT Abderrahim

Université De M'sila

Examineur

Dr AYEB Abdelghani

Université De M'sila

Examineur

Année universitaire : 2017 / 2018

Remerciements

Avant tout je remercie

Dieu de nos avoir Donné la force et le courage.

A la suite Nous tenons à remercier vivement

Dr.MESSALTI Sabir notre promoteur qui a fourni des efforts énormes, par ses Informations ses conseils et

Ses encouragements.

Je voudrais également remercier les messieurs

Les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont donné

Accepter de siéger à notre défense

Je remercie également à Mr. Boudia issam

Assistant Ingénieur à l'Université de M'sila

Convenu d'être des références à ce travail.

Et tous les professeurs du département de génie électrique

Mes chaleureux remerciements à tous

De près et de loin contribué à

Atteindre cette mémoire.

Dédicace

*Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de
M'avoir donné le courage, la volonté et la patience
pour réaliser*

Ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail :

*À mes chers parents, mon cher mari et ma petite fille
maria, Dieu les sauve*

Protège de leur soutien moral et financier

Encouragement et sacrifices.

*À ma deuxième mère (la mère de mon mari) et mes
frères Dounia Assma Khaled Rayen*

Pour toutes les familles Alili, Boukhalat

Pour mes chers amis

Pour tout ce que j'aime et qui m'aime

*À tous mes camarades de classe surtout mes collègues
en génie électrique.*

SOMMAIRE

List des figures

Introduction général	1
Chapitre I : Ressources énergétiques renouvelables	
I.1. Introduction	3
I.2. La production d'électricité par les énergies renouvelables	4
I.2.1. Biomasse	4
I.2.2. La solaire thermique	5
I.2.3. Géothermie	5
I.2.4. Hydraulique	6
I.2.5. Energie de la mer	7
I.2.6. Éolienne	8
I.2.7. Photovoltaïque	9
I.3. Quelle est la différence entre solaire photovoltaïque et solaire thermique	10
I.3.1. La solaire photovoltaïque	10
I.3.2. La solaire thermique	10
II.4. Avantages et inconvénients d'un système PV	11
II.4.1. Avantages	11
II.4.2. Inconvénients	11
I.5 Conclusion	12
Chapitre II : Système photovoltaïque	
II.1. Introduction	13
II.2. Le système photovoltaïque	14
II.2.1. La cellule photovoltaïque	14
II.2.1.1. Principe de fonctionnement	14
II.2.1.2. Type et rendement des cellules photovoltaïques	15
II.2.2. Association des modules photovoltaïques	16
II.2.2.1 Association en série	16
II.2.2.2. Association en parallèle	16
II.2.2.3. Association série-parallèle (mixte)	17
II.3 Générateur photovoltaïque	17
II.3.1. Modélisation d'une cellule photovoltaïque	17
II.3.2. Modélisation d'un panneau	19
II.4. Les principales caractéristiques d'un module	21
II.4.1. Puissance crête	21
II.4.2. Rendement	21
II.4.3. Caractéristiques I(V) et P(V) d'un GPV	21
II.5. Influence de l'éclairement et de température	22
II.5.1. Influence de l'éclairement	22
II.5.2. Influence de la Température	23
II.6. Conclusion	24
Chapitre III : Simulation et analyse de MPPT par la commande (P&O)	
III.1. Introduction	25
III.2. Convertisseur DC/DC	26
III.2.1. Types des hacheurs	26
III.2.2. Hacheur dévolteur (Buck Converter)	26
III.2.3. Hacheur survolteur (Boost converter)	27
III.2.4. Hacheur dévolteur-survolteur (Cuk converter)	27
III.3. La commande MPPT	28
III.3.1. Suivi de la puissance maximale du générateur photovoltaïque	28
III.3.2. Principe du MPPT	28

III.3.3. Principe des techniques “Perturb and Observe” (P&O) non amélioré	29
III.3.3.1. Avantages et inconvénients de (P&O)	31
III.3.4. Principe des techniques “Incrément de conductance” (Inc.CoN)	31
III.4. Simulation du système photovoltaïque avec hacheur commandé en MPPT	33
III.4.1.L'Algorithme perturbation et observation (P&O)	33
III.5. Conclusion	37

Chapitre IV : Simulation et analyse de MPPT par un contrôleur basé à la logique floue

IV.1 Introduction	38
IV.2. La logique floue	39
IV.2.1 Historique	39
IV.2.2 Généralité sur la logique flou	39
IV.2.2.1. Variables linguistiques et ensemble flous	39
IV.2.2.2. Les fonctions d'appartenance	40
IV.2.2.3. Inférence à plusieurs règles floues	41
IV.2.2.4. Les opérateurs de la logique floue	42
IV.3. Principe et fonctionnement d'un contrôleur floue	44
IV.3.1. Définition	44
IV.3.2. Principe d'un contrôleur flou	44
IV.3.2.1. Fuzzification	45
IV.3.2.2. L'inférence	45
IV.3.2.3. Déffuzification	47
IV.4 Analyse et simulation de méthode d'extraction de puissance maximale par le contrôleur basé a la logique flou	48
IV.5. Comparaison des résultats des techniques de commande (FLOU, P&O)	51
IV.6. Conclusion	53
Conclusion général	54
Référence	
Résumé	

List des figures

- Figure (I.1) Les sources d'énergie renouvelable
- Figure (I.2) Le bois source de l'énergie Biomasse
- Figure (I.3) Principe du chauffe solaire thermique
- Figure (I.4) Principe de la géothermie
- Figure (I.5) Principe de fonctionnement d'un barrage
- Figure (I.6) Les énergies marines
- Figure (I.7) Conversion de l'énergie éolienne.
- Figure (I.8) Composantes principales d'un panneau photovoltaïque
- Figure (I.9) les différences de modèles de panneaux entre solaire photovoltaïque et solaire thermique
- Figure (II.1) Schéma d'un système PV
- Figure (II.2) Représentation d'une jonction P-N d'une cellule PV
- Figure (II.3) Les électrons circulent à partir de la zone N Traversant la charge, et reviennent au zone P
- Figure (II.4) Différents types de la cellule photovoltaïque
- Figure (II.5) Association de N modules solaires en série
- Figure (II.6) Association des modules solaires en parallèle
- Figure (II.7) Association mixte des modules solaires
- Figure (II.8) Schéma équivalent de la cellule PV
- Figure (II.9) Exemple de caractéristique courant-tension et puissance-tension d'un module
- Figure (II.10) Effet de l'éclairement sur la caractéristique I(V)
- Figure (II.11) Effet de l'éclairement sur la caractéristique P(V)
- Figure (II.12) Effet de la température sur la caractéristique I(V)
- Figure (II.13) Effet de la température sur la caractéristique P(V)
- Figure (III.1) les différents types de convertisseurs statiques
- Figure (III.2) Circuit idéal du convertisseur dévolteur (Buck) avec fonction MPPT
- Figure (III.3) Circuit idéal d'un convertisseur survolteur (Boost) avec fonction MPPT
- Figure (III.4) Circuit idéal d'un convertisseur dévolteur-survolteur (cuk) avec fonction MPPT
- Figure (III.5) Fluctuation du PPM avec l'intensité d'éclairement (A) et la charge RS (B). Puissance à la sortie du GPV
- Figure (III.6) Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT
- Figure (III.7) Caractéristique de la puissance du générateur PV
- Figure (III.8) Algorithme MPPT perturbation and observation (P&O)
- Figure (III.9) Signe de dP/dV pour différentes zones de fonctionnement
- Figure (III.10) organigramme de l'algorithme Cond-Inc
- Figure (III.11) Schéma MATLAB SIMULINK d'un système photovoltaïque avec la commande MPPT (P&O).
- Figure (III.12) Schéma de simulation de l'algorithme de perturbation et de l'observation (P et O)
- Figure (III.13): Allure de la puissance en fonction de temps pour ($T=25^{\circ}\text{C}, G=1000\text{W}/\text{m}^2$)
- Figure (III.14): Allure de la puissance en fonction de tension pour ($T=25^{\circ}\text{C}, G=1000\text{W}/\text{m}^2$)
- Figure (III.15) Allure de la tension générée en utilisant pas variable en fonction de temps ($T=25^{\circ}\text{C}, G=200, 500, 1000\text{ W}/\text{m}^2$).
- Figure (III.16) Allure de la puissance générée en utilisant pas variable en fonction de temps ($T=25^{\circ}\text{C}, G=200, 500, 1000\text{ W}/\text{m}^2$).

Figure (III.17) Allure de la puissance en fonction de la tension ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=200$, $500,1000$ W/m^2)

Figure (III.18) Allure de courant en fonction de la tension ($T=25^{\circ}\text{C},G=200, 500,1000$ W/m^2)

Figure (IV.1) Image réelle pour contrôleur flou

Figure (IV.2) format d'un ensemble flou normalisé

Figure (IV.3) Formes usuelles des fonctions d'appartenance

Figure (IV.4) différentes formes de fonctions d'appartenance

Figure (IV.5) Opération "NON"

Figure (IV.6) L'opérateur "ET", réalisé par la formulation de minimum

Figure (IV.7) Opérateur "OU", réalisé par la formulation du maximum

Figure (IV.8) Schéma bloc de l'algorithme à base de la logique floue

Figure (VI .9) Méthode d'interférence MAX-MIN

Figure (IV.10) Schéma MATLAB SIMULINK d'un système photovoltaïque avec la commande MPPT Logique flou

Figure (IV .11) Schéma de simulation de l'algorithme de perturbation et de l'observation (P&O)

Figure (IV.12) Allure de la puissance en fonction de temps pour ($T=25^{\circ}\text{C},G=1000\text{W/m}^2$)

Figure (IV .13) Allure de la tension en fonction de temps pour ($T=25^{\circ}\text{C},G=1000\text{W/m}^2$)

Figure (IV.14) Allure de la puissance générée par le panneau photovoltaïque Pour ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000$ W/m^2)

Figure (IV.15) Allure de la puissance en fonction de la tension ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=200$, $500,1000$ W/m^2)

Figure (IV.16) Allure de courant en fonction de la tension ($T=25^{\circ}\text{C},G=200, 600,1000$ W/m^2)

Figure (IV.17) Allure de puissance en fonction de la temps($T=25^{\circ}$ C , $G=200$, $500,1000$ W/m^2)

Figure (IV .18) Logique floue - P&O la tension de sortie

Figure (IV .19) Logique floue - P&O la puissance de sortie

Figure (IV.20) Logique flous – P&O le temps de réponse

Introduction générale

La demande de l'énergie électrique ne cesse d'augmenter ces dernières années ainsi que les contraintes liées à sa production, tels que l'effet de pollution et de réchauffement climatique global, conduisent les recherches vers le développement des sources d'énergie renouvelables [1].

Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici et au future, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables, pour cela plusieurs travaux de recherches ont été lancés dans plusieurs laboratoires de recherche dans le domaine de développement durable, pour but de satisfaire la demande de consommation énergétique d'une part et d'autre part pour réduire les effets négatives des ressources d'origine fossile sur l'environnement [2].

Dans ces secteurs l'approvisionnement électrique dépend seulement des systèmes de génération diesel autonomes, outre le coût de carburants ne cesse d'augmenter, en plus l'extension du réseau électrique s'avère prohibitif et le surcout d'approvisionnement en combustible augmente radicalement avec l'isolement, ce qui rend la production d'électricité économiquement très dispendieuse, ce qui traduit l'application d'une solution parfaite comme une production d'énergie décentralisée, à savoir les *Systèmes Hybrides de génération d'énergie* [3].

Le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par les humains. Leur relatif faible impact sur l'environnement en fait des énergies d'avenir face au problème de la gestion des déchets du nucléaire et aux émissions de gaz à effet de serre [4].

Dans ce contexte, les systèmes photovoltaïques (PV) offrent une solution très concurrentielle. Pour surmonter le problème de rendement des panneaux solaires et obtenir un rendement maximum, il est nécessaire d'optimiser la conception de toutes les parties du système PV. En outre, il est nécessaire d'optimiser les convertisseurs (continu/continu) DC/DC employés comme interface entre le générateur PV et la charge afin d'extraire le maximum de puissance et ainsi faire fonctionner le générateur GPV à son point de puissance maximum (MPP) à l'aide d'un contrôleur MPPT (maximum power point tracking), par conséquent, obtenir un courant électrique maximum sous la variation de la charge et des conditions atmosphériques (luminosité et température) [5].

Dans la première partie, nous allons présenter une description générale sur les différentes sources d'énergies utilisées avec leurs modes d'utilisation, ensuite on va introduire tous les éléments. A la fin de ce chapitre puis, on mettra en valeur les avantages et les inconvénients de

Introduction générale

système photovoltaïques afin de faciliter la conception et nous répondrons à la question, Quelle est la différence entre solaire photovoltaïque et solaire thermique ?

Le deuxième chapitre est consacré à exposer le principe de fonctionnement du système photovoltaïque, et pour cela, au premier lieu nous allons présenter un aperçu sur le système photovoltaïque, son principe de fonctionnement et son modèle mathématique, et au deuxième lieu, nous allons montrer les résultats de simulation de système photovoltaïque et analyser les deux effets suivants : température et rayonnement.

Dans le troisième chapitre montré les types de convertisseurs sont souvent rencontrés dans l'énergie photovoltaïque: les redresseurs, les onduleurs, les hacheurs.

Est présente le principe de la commande MPPT. Les techniques de commande les plus utilisées dans le contrôle MPPT sont revues et étudiées, tels que : observation et perturbation (O&P). Afin d'exploité le système photovoltaïque d'une manière efficace nombreuse études méritent est considérations très important pour cela, l'objectif de cette étude est l'association de la commande par logique flou à la commande MPPT et d'analyser ainsi que comparer son comportement par rapport aux autres techniques (O&P) utilisées dans le contrôle des systèmes photovoltaïque, a reformules.

Dans le quatrième chapitre, nous allons présenter un nouvelle commande MPPT basé sur contrôleur floue, de nombreux simulation et analyse sont présenté, puis nous allons montrer les résultats de simulation d'un système PV avec le contrôleur Floue-MPPT et la comparaison entre P&O et logique flou.

Chapitre I

Ressources énergétiques renouvelables

I. Ressources énergétiques renouvelables

I.1 Introduction

L'épuisement des ressources fossiles, à plus ou moins long terme, la flambée des cours du brut et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre selon le protocole de Kyoto rendent urgentes la maîtrise des consommations et la diversification des sources d'énergie, un fait qui interpelle plus fort que jamais le développement des énergies renouvelables [8].

On dit que la source d'énergie est renouvelable si le fait de faire la consommer n'influence jamais sur sa quantité, ni faire limiter son utilisation au future. le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici 20-30 ans, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables [9].

le besoin d'une alternative renouvelable pour faire produire l'électricité a été le sujet de discussion pour plusieurs secteurs et aux niveaux d'un grand nombre de pays au monde entier. Les études ont été élaborées pour faire de cet outil non polluons l'axe de recherche pour plusieurs chercheurs afin de réaliser un but majeur celle de minimiser les effets négatives de ressources classiques de production de l'énergie [10].

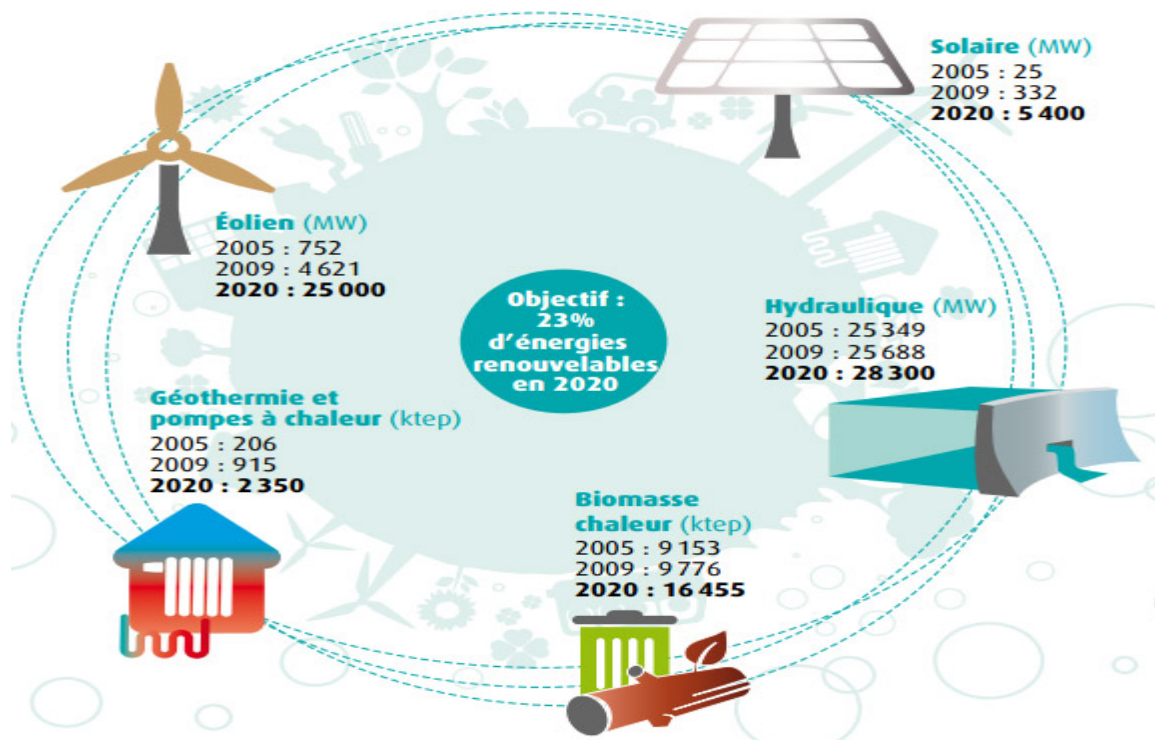


Figure (I.1) Les sources d'énergie renouvelable

I.2 La production d'électricité par les énergies renouvelable

Les sources d'énergie disponibles dans notre environnement proche et permettant de produire de l'électricité sont : l'eau, le soleil, le vent, la chaleur de terre, la mer et le bois. Directement compétitives pour les sites isolés (les coûts de raccordement au réseau électrique sont très élevés), les centrales électriques à sources renouvelables peuvent aussi, sous certaines conditions, être directement raccordées au réseau [11].

I.2.1 La biomasse

La biomasse désigne toute la matière vivante d'origine végétale ou animale de la surface terrestre. Généralement, les dérivés ou déchets sont également classés dans la biomasse. Des différents types sont à considérer : le bois énergie, les biocarburants et le biogaz. Le bois énergie est une ressource très abondante, c'est la ressource la plus utilisée au monde [12]. Il s'agit aussi d'énergie solaire stockée sous forme organique grâce à la photosynthèse ce qui est bien montré par la (figure 1.2).

Elle est exploitée par combustion et les chaudières à eau chaude ou les systèmes à vapeur basse pression pour chauffer les plus gros bâtiments, les écoles, les hôpitaux, les bâtiments industriels ou les systèmes de chauffage urbain. Cette énergie est renouvelable à condition que les quantités brûlées n'excèdent pas les quantités produites, Le problème plus important est que la biomasse n'est pas inépuisable [13].

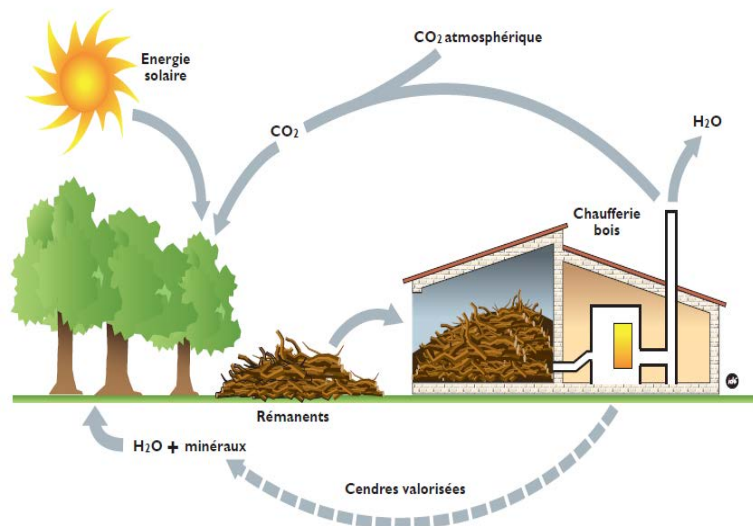


Figure (I.2) Le bois source de l'énergie Biomasse

I.2.2 La solaire thermique

La solaire thermique basse température permet essentiellement le chauffage de l'eau sanitaire et, dans une moindre mesure, la production combinée de chauffage par plancher chauffant (plancher solaire direct) (figure 1.3). Ce système est notamment utilisé dans les centrales solaires thermiques « L'énergie solaire thermique se distingue de l'énergie solaire photovoltaïque, qui est obtenue par la conversion du rayonnement solaire directement en électricité » [14].

Cette application de l'énergie solaire, industrialisée depuis plus de 25 ans, est actuellement en phase de croissance accélérée aux Etats-Unis, au Japon et en Europe.

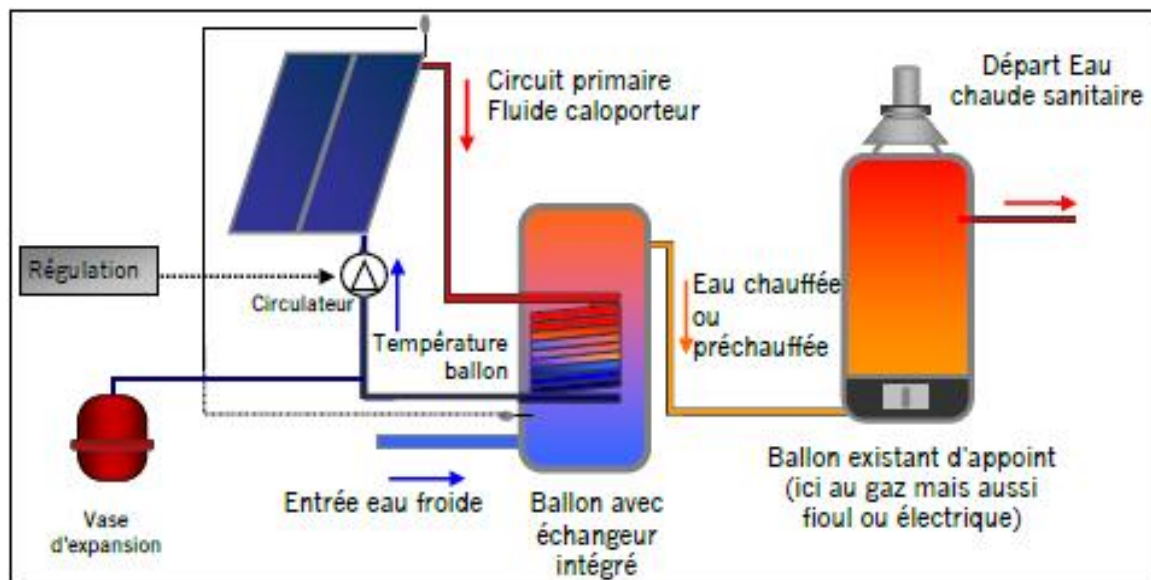


Figure (I.3) Principe du chauffage solaire thermique

I.2.3 Géothermie

Le terme géothermie provient du grec <Ge> et <thermos>, signifiant respectivement : la terre et la chaleur. la géothermie peut se définir comme étant la technique qui consiste à puiser dans le sous-sol ou dans les roches, les calories qui y sont contenues, afin de les rendre disponibles en surface pour des applications de chauffage ou de production d'électricité. Dans des cas particuliers, la géothermie peut consister à injecter de la chaleur dans le sous-sol afin de refroidir les installations de surface [6].

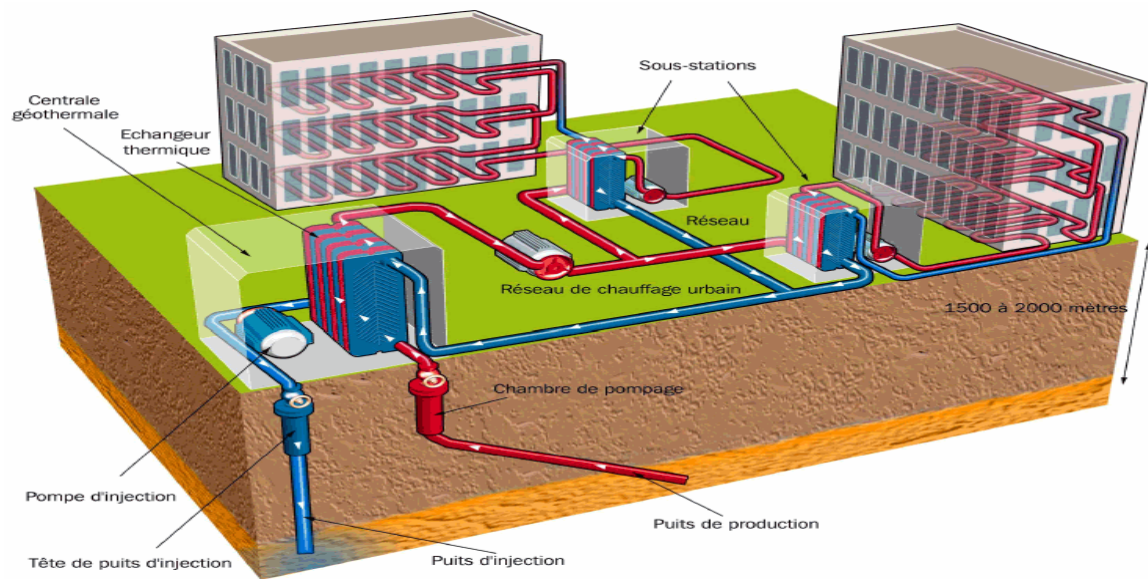


Figure (I.4) Principe de la géothermie

I.2.4 Hydraulique

Les centrales hydroélectriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique.

Cette turbine entraîne un alternateur dans le lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique, une centrale hydroélectrique est composée de 3 éléments de base :

Un Barrage : son rôle est d'une part de créer une chute d'eau, d'autre part de stocker l'eau pour alimenter la centrale en toutes circonstances. En plus de la production ou du stockage d'énergie, un barrage figure (I.5), présente aussi un intérêt pour réguler les crues d'un cours d'eau.

Un Canal : de dérivation : il prélève l'eau dans son milieu naturel (rivière, lac) pour alimenter le réservoir du barrage. il peut s'agir d'un canal à ciel ouvert, d'une galerie souterraine ou d'une conduite

Une Usine : elle comprend des turbines qui tournent grâce à la chute d'eau et entraînent le générateur d'électricité, en général un alternateur. il y a plusieurs types de centrales hydroélectriques, Le type d'ouvrage hydroélectrique varie selon la configuration du site, du cours d'eau exploité, et aussi de l'usage qui doit en être fait :es centrales de basse chute, ils utilisent des turbines de type Kaplan.

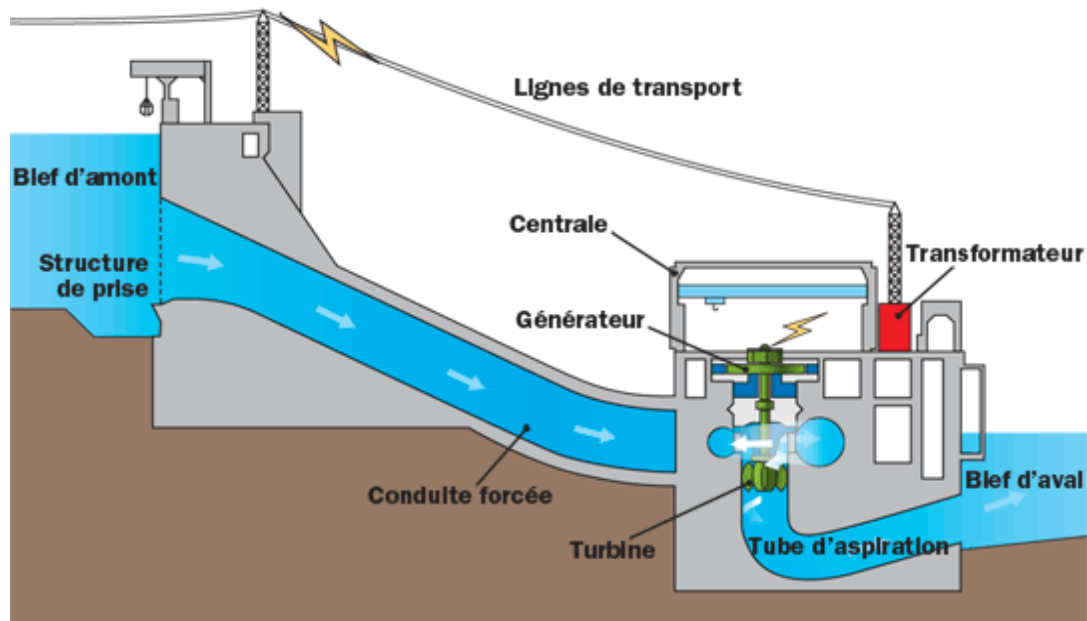


Figure (1.5) Principe de fonctionnement d'un barrage

Les Centrales au fil de l'eau : construites le long d'un fleuve ou d'une rivière, produisent au gré des débits du cours d'eau. Avec des barrages d'une hauteur inférieure à 25 mètres, ces centrales produisent de l'électricité en continu pour répondre aux besoins quotidiens.

Les Usines-écluses : ou les « usines de lac » entrent dans la catégorie de l'hydraulique modulable car elles permettent de produire de l'électricité à la demande, leurs barrages créant des retenues que l'on peut relâcher « turbiner » selon les besoins. Les « usines de lac » désignent des chutes importantes (plus de 300 mètres de haut), les « usines-écluses » se placent quant à elles entre 25 et 300 mètres

Les STEP : (Station de transfert d'énergie par pompage) sont spécialement adaptées à cette fonction de modulation. Elles sont constituées de deux retenues d'eau situées à des hauteurs différentes. Lorsque la demande l'exige, on « turbine » l'eau du bassin supérieur. Lorsqu'il y a un excès de production – provenant par exemple de sources éoliennes ou solaires – on utilise l'électricité en surplus pour pomper » l'eau du bassin inférieur et la remonter dans le bassin supérieur [15].

I.2.5 Energie de la mer

La mer est un milieu riche en ressources énergétiques qui peuvent être exploitées sous différentes formes se focalise sur la production d'électricité via les filières suivantes :

- L'énergie marine ou des mers est extraite du milieu marin. Il y a notamment l'énergie marémotrice (issue du mouvement de l'eau créé par les marées) .

- L'énergie des vagues (houlomotrice) (utilise la puissance du mouvement des vagues).
- L'énergie thermique des mers (produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans),
- Les éoliennes offshore et l'énergie osmotique (diffusion ionique provoquée par l'arrivée d'eau douce dans l'eau salée de la mer).
- L'énergie hydrolienne (utiliser l'énergie des courants marins pour faire tourner sa turbine).

Tout comme les autres sources renouvelables, elle est non polluante lors de la production. On note également que l'énergie potentiellement disponible est énorme et que cette technologie a un bel avenir [16].

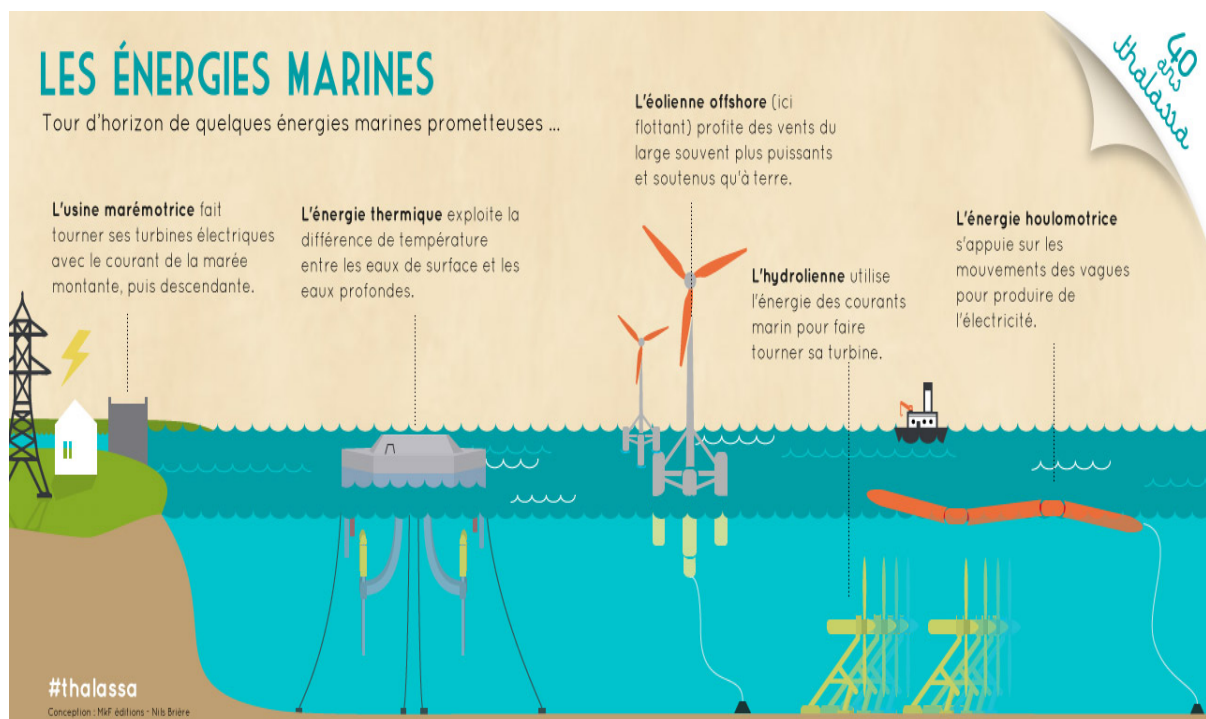


Figure (I.6) Les énergie marines

I.2.6 Les éolienne

Les énergies éoliennes sont notamment caractérisées par des déplacements de masse d'air à l'intérieur de l'atmosphère. C'est l'énergie mécanique de ces déplacements de masse d'air qui est à la base de l'énergie éolienne.

L'énergie éolienne consiste ainsi à utiliser cette énergie mécanique par l'intermédiaire d'un rotor et de pales. Cette source est non polluante et néanmoins l'énergie éolienne est intermittente, et l'installation de parc éolien engendre des impacts paysagés et sonores [17].

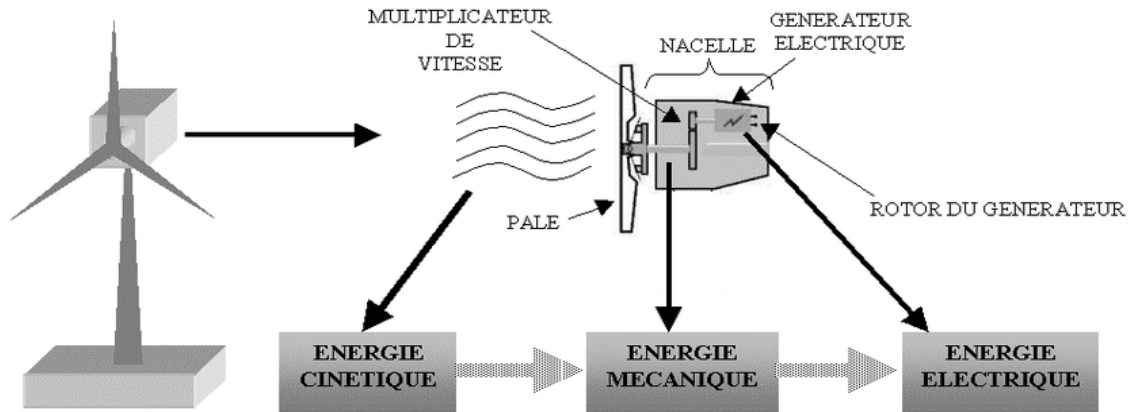


Figure (I.7) Conversion de l'énergie éolienne.

Il faut pour produire de l'électricité un apport minimal du vent d'environ 12-14 km/h et des vents de 50-60 km/h pour produire à pleine puissance. Afin d'éviter d'abîmer l'équipement, la production doit être interrompue si les vents dépassent les 90 km/h, Éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en:

- Énergie électrique, dans le cas d'un aérogénérateur.
- Énergie mécanique, dans le cas d'une éolienne de pompage [11].

I.2.7 Photovoltaïque

Le rayonnement solaire représente une ressource renouvelable d'énergie énorme, de loin la plus importante. L'énergie reçue à la surface de la terre varie, par m², de 1100 kWh à 2300 kWh/an (au total $720 \cdot 10^5$ kWh/an) [18]. L'effet photovoltaïque permet de transformer directement la lumière solaire en énergie électrique la production d'électricité par générateur photovoltaïque est liée à l'intensité, à la durée de l'ensoleillement et à l'orientation du panneau par rapport au soleil.

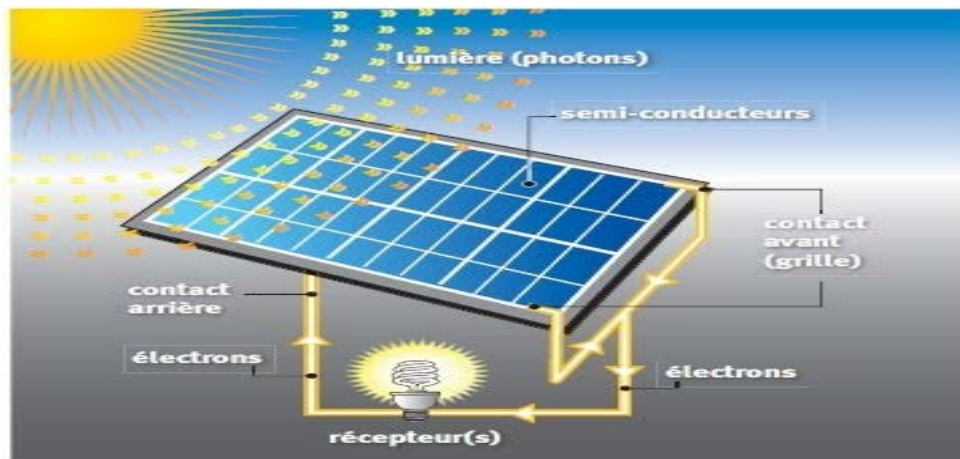


Figure (I.8) Composantes principales d'un panneau photovoltaïque

C'est pourquoi pour l'instant, la production photovoltaïque est plutôt réservée à l'alimentation en site isolé d'équipements et d'habitations où le coût élevé du raccordement au réseau la rend compétitive. Après avoir recouvert les coûts initiaux de l'installation, l'énergie solaire est pratiquement gratuite :

- L'utilisation de l'énergie solaire remplace l'énergie fossile non propre.
- L'utilisation de l'énergie solaire permet de diminuer de façon significative les émissions des gaz à effet de serre.

L'énergie du soleil peut être utilisée de différentes façons en employant trois grandes Technologies soient, l'énergie solaire passive, l'énergie solaire active et l'énergie Photovoltaïque [18].

I.3 Quelle est la différence entre solaire photovoltaïque et solaire thermique ?

I.3.1 La solaire photovoltaïque

Le solaire photovoltaïque (PV) permet de produire de l'électricité. La conversion directe de l'énergie solaire en électricité se fait par l'intermédiaire d'un matériau semi-conducteur comme le silicium. L'élément de base est la cellule photovoltaïque et le produit commercial s'appelle un module photovoltaïque.

I.3.2 La solaire thermique

Le solaire thermique permet de produire de la chaleur (à basse, moyenne ou haute température). Les applications les plus répandues sont celles concernant le bâtiment comme la production d'eau chaude sanitaire. La conversion du rayonnement solaire en chaleur se fait grâce au capteur solaire thermique [19].



Figure(I.9) les différences modèle de panneaux entre solaire photovoltaïque et solaire thermique

I.4 Avantages et inconvénients d'une systèmes PV

I.4.1 Avantage

- une haute fiabilité ou l'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- leur montage est simple et ses installations sont adaptables aux besoins de chaque projet.
- le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits. il ne nécessite ni combustible, ni un transport, ni un personnel hautement spécialisé.
- ils sont recyclables, les matériaux utilisés pour leur production peuvent être réutilisés. Le recyclage n'est pas seulement bénéfique pour l'environnement, il contribue également à réduire l'énergie nécessaire pour produire plus de matériaux.
- L'énergie solaire photovoltaïque peut être intégrée de manière esthétique dans les bâtiments. Les modules solaires peuvent être en façades, contribuant ainsi à l'autonomie énergétique des bâtiments [18].
- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes.
- L'énergie solaire captée par la terre pendant une heure pourrait suffire à la consommation mondiale pendant une année. Au total, ce rayonnement représente 1.6 milliards de TWh, soit huit mille fois la consommation énergétique annuelle mondiale.

II.4.2 Inconvénients

- une fabrication d'un module photovoltaïque relève une haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 %, avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesels[20].
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. la fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulation associés soient judicieusement choisis.
- La durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. De plus, le rendement des cellules photovoltaïques diminue avec le temps.

Le niveau de production d'électricité n'est pas stable. Il n'est pas prévisible, il dépend du niveau d'ensoleillement. Cependant la production d'électricité n'est pas constante [21].

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu sur les différentes sources d'énergies renouvelables qui existent, tel que l'énergie hydraulique, solaire, éolienne, biomasse, mer et géothermique...etc. on mettra en valeur les avantages et les inconvénients de système photovoltaïque afin de faciliter la conception et nous répondrons à la question, Quelle est la différence entre solaire photovoltaïque et solaire thermique ?

Dans la suite de notre travail nous allons étudier le système, effet, et modélisation de photovoltaïque, puis en va exposer le système MPPT.

Chapitre II

Systeme photovoltaique

II. Système photovoltaïque

II.1 Introduction

La demande de l'énergie électrique ne cesse d'augmenter ces dernières années ainsi que les contraintes liées à sa production, tels que l'effet de pollution et de réchauffement climatique global, conduisent les recherches vers le développement des sources d'énergie renouvelables [1]. Dans ce contexte, les systèmes photovoltaïques (PV) offrent une solution très concurrentielle. Pour surmonter le problème de rendement des panneaux solaires et obtenir un rendement maximum, il est nécessaire d'optimiser la conception de toutes les parties du système PV. En outre, il est nécessaire d'optimiser les convertisseurs (continu/continu) DC/DC employés comme interface entre le générateur PV et la charge afin d'extraire le maximum de puissance et ainsi faire fonctionner le générateur GPV à son point de puissance maximum (MPP) à l'aide d'un contrôleur MPPT (maximum power point tracking), par conséquent, obtenir un courant électrique maximum sous la variation de la charge et des conditions atmosphériques (luminosité et température)[5].

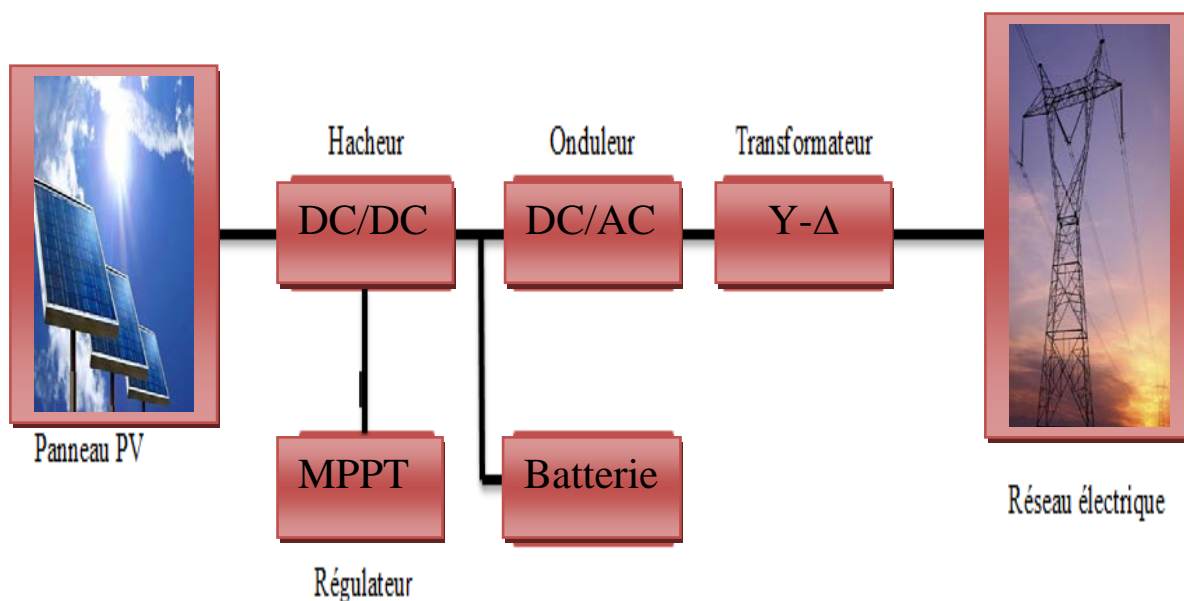


Figure (II.1) Schéma d'un système PV

II.2 Le système photovoltaïque

II.2.1 La cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3V à 0.7V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule et du vieillissement de la cellule [22].

II.2.1.1 Principe de fonctionnement

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P)[23]. Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6V pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (V_{oc}) Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit (I_{cc}) et dépend fortement du niveau d'éclairement [24].

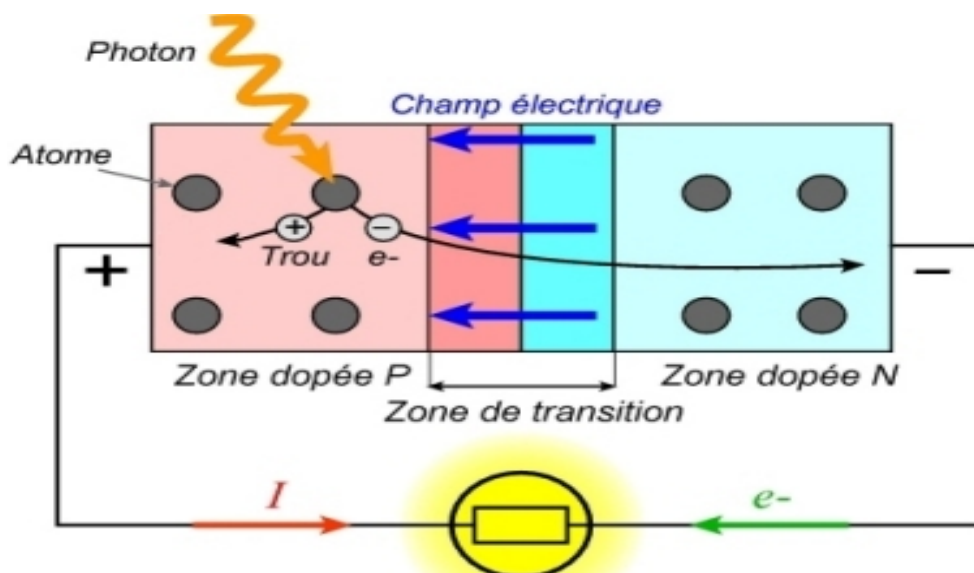


Figure (II.2) Représentation d'une jonction P-N d'une cellule PV

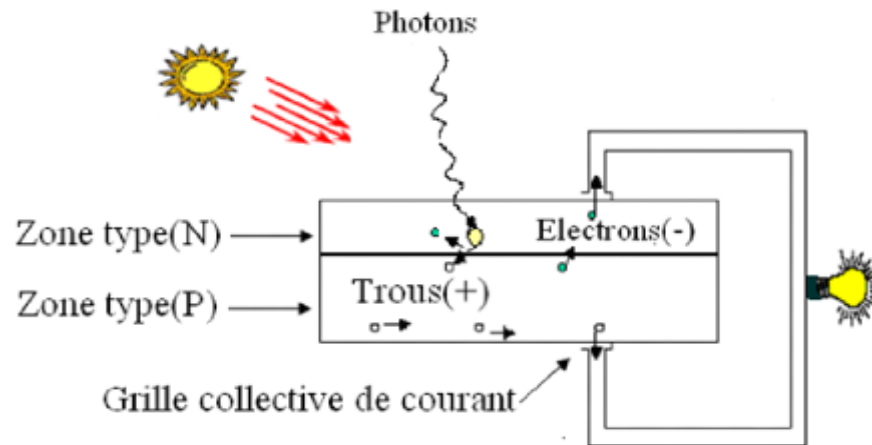


Figure (II.3) Les électrons circulent à partir de la zone N Traversant la charge, et reviennent à la zone P

II.2.1.2 Type et rendement des cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont constituées de semi-conducteurs à base de silicium (Si), de germanium (Ge), de sélénium (Se), de sulfure de cadmium (CdS), de tellure de cadmium (CdTe) ou d'arséniure de gallium (GaAs). Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques, car il est très abondant dans la nature. On le trouve dans la nature sous forme de pierre de silice. La silice est un composé chimique (dioxyde de silicium) et un minéral de formule SiO_2 [25].

Les différents types de cellules PV existants sont :

- cellules en silicium monocristallin sont gris bleuté ou noir d'un aspect uniforme, rendement de 13 à 17%, (a)
- cellules en silicium poly cristallin sont bleues d'un aspect mosaïque, rendement de 11 à 15%, (b)
- cellule en silicium amorphe sont de rendement de 6 à 10%, (c)[26]

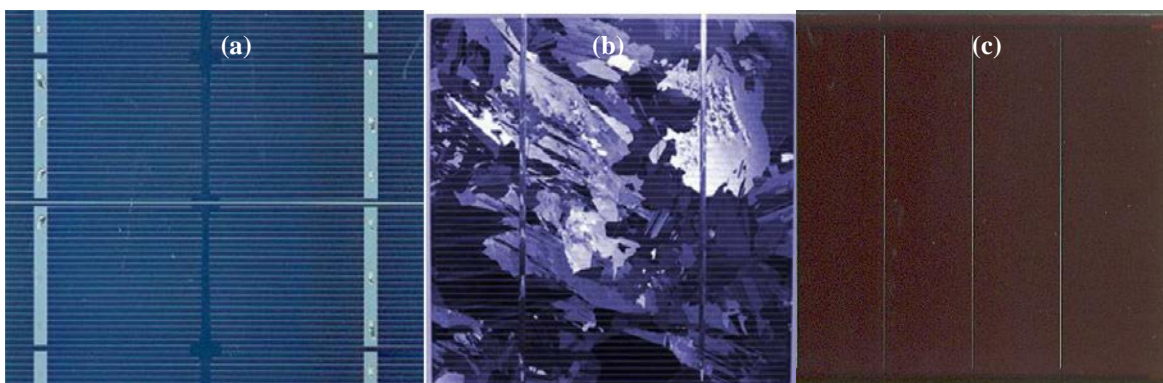


Figure (II.4) : Types des Cellules photovoltaïque: (a) monocristallin, (b) poly cristallin, (c) amorphe

II.2.2 Association des modules photovoltaïques

Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle afin d'augmenter la tension et l'intensité du courant d'utilisation. Toutefois, il importe de prendre quelques précautions car l'existence de cellules moins efficaces ou l'occlusion d'une ou plusieurs cellules (dus à de l'ombrage, de la poussière, etc..) peuvent endommager les cellules de façon permanente [27].

II.2.2.1 Association en série

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 0.5 W avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau).

L'association en série des cellules délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule [26].

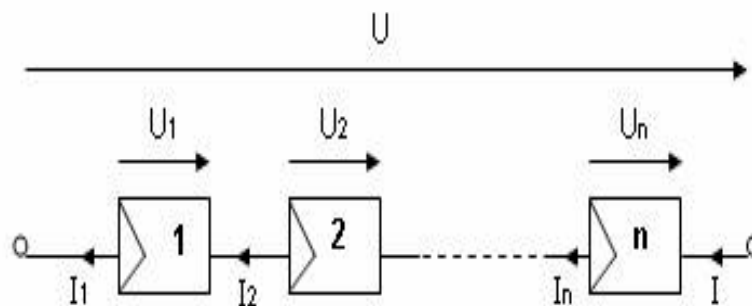


Figure (II.5) Association de N modules solaires en série.

II.2.2.2 Association en parallèle

En additionnant des modules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche [27].

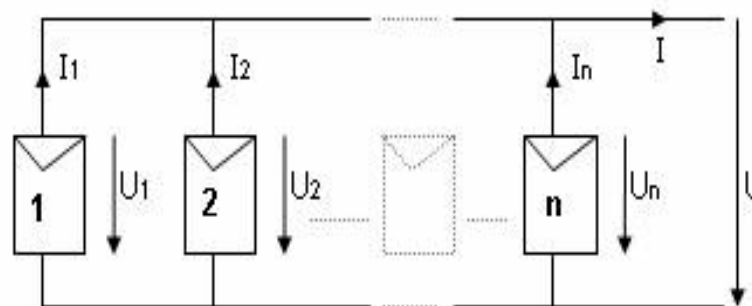


Figure (II.6) Association des modules solaires en parallèle.

II.2.2.3 Association série-parallèle (mixte)

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, on est obligé d'utiliser un groupement mixte, c'est à dire Série-Parallèle [28].

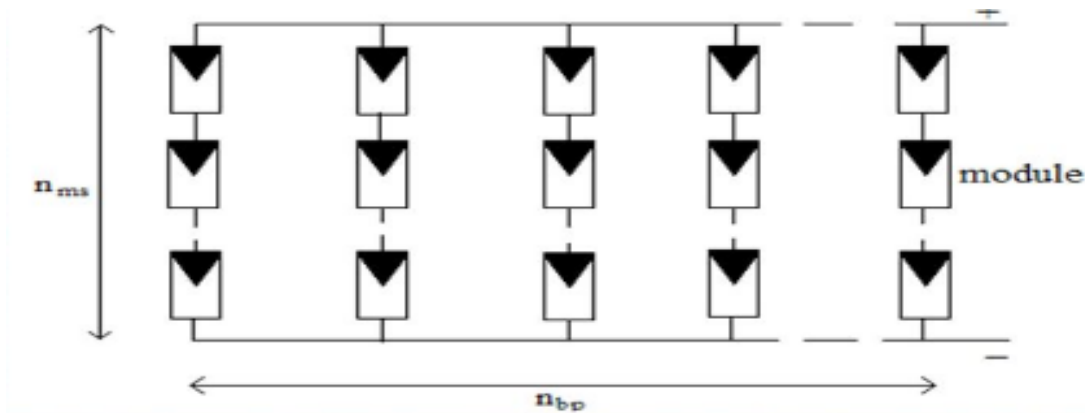


Figure (II.7) Association mixte des modules solaires.

II.3 Générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque est un ensemble d'équipements mis en place pour exploiter l'énergie photovoltaïque afin de satisfaire les besoins en charge. En fonction de la puissance désirée, les modules peuvent être assemblés en panneaux pour constituer un "champ photovoltaïque". Relié au récepteur sans autre élément, le panneau solaire fonctionne "au fil du soleil", c'est-à-dire que la puissance électrique fournie au récepteur est fonction de la puissance d'ensoleillement [29].

II.3.1 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

Pour développer un modèle équivalent d'une cellule photovoltaïque, il est nécessaire de faire un choix judicieux des circuits électriques qui le constituent et de comprendre la configuration physique et les caractéristiques électriques des éléments de la cellule. Pour cela, plusieurs modèles mathématiques sont développés pour représenter le comportement non linéaire des jonctions des semi-conducteurs. Dans la suite nous présentons le modèle à une diode (diode classique).

Ainsi, la figure (II.8) illustre le schéma électrique équivalent d'une cellule PV réelle.

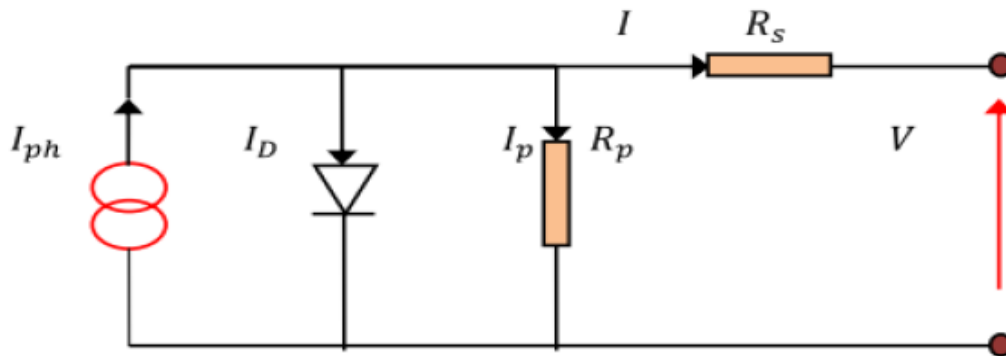


Figure (II.8) Schéma équivalent de la cellule PV

Dans ce schéma, on prend en compte le courant de court-circuit et les différentes résistances modélisant les pertes dues à la connectique. En statique, le comportement d'une cellule PV constituée d'une jonction PN à base de silicium peut être décrit par l'équation suivante :

$$I = I_{ph} - I_D - I_p \quad (\text{II.1})$$

I : Le courant fourni par la cellule.

I_{ph} : Photocourant (A).

$I_{sc} = I_{scr} \left(\frac{G}{1000} \right)$: Le courant de court-circuit de référence.

$$I_p = \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (\text{II.2})$$

I_p : Le courant dérivé par la résistance parallèle.

$I_D = I_0 \left[\exp\left(\frac{V + I \cdot R_s}{nV_T}\right) - 1 \right]$: Le courant traversant la diode.

I_0 : Le courant de saturation inverse d'une diode.

$$V_T = \frac{KT}{e} \quad (\text{II.3})$$

V_T : La tension thermique.

Ou :

e : charge d'électron ($1.602 \cdot 10^{-19} \text{C}$).

K : constante de Boltzman ($1.381 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$)

n : facteur non idéalité de la jonction comprise entre 1 et 5 dans la pratique.

T : la température effective de la cellule en kelvin.

En utilisant les équations ci-dessus on peut en déduire l'expression de courant délivré par la cellule photovoltaïque

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + I.R_s}{nV_T} \right) - 1 \right] - \frac{V + I.R_s}{R_p} \quad (\text{II.4})$$

II.3.2 Modélisation d'un panneau

Pour réaliser cette simulation, nous avons choisi le module photovoltaïque BP SX 60W de BP Solaire. La série SX de BP Solaire fournit une puissance photovoltaïque rentable destinée à un usage général par exploitation directe des charges à courant continu, ou des charges à courant alternatif sur les systèmes munis d'onduleur. Le module est composé de 36 cellules solaires multi cristallines en silicone connectées en série pour produire une puissance maximale de 60W. Les caractéristiques électriques de ce module photovoltaïque sont données dans le tableau (II.1) [30] :

Puissance (P_{max})	60W	150W
Tension à P_{max} (V_{pmax})	17.5V	34.5V
Courant à P_{max} (I_{pmax})	3.5A	4.35A
Tension à circuit ouvert (V_{co})	21.1V	43.5V
Courant de court-circuit de référence (I_{ccr})	3.8A	4.75A
Coefficient de la température de V_{co}	-160±20Mv/°C	
Coefficient de la température de I_{cc}	0.065±0.015%/°C	
Coefficient de la température de la puissance	-0.5±0.05%/°C	
Température nominale d'opération de la cellule (NOCT)	47±2°C	

Tableau (II.1) : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque BP SX 60W et 150w

Plusieurs modèles mathématiques sont utilisés pour simuler le fonctionnement d'un générateur photovoltaïque. Ces modèles se différencient par la méthode de calcul et le nombre des paramètres intervenants dans la caractéristique courant - tension. Dans notre cas, nous avons choisi un modèle simple nécessitant que les paramètres donnés par le fabricant, la caractéristique I-V de ce modèle est illustrée ci-dessous [31] :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + I.R_s}{nV_T} \right) - 1 \right] - \frac{V + I.R_s}{R_p} \quad (\text{II.4})$$

Où, le courant de diode, est donné par l'équation :

$$I_D = I_0 \left[\exp \left(\frac{V + I \cdot R_s}{nV_T} \right) - 1 \right] \quad (\text{II.5})$$

Le courant de saturation inverse d'une diode est donné par :

$$I_0 = \frac{I_{sc}}{\left[\exp \left(\frac{V + I \cdot R_s}{nV_T} \right) - 1 \right]} \quad (\text{II.6})$$

Si l'on suppose que la résistance parallèle est infinie ($R_s = \infty$) l'équation (II.1) devienne :

$$\text{Avec :} \quad I = I_{sc} - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + I \cdot R_s}{nV_T} \right) - 1 \right] \quad (\text{II.7})$$

I : Le courant fourni par la cellule.

V : La tension à la borne de cellule.

Calcul de la résistance série dans le point V_{oc}

$$dI = 0 - I_s \left(\frac{dV + R_s dI}{nV_T} \right) * \exp \left(\frac{V + I \cdot R_s}{nV_T} \right) \quad (\text{II.8})$$

La résistance série influe largement sur la pente de la courbe des caractéristique I-V au voisinage de V. Elle peut être calculée par la formule suivante :

$$R_s = - \frac{dV}{dI} - \frac{nV_T}{I_0 \cdot \exp \left(\frac{V + I \cdot R_s}{nV_T} \right)} \quad (\text{II.9})$$

$$R_s = - \frac{dV}{dI} \Big|_{V_{oc}} - \frac{nV_T}{I_0 \cdot \exp \left(\frac{V + I \cdot R_s}{nV_T} \right)} \quad (\text{II.10})$$

Enfin, pour résoudre l'équation de caractéristique non linéaire, on utilise la méthode de Newton décrite par :

$$x_{n+1} = x_n + \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (\text{II.11})$$

$f'(x_n)$: Le dérivé de la fonction $f(x_n)$

x_n : La présente itération.

x_{n+1} : L'itération suivante.

Ainsi, on réécrit l'équation (II.7) sous la forme suivante :

$$f(I) = I_{sc} - I - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + I \cdot R_s}{nV_T} \right) - 1 \right] = 0 \quad (\text{II.12})$$

En remplaçant dans l'équation(II.11), on calcule le courant (I) par les itérations [32] :

$$I_{n+1} = I_n - \frac{I_{sc} - I_n - I_0[\exp(\frac{V+I_n.R_s}{nV_T}) - 1]}{-1 - I_0 \cdot (\frac{R_s}{nV_T}) \cdot [\exp(\frac{V+I_n.R_s}{nV_T})]} \quad (\text{II.13})$$

Les équations précédentes ne sont valables que pour un mode de fonctionnement optimal.

Pour généraliser notre calcul pour différents éclairagements et températures, nous utilisons le modèle qui déplace la courbe de référence à de nouveaux emplacements.

$$I_{sc}(T) = I_{scr}(T_{ref}) \cdot [1 + \alpha (T - T_{ref})] \quad (\text{II.14})$$

$$I_{sc} = I_{scr} \left(\frac{G}{1000} \right) \quad (\text{II.15})$$

Où I_{scr} courant de court-circuit de référence.

$$I_0(T) = I_0(T_{ref}) \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^{\frac{3}{n}} \cdot \left[\exp\left(\frac{-q \cdot E_g}{nk} \right) \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right] \quad (\text{II.16})$$

α : Le coefficient de variation du courant en fonction de la température.

T_{ref} : La température de référence, 298k (25°C).

G : L'irradiation solaire.

II.4 Les principales caractéristiques d'un module

II.4.1 Puissance crête

La puissance électrique produite par un module varie en fonction de l'ensoleillement. La puissance crête d'un module est la puissance délivrée sous un éclairage de 1000W/m² et pour une température de jonction de la cellule de 25°C . En France l'éclairage maximum reçu, la puissance crête correspond donc à une puissance maximum que le module peut fournir.

II.4.2 Rendement

Le rendement dépend des conditions de fonctionnement électrique (intensité, tension) des cellules. Il passe par un maximum à ce que l'on appelle le point de puissance maximale.

II.4.3 Caractéristiques I(V) et P(V) d'un GPV

Le courant produit par un module varie conformément aux diagrammes courant/tension Et puissance/tension, pour différents points de fonctionnement d'un module. Ils dépendent de l'éclairage solaire et de la température des cellules [31].

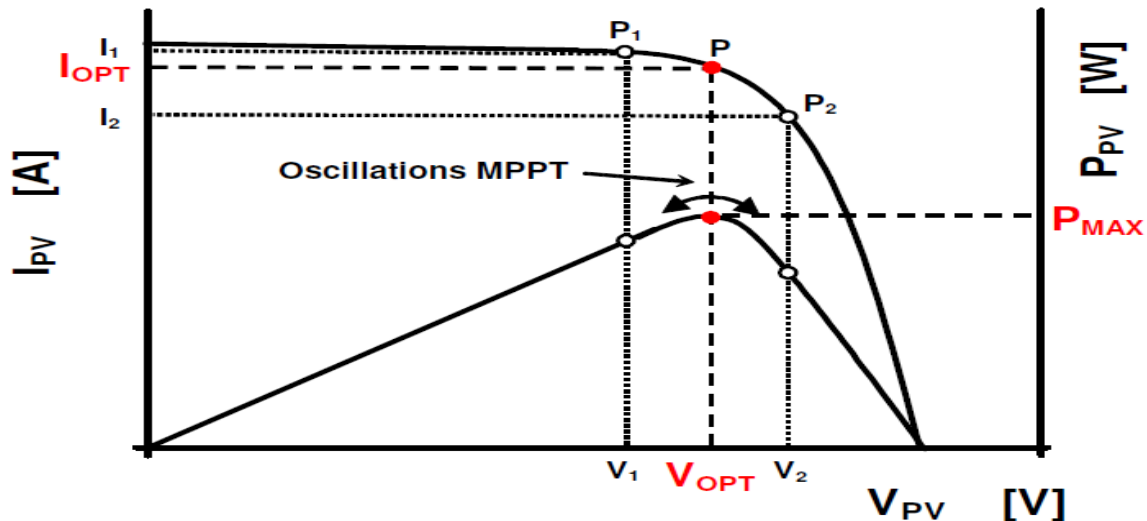


Figure (II.9) : Exemple de caractéristique courant-tension et puissance-tension d'un module

II.5 Influence de l'éclairement et de température

Les figures II.10 et II.11 représentent la caractéristique courant-tension et puissance-tension d'un module (PV) solaire en fonction de l'éclairement, à une température et une vitesse de circulation de l'air ambiant constantes.

Les figures II.12 et II.13 représentent la caractéristique courant-tension et puissance-tension d'un module (PV) solaire en fonction de la température, à un éclairement constant. La température est un paramètre très important dans le fonctionnement des cellules photovoltaïques parce que les propriétés électriques d'un semi-conducteur sont très sensibles à la température.

II.5.1 Influence de l'éclairement

Les figures (II.10) et (II.11) présentent un exemple des courbes pour différents niveaux de rayonnement. Nous avons fixé la température pour différents éclairements.

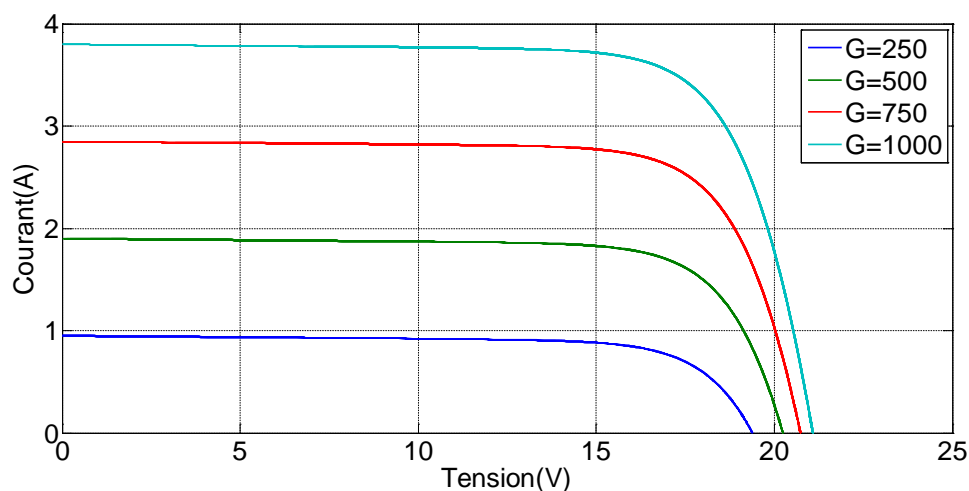


Figure (II.10) : La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement.

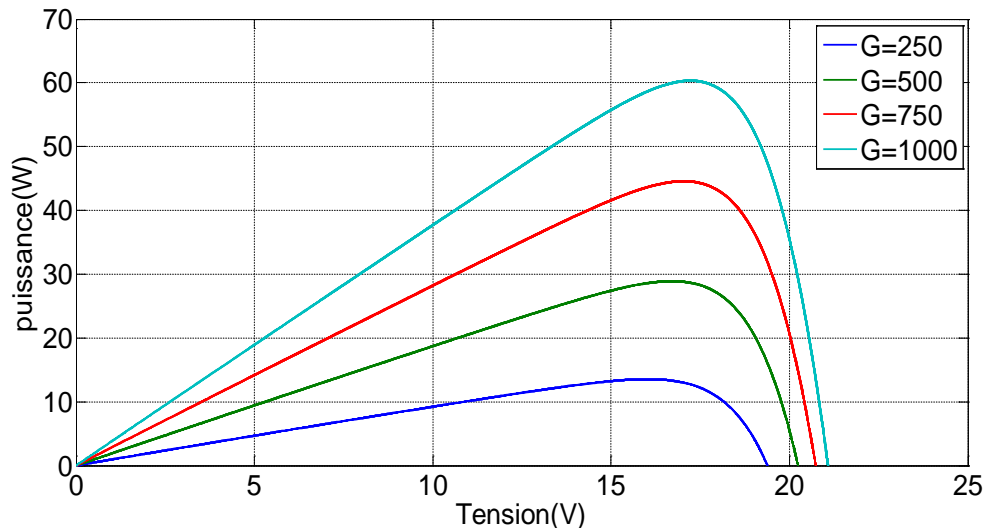


Figure (II.11) : La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement

Pour la figure (II.10) on remarque que pour l'éclairement $G=1000 \text{ w/m}^2$ le courant $I_{sc}=3.8\text{A}$ et pour $G=750\text{w/m}^2$ le courant $I_{sc}=2.84\text{A}$ on peut voir que le courant subit une variation importante, quand l'éclairement augmente le courant de court-circuit augmente, mais par contre la tension varie légèrement.

II.5.2 Influence de la Température

Nous présentons ci-dessous les caractéristiques I-V et P-V figure (II.12) et(II.13) d'un module photovoltaïque pour un niveau d'ensoleillement G donné et pour différentes températures

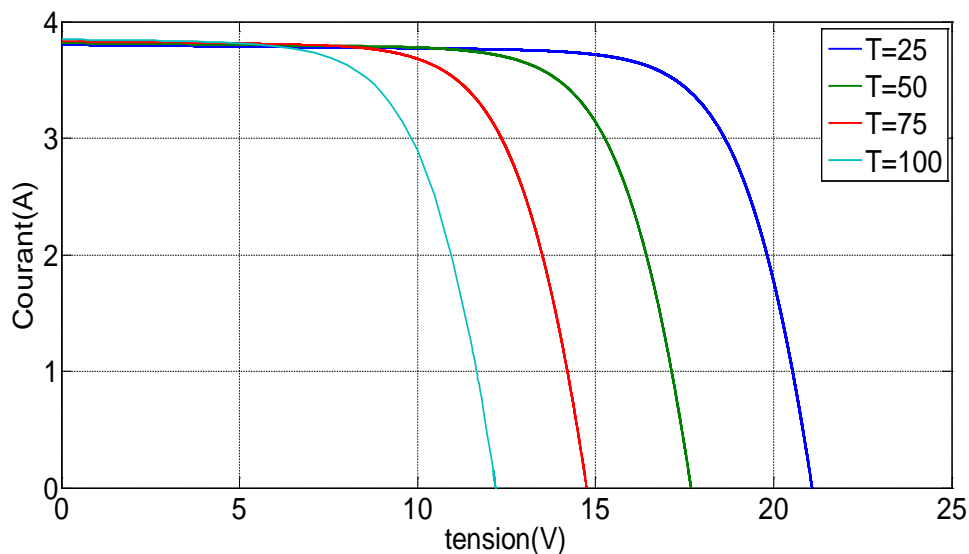


Figure (II.12) : La caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température

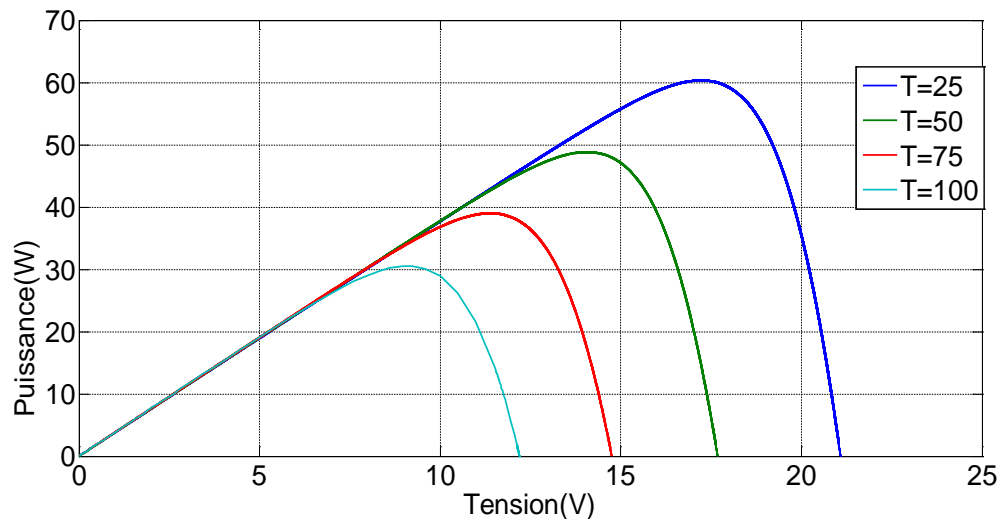


Figure (II.13) : La caractéristique de $P = f(V)$ en fonction de température

Pour la figure (II.12) Nous remarquons que le courant dépend de la température puisque le Courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, on constate que la Température influence négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente figure (II.13)

II.6 conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé le principe de fonctionnement d'un système photovoltaïque à cet effet nous avons commencé par un aperçu sur les systèmes photovoltaïques, le principe de fonctionnement, Les principales caractéristiques d'un module PV, modélisation d'une cellule photovoltaïque le modèle mathématiques puis nous avons montrés les résultats de simulation d'un panneau photovoltaïque (60W) dont les deux effets la températures et le rayonnement. Dans la suite de notre travail nous allons étudier la méthode d'extraction de puissance maximale (MPPT) en utilisant la méthode le plus utilisé perturbation et observation (P&O).

Chapitre III

Simulation et analyse de MPPT par la commande (P&O)

III. Simulation et analyse de MPPT par la commande (P&O)

III.1 Introduction

Dans un système de conversion des énergies renouvelables, des convertisseurs sont utilisés pour charger des batteries de stockage et pour transformer le courant continu en courant alternatif et inversement. Trois types de convertisseurs sont souvent rencontrés dans les énergies renouvelables: les redresseurs, les onduleurs, les hacheurs.

Pour surmonter le problème de rendement des panneaux solaires et obtenir un rendement maximum, il est nécessaire d'optimiser la conception de toutes les parties du système PV. En outre, il est nécessaire d'optimiser les convertisseurs (continu/continu) DC/DC employés comme interface entre le générateur PV et la charge afin d'extraire le maximum de puissance et ainsi faire fonctionner le générateur GPV à son point de puissance maximum (MPP) à l'aide d'un contrôleur MPPT (maximum power point tracking), Un nombre important de technique de commande MPPT ont été élaboré depuis les années 70, commençant par des techniques simples comme les contrôleurs MPPT basés sur le retour d'état de la tension et du courant [33].

Pour calculer MPPT du GPV, parmi les techniques les plus utilisées : Perturbation et Observation (P&O), Incrémentation de la Conductance (IC) Ces dernières années des techniques de commandes plus robuste ont été associées à la commande MPPT telle que la logique floue afin d'augmenter le rendement des panneaux solaires. Dans cette perspective, nous allons présenter les différentes parties d'un système PV, la commande O&P seront étudiés et comparés à une commande MPPT utilisant un contrôleur flou.

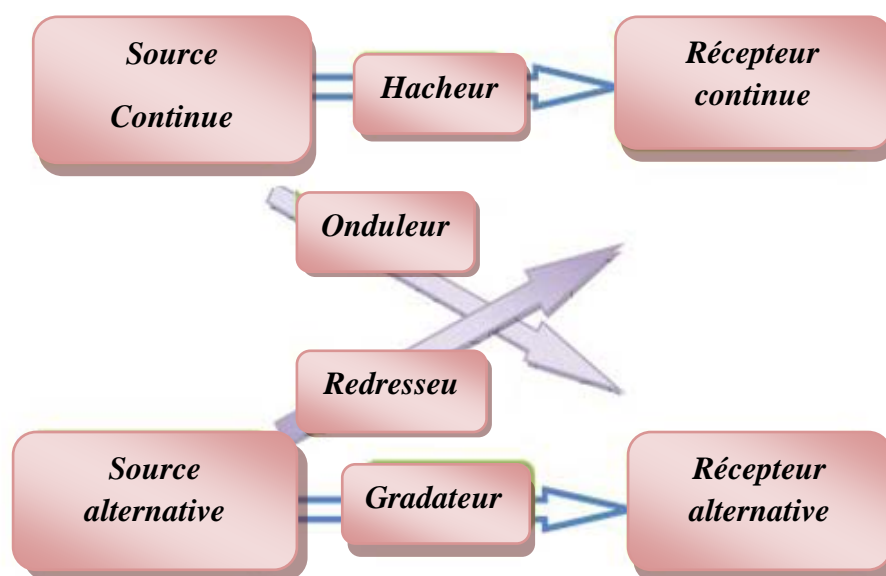


Figure (III.1) : les différents types de convertisseurs statiques

III.2 Convertisseurs DC-DC

III.2.1 Types des hacheurs

Les hacheurs sont des convertisseurs continu/continu qui ont pour but de contrôler le transfert et l'écoulement de l'énergie entre les panneaux solaires et la charge. Ils permettent 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 sont souvent utilisés comme une interface d'adaptation qui assure la poursuite du point de puissance maximale selon des stratégies de contrôle spécifiques.

Il en découle donc quatre types de hacheurs [34] :

Les hacheurs directs qui associent deux sources de nature différentes :

- Le hacheur série, connu comme Buck, Down ou hacheur dévolteur,
- Le hacheur parallèle, Boost, Up ou survolteur
- Le hacheur à stockage inductif connu comme Buck-Boost ou Up-Down ;
- Le hacheur à stockage capacitif ou hacheur de Cuk.

Ce hacheur doit être doté par des fonctions de poursuite de puissance maximale.

III.2.2 Hacheur dévolteur (Buck Converter)

Le convertisseur dévolteur a pour rôle principal de convertir la tension d'entrée en une tension de sortie inférieure. La figure (III.2) présente son circuit idéal.

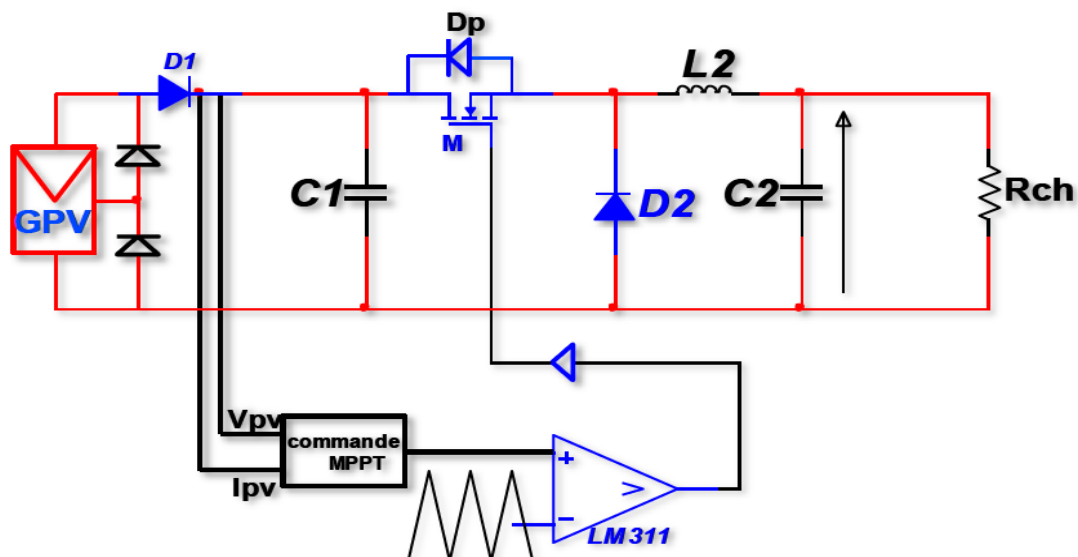


Figure (III.2) Circuit idéal du convertisseur dévolteur (Buck) avec fonction MPPT

III.2.3 Hacheur survolteur (Boost convertter)

Le convertisseur survolteur a pour rôle principal de convertir la tension d'entrée en une tension de sortie supérieure. Il est aussi appelé convertisseur Boost, convertisseur élévateur de tension ou hacheur parallèle [35]. Son circuit idéal est donné par la figure(III.3)

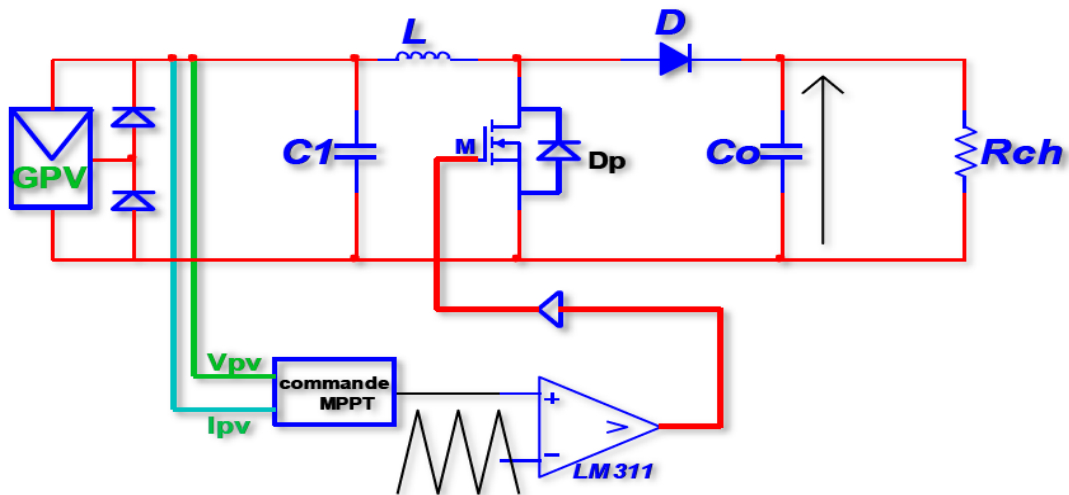


Figure (III.3) Circuit idéal d'un convertisseur survolteur (Boost) avec fonction MPPT

III.2.4 Hacheur dévolteur-survolteur (cuk convertter)

Le convertisseur dévolteur-survolteur (cuk) combine les propriétés des deux hacheurs déjà étudiés. Il peut être employé pour transformer idéalement n'importe quelle tension continue d'entrée en n'importe quelle tension continue de sortie [36]. La figure (III.4) illustre son circuit idéal.

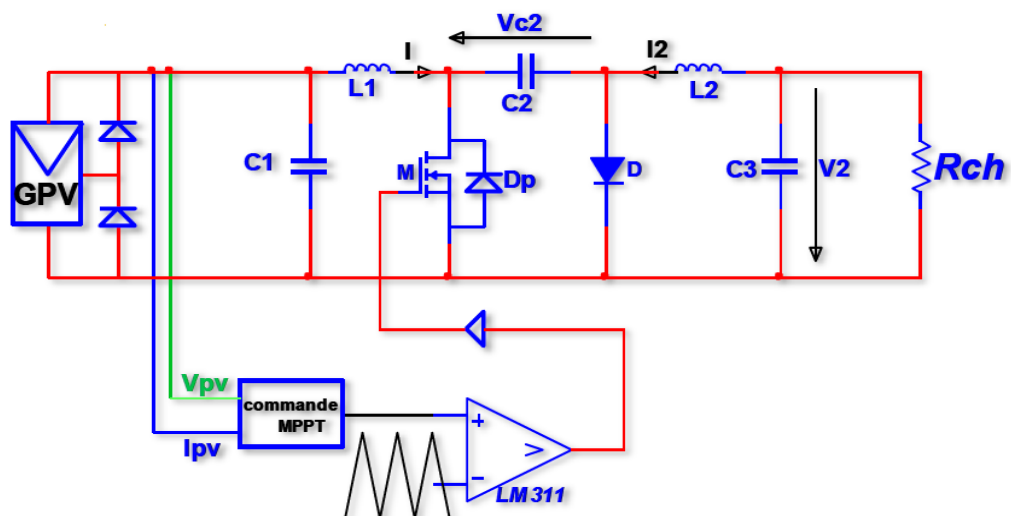


Figure (III.4) Circuit idéal d'un convertisseur dévolteur-survolteur (cuk) avec fonction MPPT

III.3 La commande MPPT

Un MPPT, (Maximum Power Point Tracker) est un principe permettant de suivre, comme son nom l'indique, le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire. Les systèmes MPPT sont généralement associés avec les générateurs photovoltaïques ou encore avec les générateurs éoliens [37].

III.3.1 Suivi de la puissance maximale du générateur photovoltaïque

La poursuite du point maximum de la puissance (MPPT) est une partie essentielle dans les systèmes photovoltaïques. Plusieurs techniques sont développées depuis 1968 date de publication de la première loi de commande de ce type adaptées à une source d'énergie renouvelable de type PV. Ces techniques se différencient entre eux par leur complexité, nombre de capteurs requis, la vitesse de convergence, coût, rendement et domaine d'application.

III.3.2 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, quels que soient les conditions météorologiques (température et l'éclairement), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (V_{mpp} , I_{mpp}) [38].

L'adaptation d'impédance est souvent sous forme d'un convertisseur DC – DC comme représenté sur la figure (III.9).

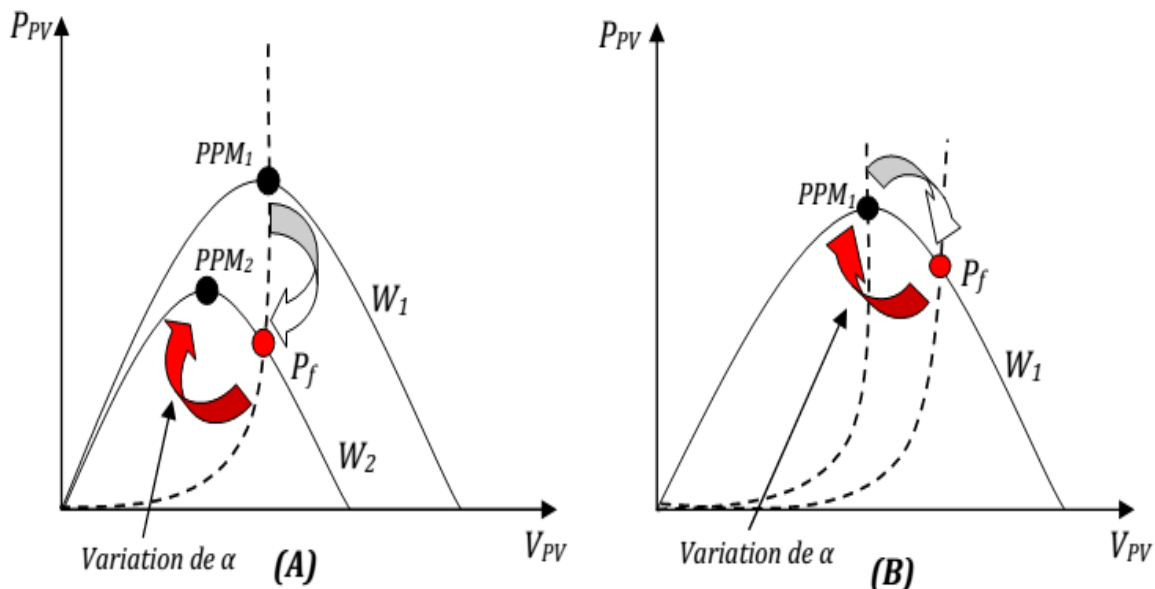


Figure (III.5) Fluctuation du PPM avec l'intensité d'éclairement (A) et la charge R_S (B)

Puissance à la sortie du GPV

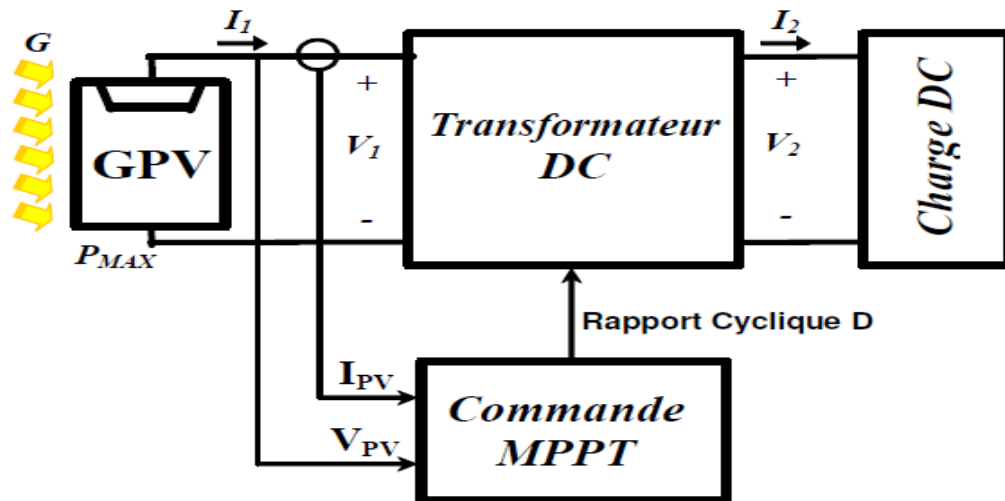


Figure (III.6) Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT

III.3.3 Principe des techniques "Perturb and Observe" (P&O)

Le principe de cette commande est de générer des perturbations en réduisant ou en augmentant le rapport cyclique D et d'observer l'effet sur la puissance délivrée par le GPV Figure(III.7) [39].

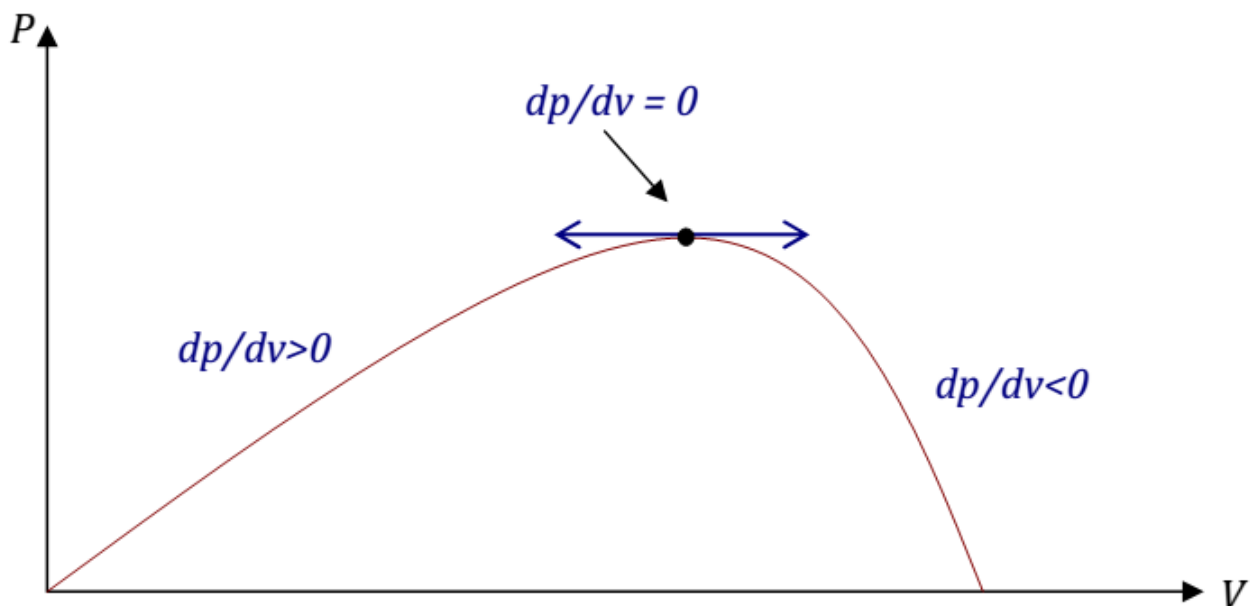


Figure (III.7) Caractéristique de la puissance du générateur PV

L'algorithme de poursuite du point de puissance maximale (MPP) le plus utilisé, et comme son nom l'indique il est basé sur la perturbation du système par l'augmentation ou la diminution de la tension de référence, ou en agissant directement sur le rapport cyclique du convertisseur (DC-DC), puis l'observation de l'effet sur la puissance de sortie en vue d'une éventuelle correction de ce rapport cyclique (D).

Si la valeur de la puissance actuelle du générateur est supérieure à la valeur précédente alors on garde la même direction de perturbation précédente sinon on inverse la perturbation du cycle précédent.

L'organigramme de l'algorithme de perturbation et de l'observation (P et O) est donné par la Figure (III.8) [40].

- Si $\frac{dp}{dV} > 0$, la tension est augmentée, cela induit une augmentation du rapport cyclique
 $D(k) = D(k-1) + \Delta D$.
 D : rapport cyclique.
 ΔD : étant une constante d'accrémentition
- Si $\frac{dp}{dV} < 0$, la tension est réduite cela ce traduit par une diminution du rapport cyclique
 $D(k) = D(k-1) - \Delta D$

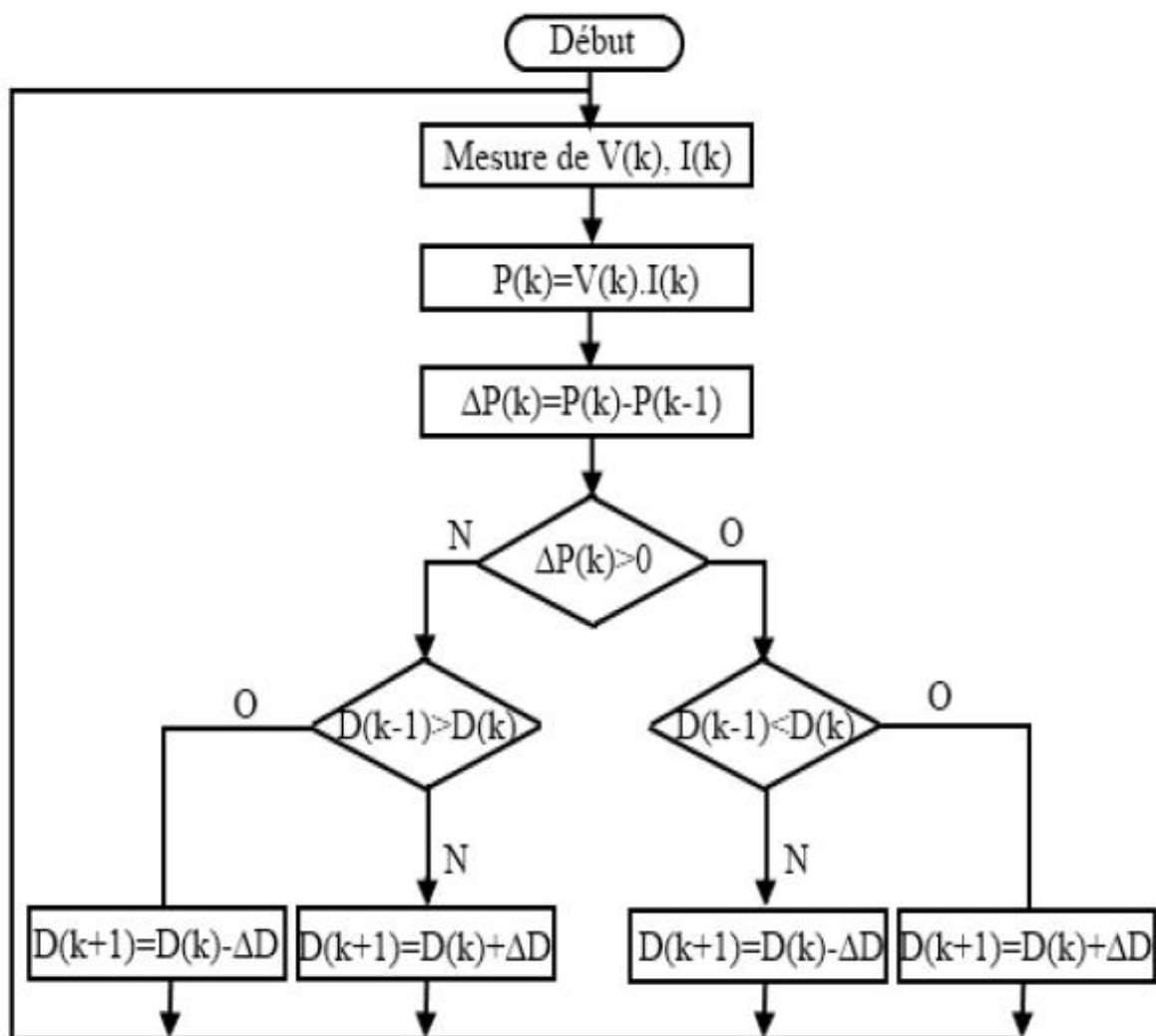


Figure (III.8) Algorithme MPPT perturbation and observation (P&O)

III.3.3.1 Avantages et inconvénients de (P&O)

- **Avantages**

Structure de régulation simple

Nombre des paramètres mesures réduit

- **Inconvénients**

Dépassement du point maximum optimal en cas de changement rapide de Conditions atmosphériques.

III.3.4 Principe des techniques “Incrément de conductance” (Inc.CoN)

Dans cette partie, pour alléger les notations, on note V, I, P les grandeurs relatives générateur photovoltaïque.

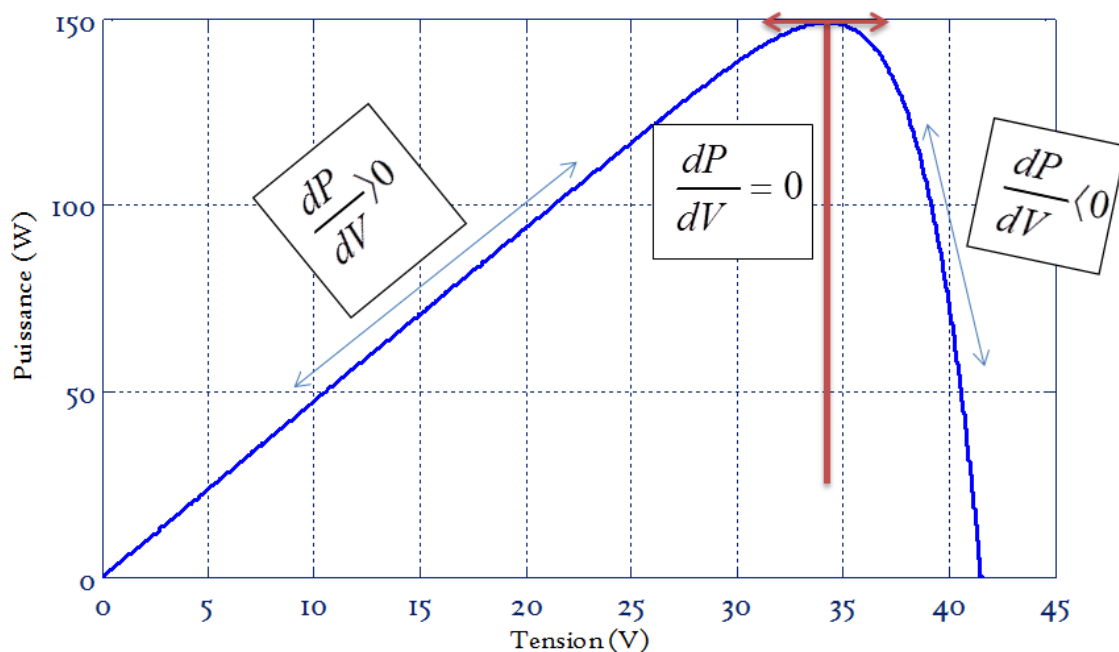


Figure (III.9): Signe de $\frac{dP}{dV}$ pour différentes zones de fonctionnement.

La puissance du panneau solaire est donnée par :

$$P = VI$$

Sa dérivée partielle $\frac{dP}{dV}$ est donnée par :

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(V.I)}{dV} = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{dI}{dV}$$

$$\frac{1}{V} \frac{dP}{dV} = I + \frac{I}{V}$$

Si le point opérationnel est au PPM :

$$I + V \frac{dI}{dV} = 0$$

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V}$$

Si le point opérationnel est au côté gauche du PPM :

$$I + V \frac{dI}{dV} > 0$$

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V}$$

Si le point opérationnel est au côté droit du PPM :

$$I + V \frac{dI}{dV} < 0$$

$$\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V}$$

On Remarque que la partie gauche des équations représente la conductance incrémental du module PV, et la partie droite des équations représente la conductance instantanée. Pour éviter que la différentielle dV de la tension du panneau ne devienne nulle, lorsque le MPP. Est atteint dans les précédents cycles ou par une stabilisation du point de fonctionnement, ce qui conduirait à une division par zéro, l'algorithme fait un test sur dV . S'il est nul il teste si le $dI = 0$ si c'est le cas alors le PPM est atteint et l'algorithme ne fait aucun changement, dans le cas contraire l'algorithme teste le signe de dI pour déterminer la position du PPM et ajuster la tension de référence correspondante. La figure III.9 donne l'organigramme de cet algorithme [41].

L'avantage de cet algorithme est qu'il n'oscille pas autour du, MPP, à cause du test de $dI = 0$. L'algorithme se stabilise une fois le PPM atteint et le signe de dI donne la vraie direction à emprunter pour la poursuite du PPM une fois le système stable, ce qui conduit à une réponse rapide du système pour des changements brusques des conditions atmosphériques. Mais à cause

de l'approximation des dérivées dV et dI et l'utilisation d'un pas d'action constant, la condition $\frac{I}{V} = -\frac{dI}{dV}$ est rarement vraie ce qui conduit à des oscillations autour du PPM.

Pour remédier à ce problème une erreur marginale ε est ajoutée aux conditions du MPP, c'est à dire que le MPP est atteint si $\left| \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} \right| \leq \varepsilon$ la valeur de ε est limitée entre le problème non fonctionnement dans le MPP, exact et le problème de l'amplitude des oscillations [42].

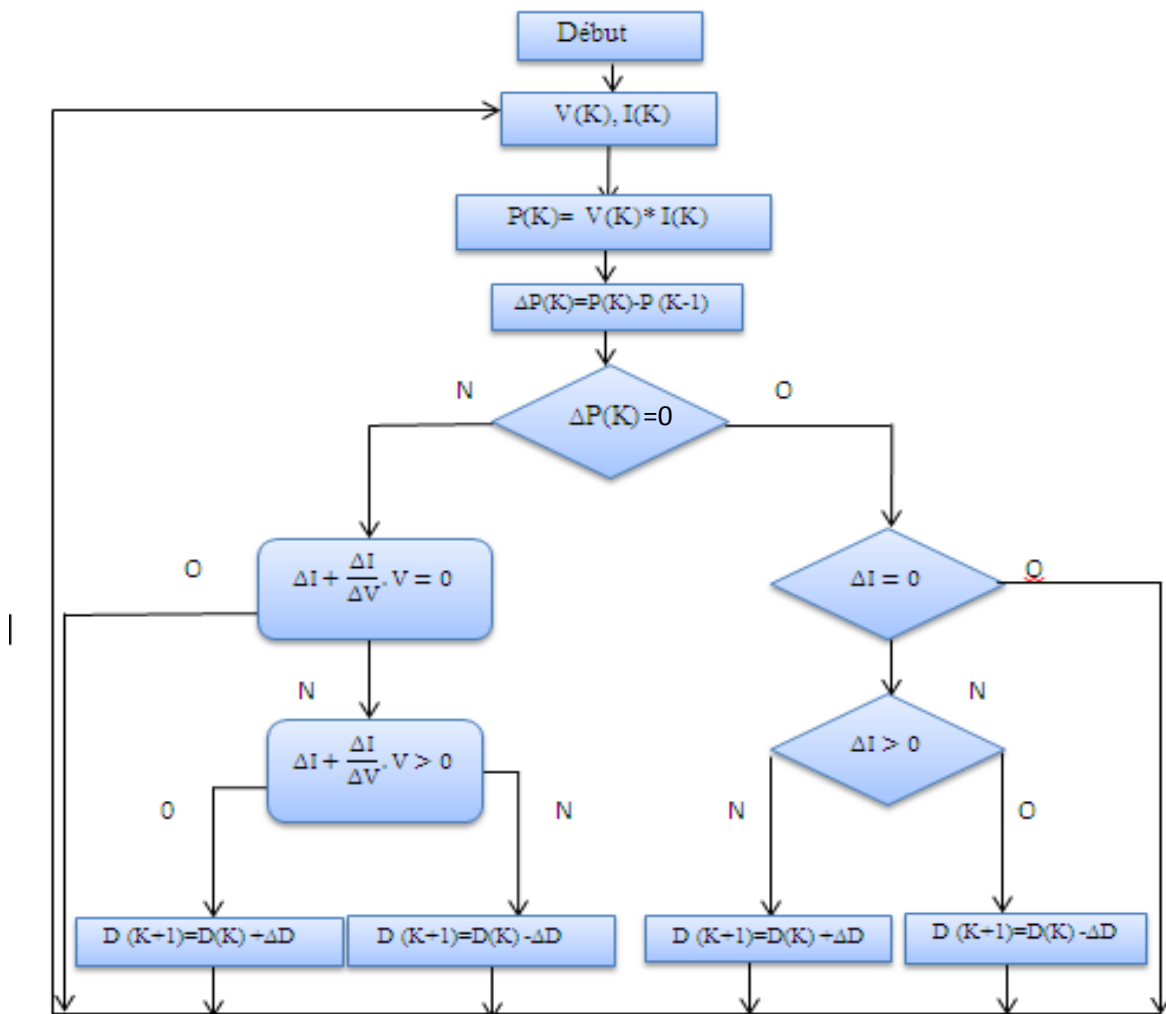


Figure (III.10) organigramme de l'algorithme Cond-Inc.

III.4 Simulation du système photovoltaïque

III.4.1 L'algorithme perturbation et observation (P&O)

La figure(III.11): présente Schéma bloc SIMULINK d'un système photovoltaïque avec la commande MPPT (P&O), composé avec un module PV avec un hacheur commandé en MPPT qui a pointées la tension et le courant de sortie du module.

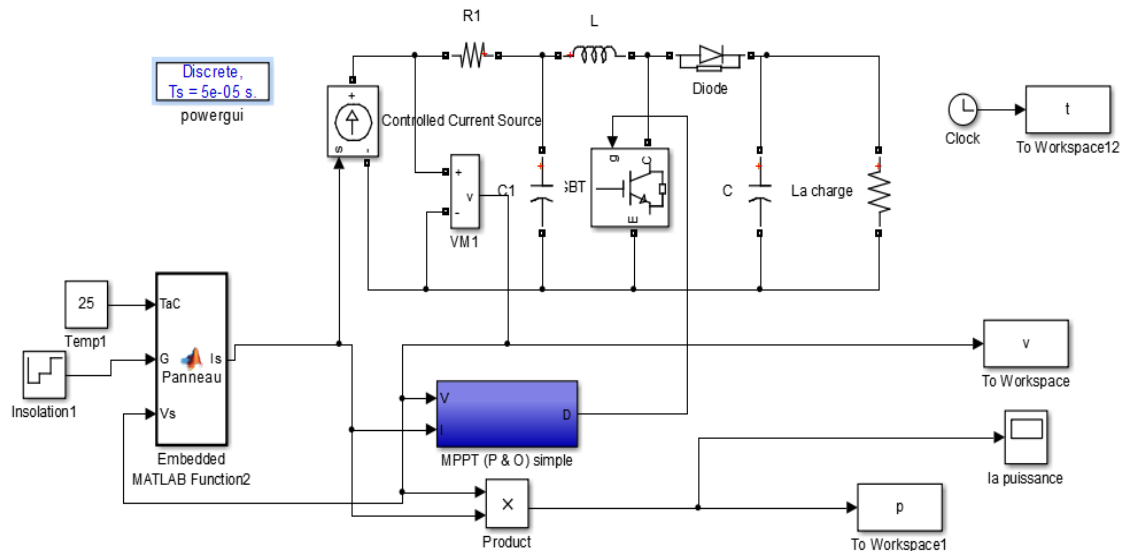


Figure (III.11): Schéma bloc SIMULINK d'un système photovoltaïque avec la commande MPPT (P&O)

Dans cette simulation on a utilisé un Module photovoltaïque BP SX 150W de BP, un hacheur Boost caractérisé par : $C_1= 3000e-6F, 2= 2e-3F, L= 0.01H, R= 0.01ohm$, on a utilisé aussi une commande MPPT de type P&O et une charge $R=500 ohm$.

On représente le modèle mathématique de l'Algorithme (P&O) sous le programme MATLAB Comme suit :

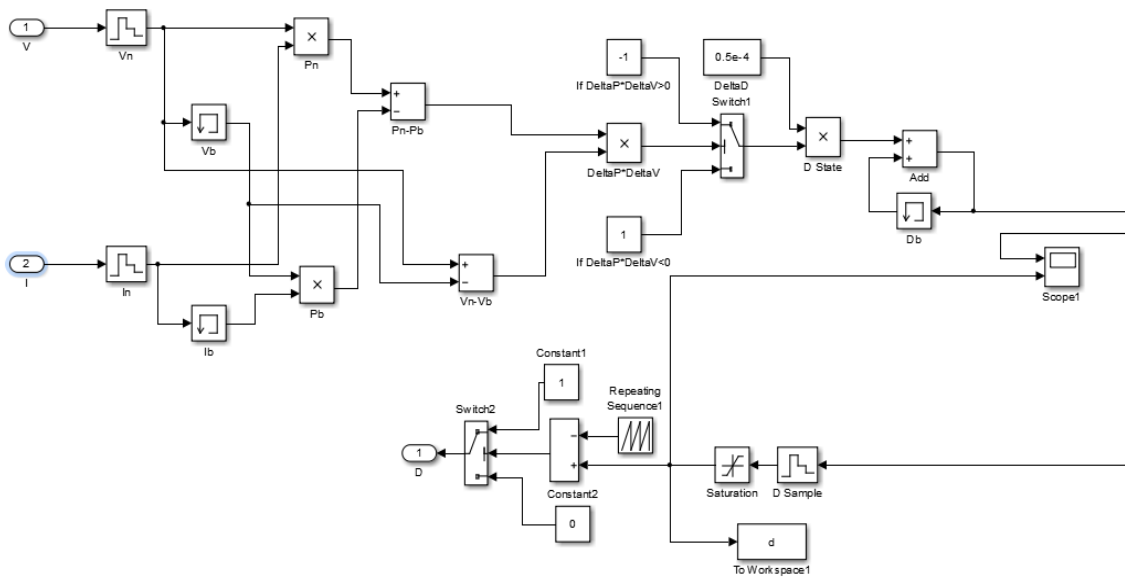


Figure (III.12) Schéma de simulation de l'algorithme de perturbation et de l'observation (P&O)

Les résultats de la simulation du système PV utilisant l'algorithme de perturbation et d'observation sont présentés à les figures ci-dessus.

Les figures(III.13)(III.14) suivantes présente allure de puissance en fonction de temps et en fonction de tension d'un système photovoltaïque (panneau 150W) commandé par un contrôleur P&O dans une température et éclairements constantes ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W}/\text{m}^2$) :

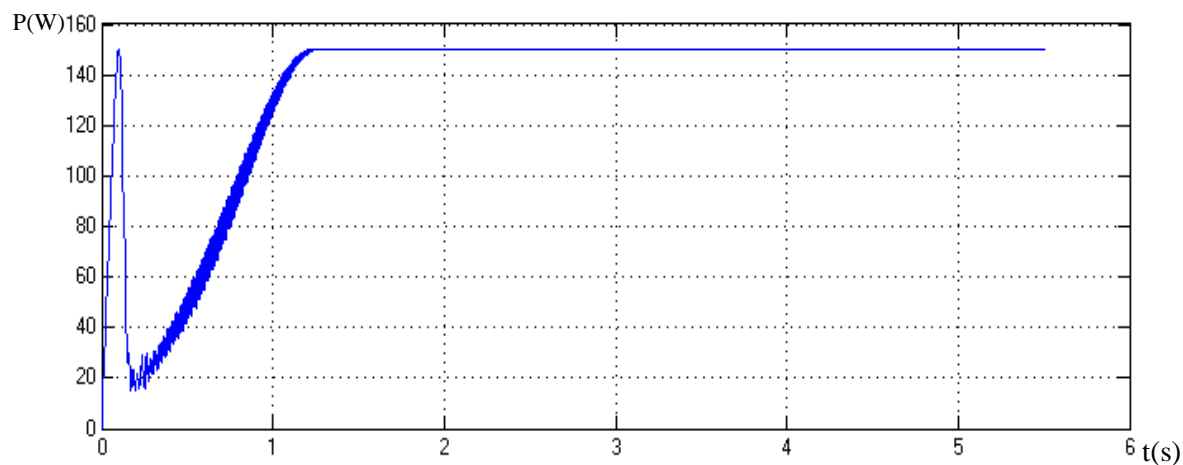


Figure (III.13): Allure de la puissance en fonction de temps pour ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W}/\text{m}^2$).

De la figure (III.13), On remarque que la puissance met un temps d'oscillation de (1.2s) pour se stabiliser à la valeur maximale de la puissance (150W).

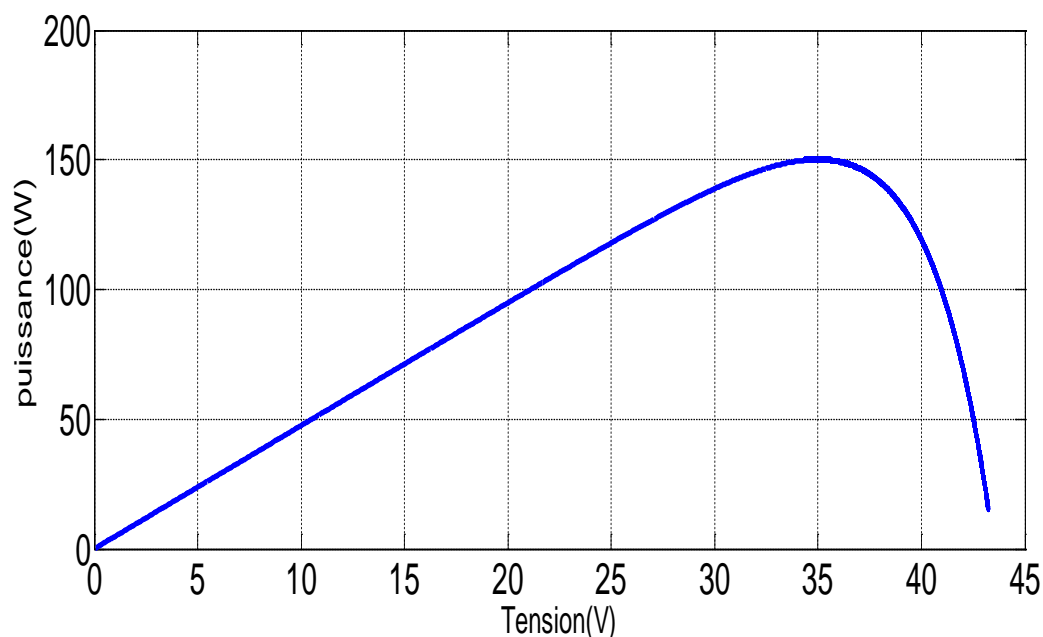


Figure (III.14): Allure de la puissance en fonction de tension pour ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W}/\text{m}^2$)

Les figures(III.15) (III.16) suivants présente allure de puissance et de tension en fonction de temps d'un système photovoltaïque (panneau 150W) commandé par un contrôleur P&O dans une température constante et éclairements variable ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=200, 500, 1000\text{W}/\text{m}^2$) :

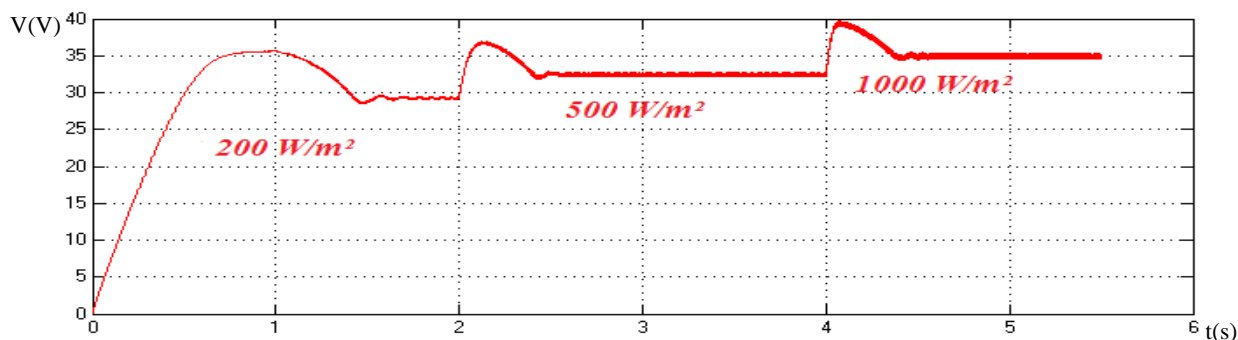


Figure (III.15): Allure de la tension générée en utilisant pas variable en fonction de temps ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=200$, 500 , 1000 W/m^2)

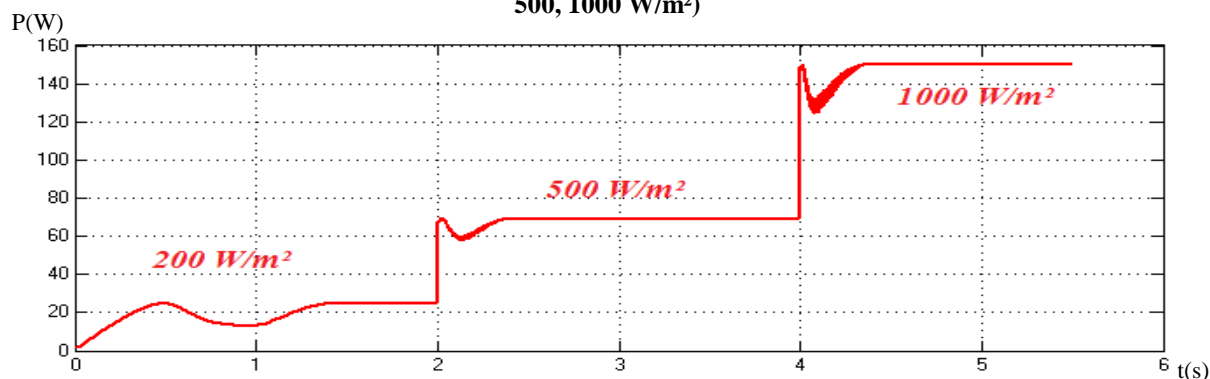


Figure (III.16): Allure de la puissance générée en utilisant pas variable en fonction de temps ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=200$, 500 , 1000 W/m^2)

Dans un premier temps, nous avons soumis le système à une variation de luminosité de 200, 500 à 1000 W/m^2 à l’instant $t=2\text{s}$ et $t=4\text{s}$. Par conséquent, nous constatons dans les Figures une augmentation de la tension qui induit une diminution de la puissance, le point de fonctionnement du système s’éloigne.

Les figures(III.17) (III.18) suivantes présente allure de puissance et le courant en fonction de la tension d’un système photovoltaïque (panneau 150W) commandé par un contrôleur P&O dans une température constante et différents éclairagements ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=200$, 500 , 1000 W/m^2):

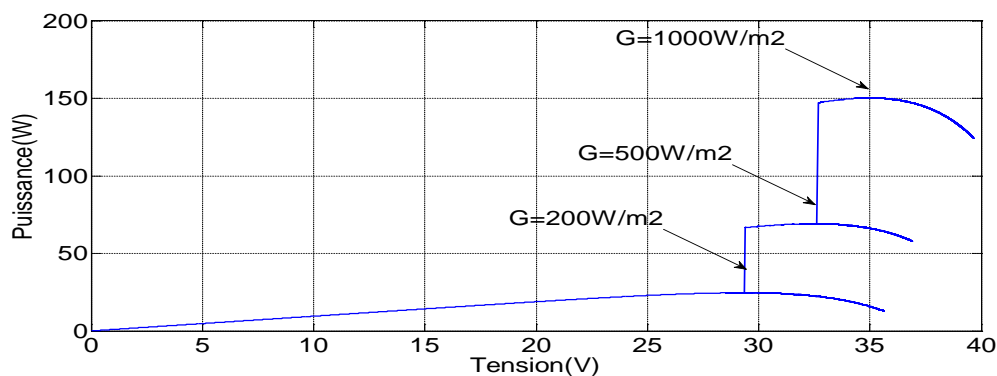


Figure (III.17): Allure de la puissance en fonction de la tension ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=200$, 500 , 1000 W/m^2)

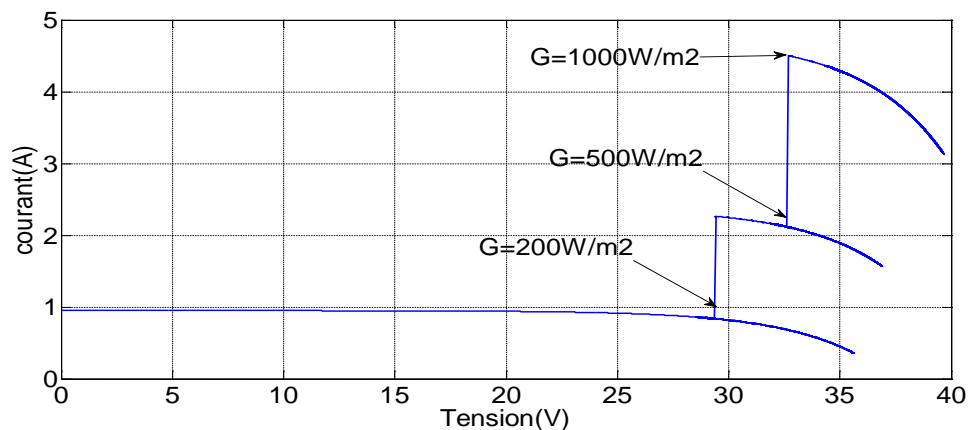


Figure (III.18): Allure de courant en fonction de la tension ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=200, 500, 1000 \text{ W/m}^2$)

D'après les figures obtenues on remarque que la puissance réagit en fonction de l'éclairement et ce fixe toujours à la puissance maximale et la même pour la courbe de courant.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un aperçu des convertisseurs statiques (convertisseur DC-DC), courant continu (boost-buck-cuk). nous avons présenté quelques méthodes MPPT basées sur contre réaction de puissance, comme l'algorithme d'incrément de l'inductance (Inc.CoN), et méthode de perturbation et observation (P&O). Nous avons présenté la simulation d'un système PV utilisant la méthode (P&O), nous avons remarqué que la puissance dépend de l'éclairement et ce fixe toujours à la puissance maximale.

L'algorithme (P&O) présente des bons résultats mais les oscillations et l'overshoot temps de réponse sont les inconvénients majeurs, pour ce la dans la suite de notre travail nous allons étudier la méthode d'extraction de puissance maximale (MPPT) en utilisant la logique floue pour comparer les deux méthodes (P&O) et la logique floue.

Chapitre IV

Simulation et analyse de MPPT par un contrôleur basé à la logique floue

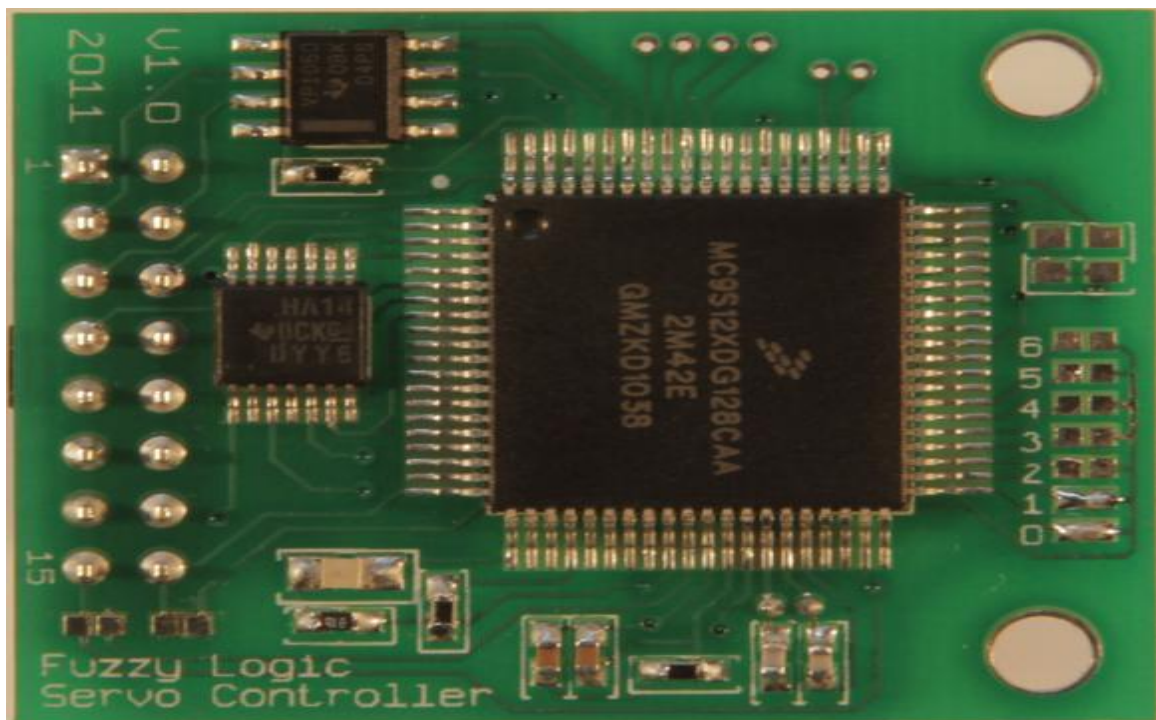
IV Simulation et analyse de MPPT par un contrôleur basé à la logique floue

IV.1 Introduction

La logique floue suscite actuellement un intérêt général de la part des chercheurs, des ingénieurs et des industriels, et plus généralement de la part de tous ceux qui éprouvent le besoin de formaliser des méthodes empiriques, de généraliser des modes de raisonnement naturel, d'automatiser la prise de décision dans leur domaine et de construire des systèmes artificiels effectuant les tâches habituellement prises en charge par les humains.

La logique floue est une technique pour le traitement de connaissances imprécises basées, sur des termes linguistiques; elle donne les moyens de convertir une commande linguistique basée sur le raisonnement humain, en une commande automatique, permettant ainsi la commande des systèmes complexes dont les informations sont exprimées d'une façon vague et mal définie.

Dans le domaine du génie électrique, la commande à logique floue a fait l'objet de plusieurs travaux : dans la commande des convertisseurs statiques et dans la commande des machines électriques [43], dans la navigation de robots mobiles. Toutes ces applications ont démontré qu'une commande à logique floue est plus robuste qu'un régulateur conventionnel [44].



Figure(IV.1) Image réelle pour contrôleur floue

IV.2 La logique floue

IV.2.1 Historique

La logique floue (fuzzy logic) a fait son apparition en 1965 avec les travaux de Lotfi Zadeh. Ce dernier a formalisé la représentation et le traitement de connaissance imprécises ou approximatives afin de traiter des systèmes de grande complexité ou mal connus [41].

En 1973, le professeur Zadeh publie un article dans l'IEEE (L'Institut of Electrical and Electronics Engineers), il y mentionne pour la première fois le terme de variables linguistiques (dont la valeur est un mot et non un nombre). En 1974, Mamdani (Université de Londres) réalise un contrôleur flou expérimental pour commander un moteur à vapeur. Dans les années 80, plusieurs applications commencent à émerger (notamment au Japon). Elle a été utilisée dans plusieurs domaines variés de contrôle et de régulation [44].

IV.2.2 Généralité sur la logique floue

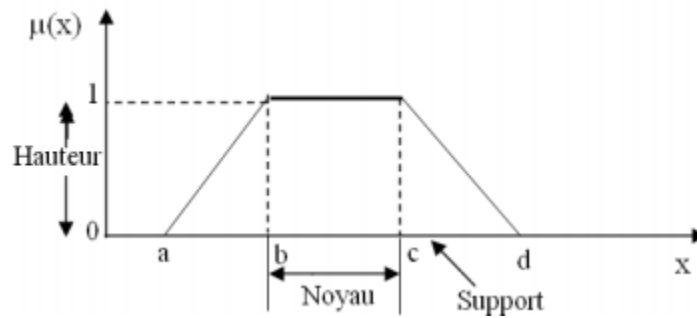
IV.2.2.1 Variables linguistiques et ensemble flous

La description imprécise d'une certaine situation, d'un phénomène ou d'une grandeur physique ne peut se faire que par des expressions relatives ou floues à savoir [45] :

- Quelque **Q**, Beaucoup **B**, Souvent **S**,
- Chaud **C**, Froid **F**, Rapide **R**, Lent **L**,
- Grand **G**, Petit **P**, etc.

Ces différentes classes d'expressions floues dites ensembles flous forment ce qu'on appelle des variables linguistiques. Afin de pouvoir traiter numériquement ces variables linguistiques (normalisées généralement sur un intervalle bien déterminé appelé univers de discours), il faut les soumettre à une définition mathématique à base de fonctions d'appartenance qui montre le degré de vérification de ces variables linguistiques relativement aux différents sous-ensembles flous de la même classe.

Dans le cas d'un ensemble de référence E , un sous ensemble flou de ce référentiel E est caractérisé par une fonction d'appartenance μ , et de E dans l'intervalle des nombres réels [40] qui indique avec quel degré un élément appartient à cette classe. Un sous ensemble flou est caractérisé par un noyau, un support et une hauteur. Dans la figure (IV.2) nous indiquons un exemple de sous ensemble normalisé ainsi que son noyau, son support et sa hauteur



Figure(IV.2) format d'un ensemble flou normalisé.

➤ **Noyau**

C'est l'ensemble des éléments qui sont vraiment dans E :

$$\text{Noy}(E)=\{x / \mu_E(x)= 1\} \quad (\text{IV.1})$$

➤ **Support**

C'est l'ensemble des éléments qui sont dans E à des degrés divers.

➤ **Hauteur**

C'est la borne supérieure de la fonction d'appartenance :

$$ht(E)=\text{Sup}(x \in E)\mu_E(x) \quad (\text{IV.2})$$

➤ **Ensemble normalisé**

Un ensemble est dit normaliser s'il est de hauteur 1.

On attribue à chaque valeur de la variable linguistique une fonction d'appartenance μ dont la valeur varie entre 0 et 1, en tenant compte de la classification en un certain nombre d'ensemble flou. La fonction d'appartenance est désignée par, $\mu_E(x)$. L'argument x se rapporte à la variable linguistique, tandis que l'indice E indique l'ensemble concerné. Une valeur précise pour la fonction d'appartenance, liée à une valeur déterminée de la variable x , est désignée par : "**facteur d'appartenance**".

IV.2.2.2 Les fonctions d'appartenance

On peut utiliser pour les fonctions d'appartenance des formes différentes figure (IV.3), le plus souvent, des formes triangulaires ou trapézoïdales, il s'agit des formes les plus simples. Composées par morceaux de droites [45]. La forme rectangulaire est utilisée pour représenter la logique classique. Dans la plupart des cas, en particulier pour le réglage par logique floue, ces deux formes sont suffisantes pour déterminer des ensembles flous.

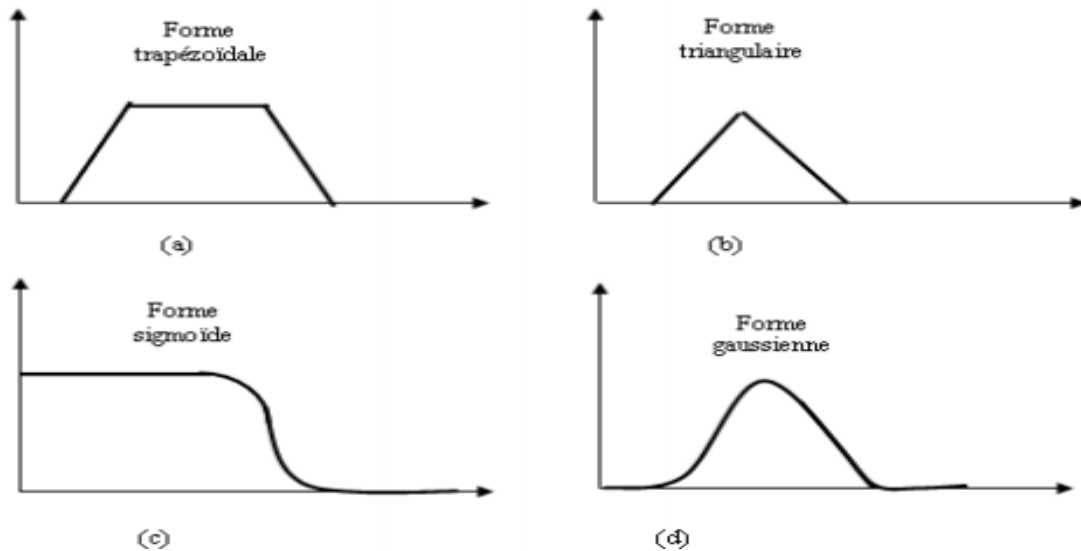


Figure IV.3 Formes usuelles des fonctions d'appartenance

La figure(IV.4) représente les courbes d'appartenance prennent différentes formes en fonction de la nature de la grandeur à modélise

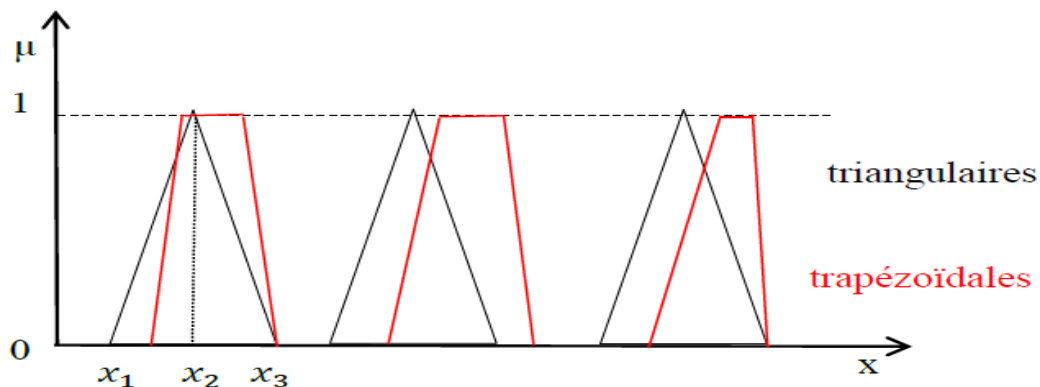


Figure (IV.4) différentes formes de fonctions d'appartenance

IV.2.2.3 Inférence à plusieurs règles floues

En général, la prise de la décision dans une situation floue définissant une loi de commande est le résultat d'une ou plusieurs règles floues appelées aussi inférences, liées entre elles par des opérateurs flous ET, OU, ALORS, ...ect [46]. Les règles peuvent alors être exprimées sous la forme générale :

Opération = Si conditions 1 ALORS opération 1, OU

Si conditions 2 ALORS opération 2, OU

Si conditions m ALORS opération m.

A chaque variable sont attribuées des fonctions d'appartenance, tenant compte des ensembles flous formés par ces variables.

IV.2.2.4 Les opérateurs de la logique floue

Comme dans la théorie des ensembles classiques [42], on définit l'intersection, l'union des ensembles flous ainsi que le complémentaire d'un ensemble flou. Ces relations sont traduites par les opérateurs « non », « et » et « ou ». Les figures (IV.5), (IV.6), (IV.7) représentent la réalisation des opérateurs et, ou et non des ensembles flous a et b utilisant des fonctions d'appartenance triangulaires et sont comparés aux opérateurs booléens correspondants. Soit, $\mu_a(x)$, $\mu_b(x)$ les degrés d'appartenance de l'élément x dans l'univers de discours X (dénommé par $x \in X$).

➤ Opérateur "NON"

Selon la théorie des ensembles, l'ensemble complémentaire :

$$c(a) = a = \text{NON}(a) \quad (\text{IV.3})$$

Est défini par les éléments de x qui n'appartiennent pas à l'ensemble a . Dans le cas de la logique floue, cette définition peut être exprimée par les fonctions d'appartenances de la manière suivante :

$$\mu_c(x) = 1 - \mu_a(x) \quad (\text{IV.4})$$

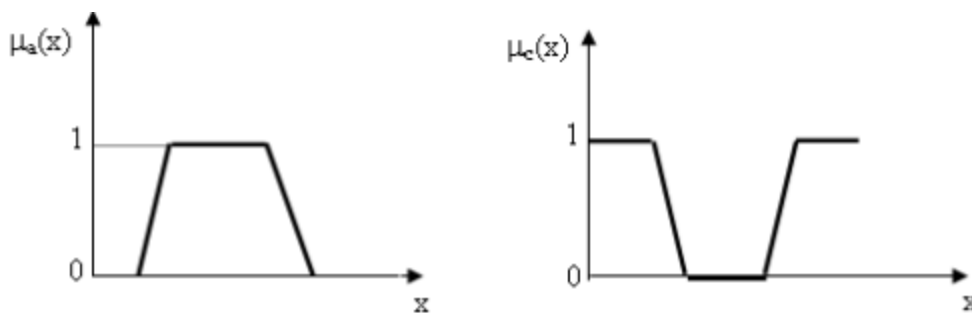


Figure (IV.5) Opération "NON".

➤ Opérateur "ET"

L'opérateur "ET" correspond à l'intersection de deux ensembles a et b on écrit :

$$c = a \cap b = a \text{ ET } b \quad (\text{IV.5})$$

Dans la logique floue, l'opérateur "ET" est réalisé dans la plupart des cas par la formulation du minimum, appliqué aux fonctions d'appartenance $\mu_a(x)$ et $\mu_b(x)$ des deux ensembles a et b, à savoir :

$$\mu_c(x) = \min [\mu_a(x), \mu_b(x)] \quad (IV.6)$$

On parle alors de l'opérateur minimum. Cette opération est représentée à la figure (IV.6)

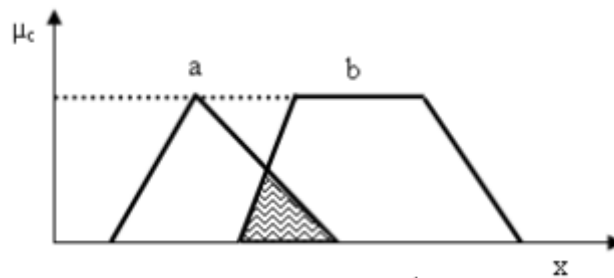


Figure (IV.6) L'opérateur "ET", réalisé par la formulation de minimum

➤ Opérateur "OU"

L'opérateur "OU" correspond à l'union de deux ensembles a et b. on a donc :

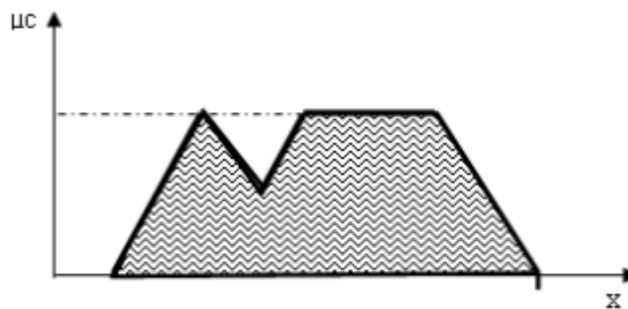
$$c = a \cup b = a \text{ OU } b \quad (IV.7)$$

La réalisation de l'opérateur ou au niveau de la logique floue se fait en général par la formulation du maximum, appliquée aux fonctions d'appartenance $\mu_a(x)$ et $\mu_b(x)$ des deux ensembles a et b.

On a donc l'opérateur maximum :

$$\mu_c(x) = \max [\mu_a(x), \mu_b(x)] \quad (IV.8)$$

Cette opération est représentée à la figure(IV.7)



Figure(IV.7) Opérateur "OU", réalisé par la formulation du maximum.

IV.3 Principe et fonctionnement d'un contrôleur floue

IV.3.1 Définition

Contrairement aux techniques de réglage classique, le réglage par la logique floue n'utilise pas des formules ou des relations mathématiques bien déterminées ou précises. Cette approche est basée sur deux concepts essentiels : celui de la décomposition d'une plage de variation d'une variable sous forme de nuances linguistiques :

"faible", "moyen", "élevé" ... et des règles provenant de l'expertise de l'opérateur humain, qui expriment, sous forme linguistique, comment doivent évoluer les commandes du système en fonction des variables observées :

"**Si** l'erreur est positivement grande **et** la variation de l'erreur est positivement grande **alors** la variation de la sortie est très négative". Ces concepts sont basés sur une partie de la théorie des sous-ensembles flous introduite par Zadeh.

Un régulateur flou peut être présenté de différentes façons, mais en général la présentation adoptée se scinde en trois parties [8] :

- une interface de Fuzzification
- un mécanisme d'inférence (règles)
- une interface de Défuzzification

IV.3.2 Principe d'un contrôleur flou

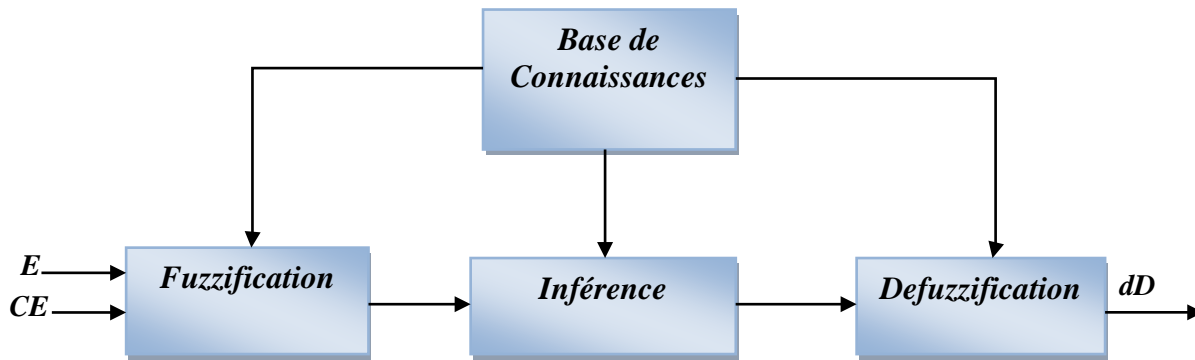
la fuzzification qui permet de passer de variables réelles à des variables floues, le cœur du régulateur représenté par les règles reliant les entrées et sorties, et enfin l'inférence et la défuzzification qui permettent à partir des ensembles flous d'entrée de déterminer la valeur réelle de sortie, figure (VI.8).

La figure(VI.8), montre la configuration du contrôleur flou qui se compose des: Entrées Sortie d'échelle, fuzzification, décision floue, et la déffuzification. Les facteurs d'échelle : SE, SCE et SdD font changer les valeurs des entrées et de sorties du contrôleur proportionnellement.

La sortie dD est déduite par les deux variables E et CE, ou cette dernière est dérivée du signal actuel par la division avec le facteur d'échelle correspondant [44].

SE, SCE : Gains d'entrées

SdD : Gain de sortie.



Figure(IV.8) Schéma bloc de l'algorithme à base de la logique floue

IV.3.2.1 Fuzzification

La fuzzification permet de rendre flou les variables d'entrée. Une étape préliminaire consiste à définir un intervalle de variation maximale autorisée pour les variables d'entrées. Le but de la fuzzification est de transformer les variables d'entrée en variables linguistiques ou variables floues.

Dans notre cas, on a deux variables d'entrées qui sont l'erreur $E(k)$ et la variation d'erreur CE à l'instant k qui sont définis comme suit :

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

$$E(k) = \frac{P_{PV}(k) - P_{PV}(k-1)}{V_{PV}(k) - V_{PV}(k-1)} \quad (IV.2)$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (IV.3)$$

Où $P_{PV}(k)$ et $V_{PV}(k)$ sont respectivement : la puissance et la tension du générateur photovoltaïque.

Ainsi ses variables seront qualifiées Négatif Grand (NG), Négatif Petit (NP), Erreur nul ou bien zéro (EZ), Positif Petit (PP) et Positif Grand (PG)[45].

IV.3.2.2 L'inférence

L'inférence est une étape qui consiste à définir un rapport logique entre les entrées et la sortie. En effet, des règles d'appartenance vont être définies pour la sortie comme ça était fait pour les entrées, grâce à ces règles un tableau d'inférence peut être dressé.

Il est évident qu'une bonne connaissance du système est requise pour le développement d'un tel régulateur.

En effet, en règle générale, une valeur d'entrée est définie par deux fonctions floues avec des degrés différents, ainsi la sortie sera elle aussi définie par plusieurs fonctions, la question étant de savoir avec quels degrés d'appartenance.

On prend comme exemple de règles de contrôle de la tableau (IV.1) :

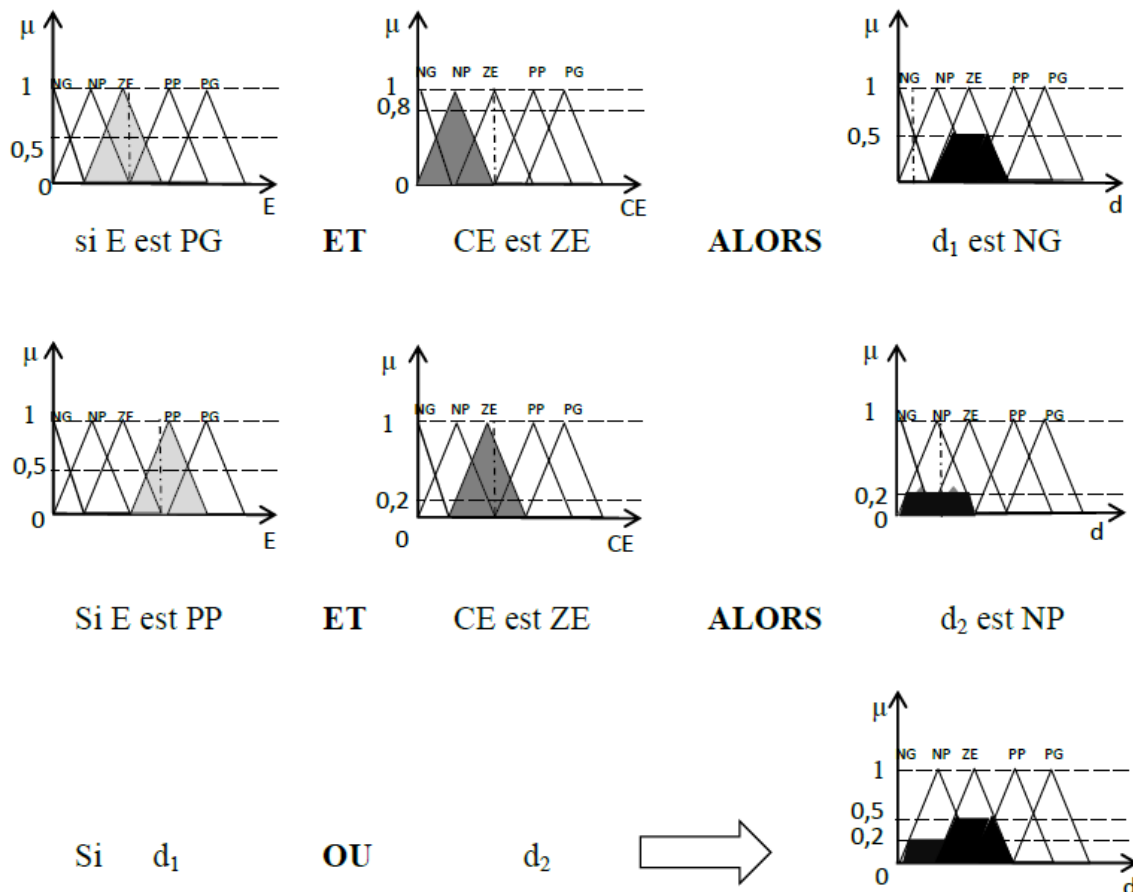
"**Si** E est PG **et** CE est ZE **Alors** dD est NG". Ce qui veut dire que :

"**Si** le point de fonctionnement est loin du point de puissance maximale (MPP) vers le coté gauche, **et** le changement de la pente de la courbe ($P_{PV} = V_{PV}$) est environ Zéro; **Alors** diminuer le rapport cyclique (dD) largement".

Plusieurs méthodes peuvent répondre à cette question de notre part nous avons utilisé la méthode MAX-MIN.

E/CE	NG	NP	ZE	PP	PG
NG	NG	NG	NG	NP	ZE
NP	NG	NP	NP	ZE	PP
ZE	NG	ZE	ZE	ZE	NG
PP	NP	ZE	NP	PP	PG
PG	ZE	PP	NG	PG	PG

Figure(VI.1) Tableau des règles



Figure(IV.9) Méthode d'inférence MAX-MIN

IV.3.2.3 Déffuzzification

Pour une représentation de données échantillonnées, le centre de gravité est calculé par :

$$dD_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(D_j) \cdot D_j}{\sum_{j=1}^n \mu(D_j)} \quad (IV.4)$$

Les valeurs de sorties sont déffuzzifiées et multipliées par le facteur d'échelle pour construire le signal de contrôle, actuel (figureIV.8). Son rôle est de régler le contrôleur flou pour obtenir la poursuite du PPM.

Enfin, il nous faut réaliser l'opération inverse de la fuzzification, ici nous devons calculer une valeur numérique compréhensible par l'environnement extérieur à partir d'une définition floue est c'est le but de la déffuzzification.

Il existe plusieurs modèles de régulateur flous comme :

- Régulateur flou de type MAMDANI
- Régulateur flou de type SUGENO
- Modèle flou de LARCEN
- Modèle flou de TSUKAMOT

Dans notre cas nous avons utilisé un régulateur de type MAMDANI qui utilise les fonctions d'appartenance triangulaire [45].

IV.4 Analyse et simulation de méthode d'extraction de puissance maximale par le contrôleur basé a la logique flou

La figure(III.10): présente Schéma MATLAB SIMULINK d'un système photovoltaïque avec la commande MPPT (FLOU), composé avec un module PV avec un hacheur commandé en MPPT qui a pointées la tension et le courant de sortie du module.

Dans cette simulation on a utilisé un Module photovoltaïque BP SX 150W de BP, un hacheur Boost caractérisé par : $C1= 3000e-6F, C2= 2e-3F, L= 0.01H, R= 0.01ohm$, on a utilisé aussi une commande MPPT de type logique flou et une charge $R=500 ohm$

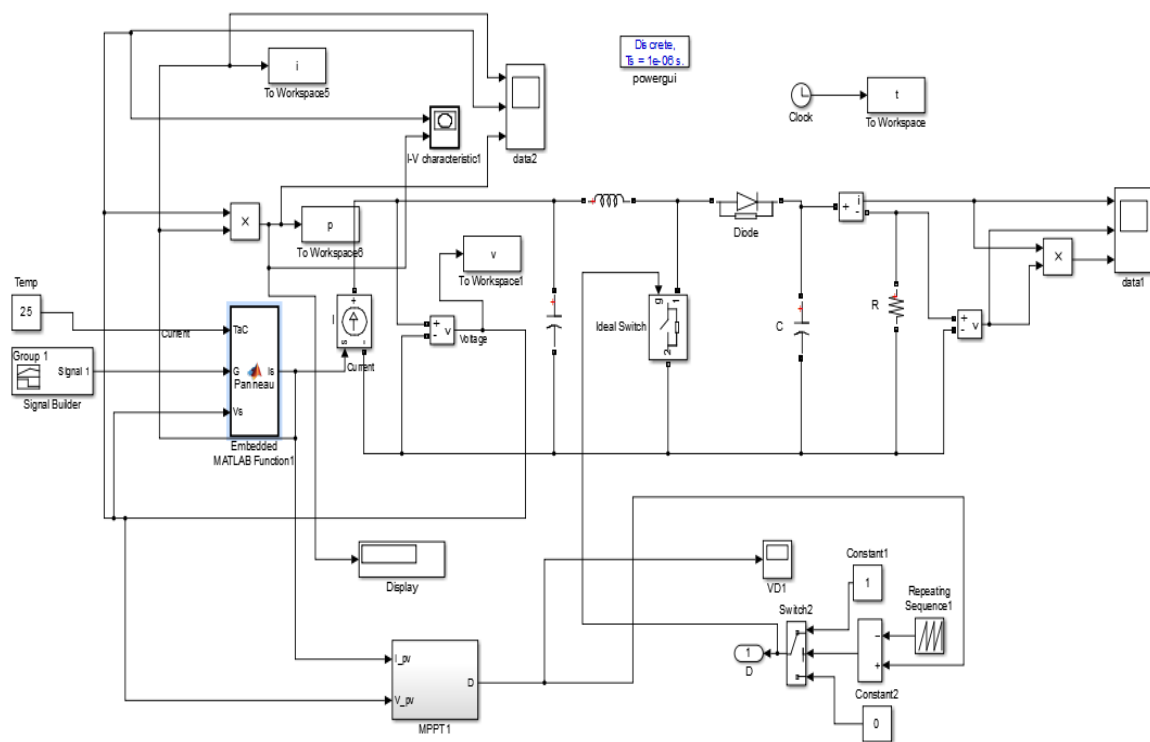


Figure (IV.10): Schéma block SIMULINK d'un système photovoltaïque avec la commande MPPT Logique flou

On représente le modèle mathématique de contrôleur flou sous le programme MATLAB Comme suit :

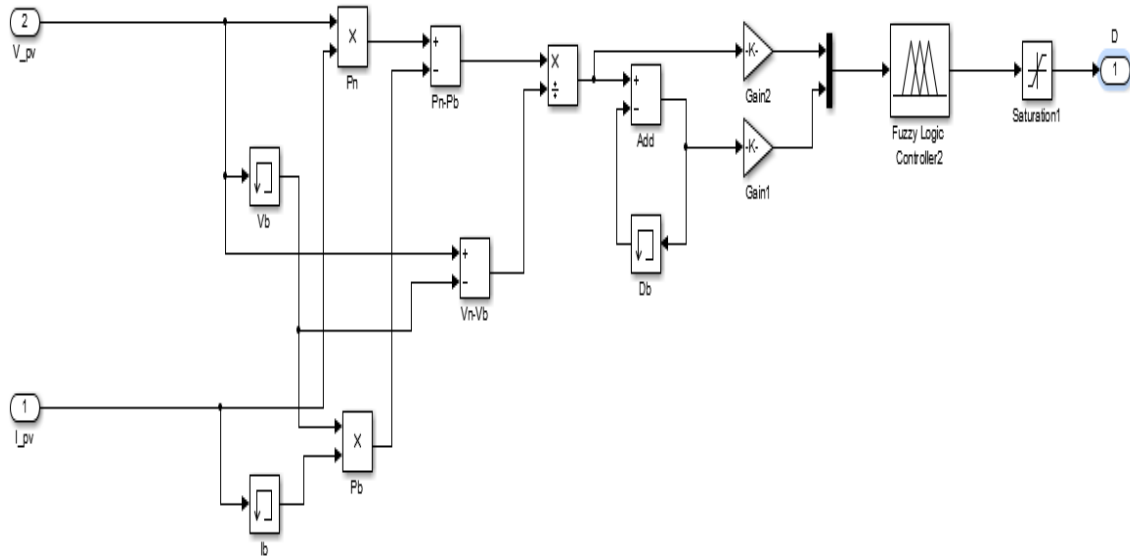


Figure (IV.11) Schéma de simulation de l'algorithme de contrôleur floue

Les figures suivantes présente allure de puissance en fonction de temps et de tension d'un système photovoltaïque (panneau 150w) commandé par un contrôleur floue dans une température et éclairements constantes ($T=25^{\circ}\text{C}, G=1000\text{W}/\text{m}^2$) :

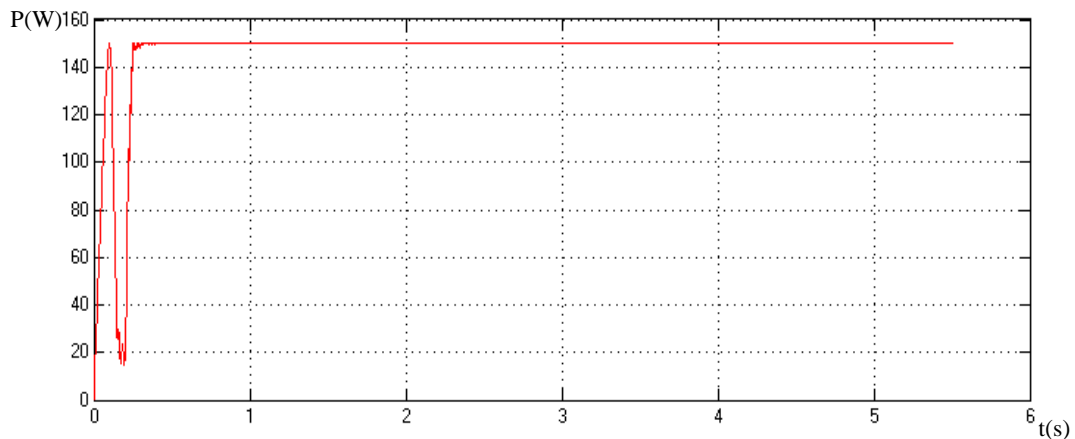


Figure (IV.12): Allure de la puissance en fonction de temps pour ($T=25^{\circ}\text{C}, G=1000\text{W}/\text{m}^2$)

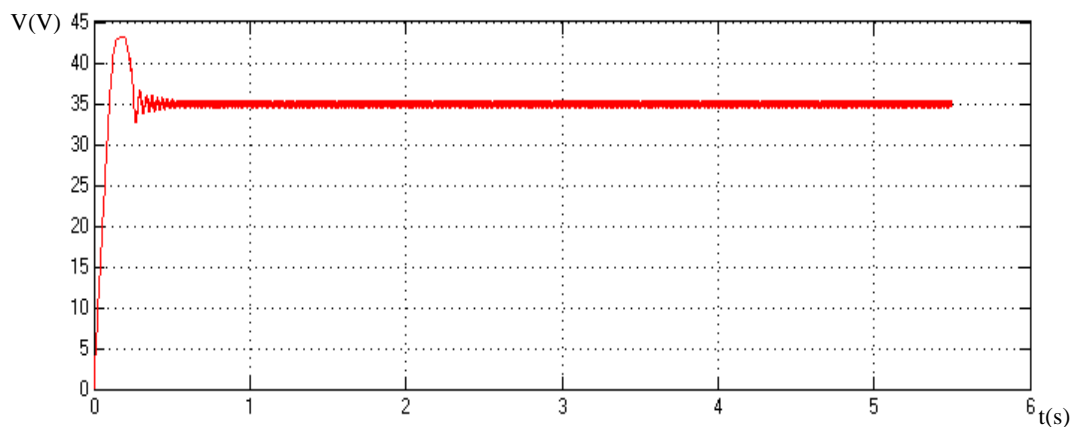


Figure (IV.13): Allure de la tension en fonction de temps pour ($T=25^{\circ}\text{C}, G=1000\text{W}/\text{m}^2$)

De la figure (IV.12) (IV.13), On remarque que la puissance et la tension met un temps d'oscillation de (0.25s) pour se stabiliser à la valeur maximale de la puissance (150W) et de tension (35V).

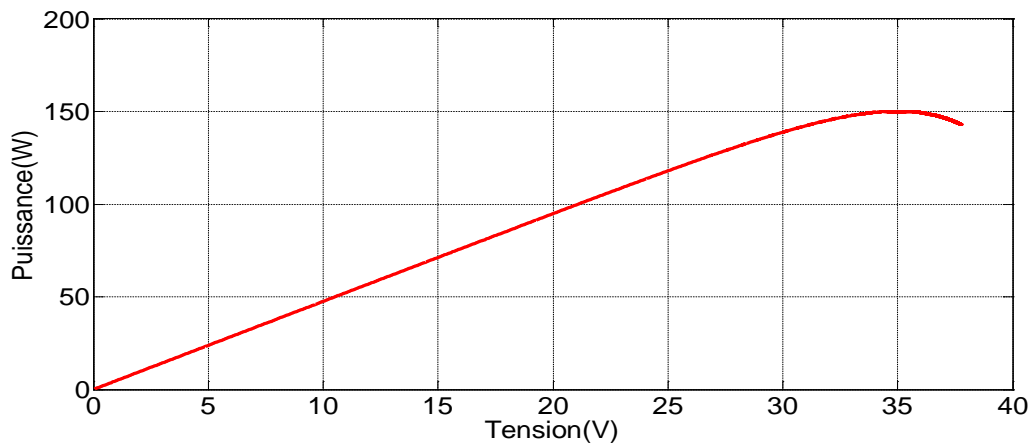


Figure (IV.14): Allure de la puissance générée par le panneau photovoltaïque Pour ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{ W/m}^2$)
D'après les figure obtenus on remarque pour un rayonnement fixe la puissance et la tension oscillent au tour de point maximale (PPM), Cela prouve de l'efficacité de la commande (MPPT FLOU).

Les figures suivante présente allure de puissance et le courant en fonction de la tension d'un système photovoltaïque (panneau 150w) commandé par un contrôleur basé a la logique Floue dans une température constante et différentes éclairements ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=200, 500, 1000\text{ W/m}^2$) :

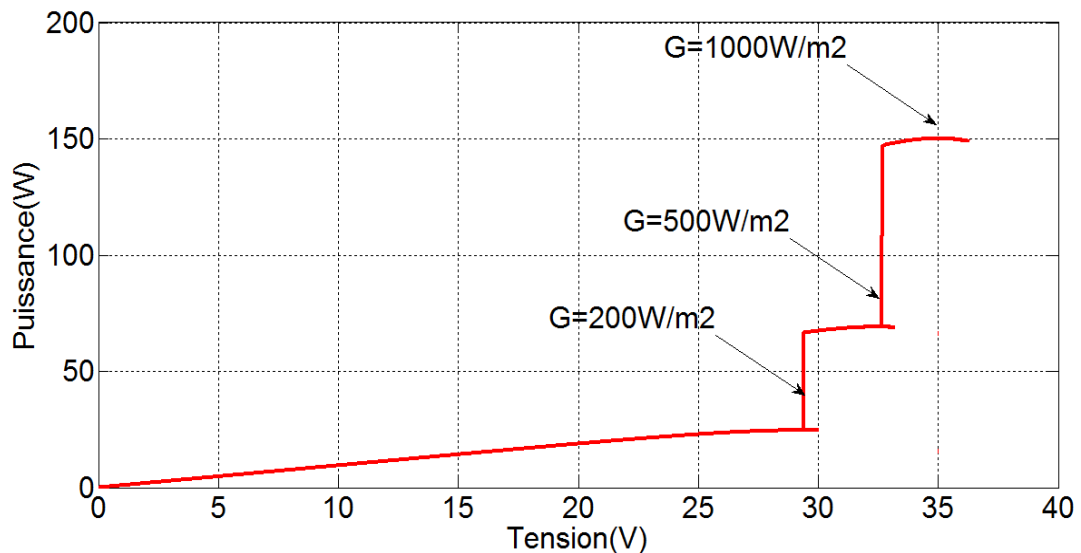


Figure (IV.15) Allure de la puissance en fonction de la tension ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=200, 500, 1000\text{ W/m}^2$)

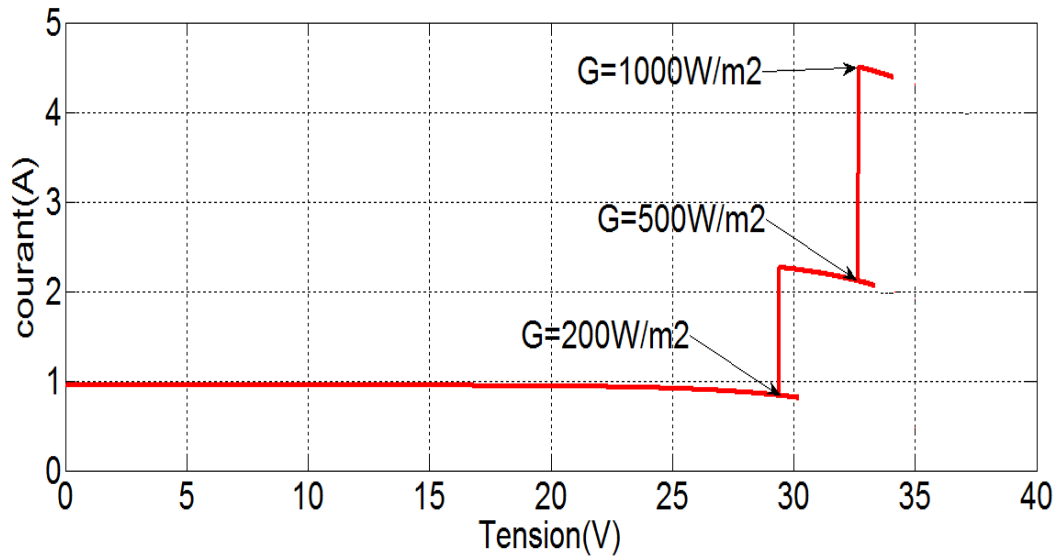


Figure (IV.16) Allure de courant en fonction de la tension ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=200, 600, 1000 \text{ W/m}^2$)

D'après les figures obtenues on remarque que la puissance réagit en fonction de l'éclairement et ce fixe toujours à la puissance maximale et la même pour la courbe de courant.

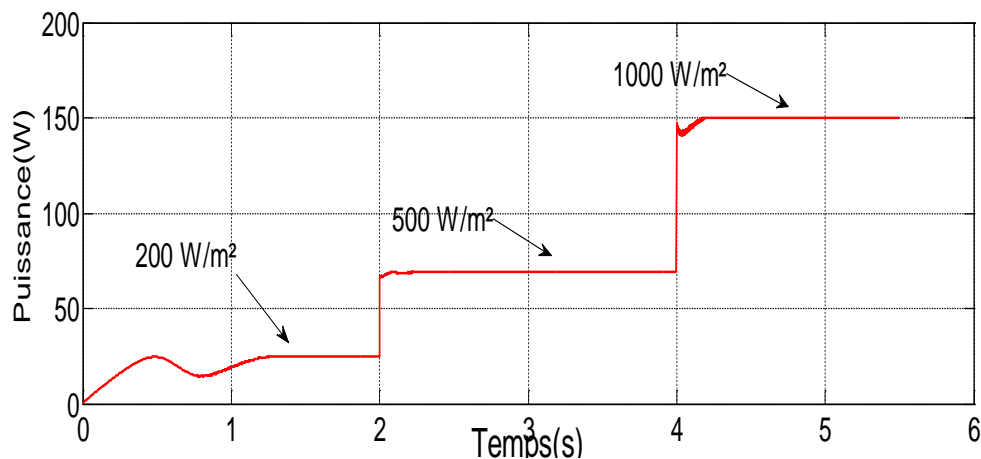


Figure (IV.17) Allure de puissance en fonction de temps ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=200, 500, 1000 \text{ W/m}^2$)

IV.5 Comparaison des résultats des techniques de commande (FLOU, P&O)

Afin de valider la méthode proposée d'extraction de puissance nous avons utilisé un panneau 150w et nous appliquons un rayonnement variable comme le montré les figure (IV.18) et (IV.19).

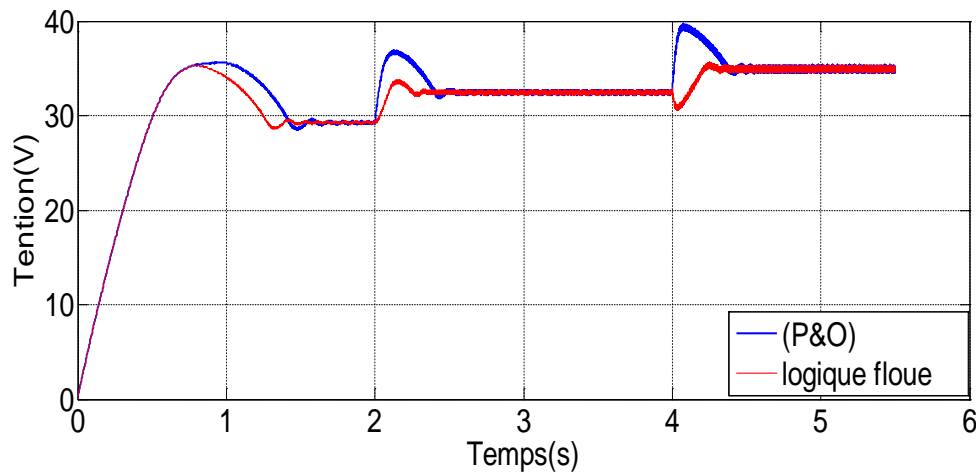


Figure (IV .18) Logique floue - P&O la tension de sortie

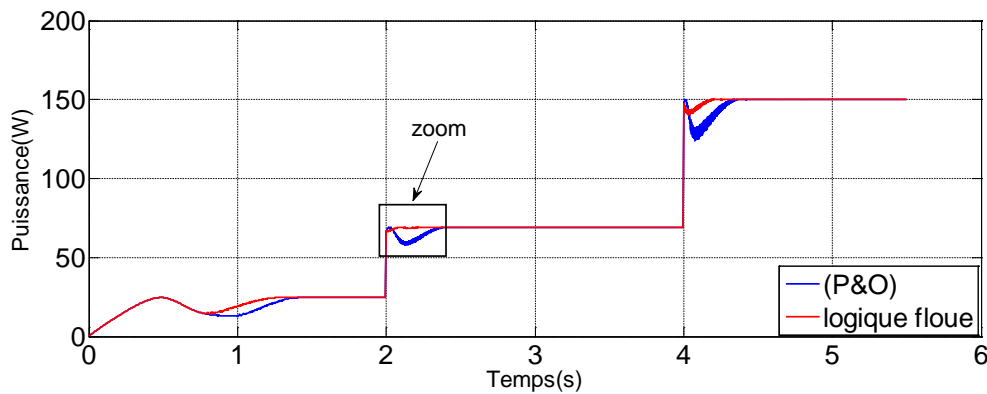


Figure (IV .19) Logique floue - P&O la puissance de sortie

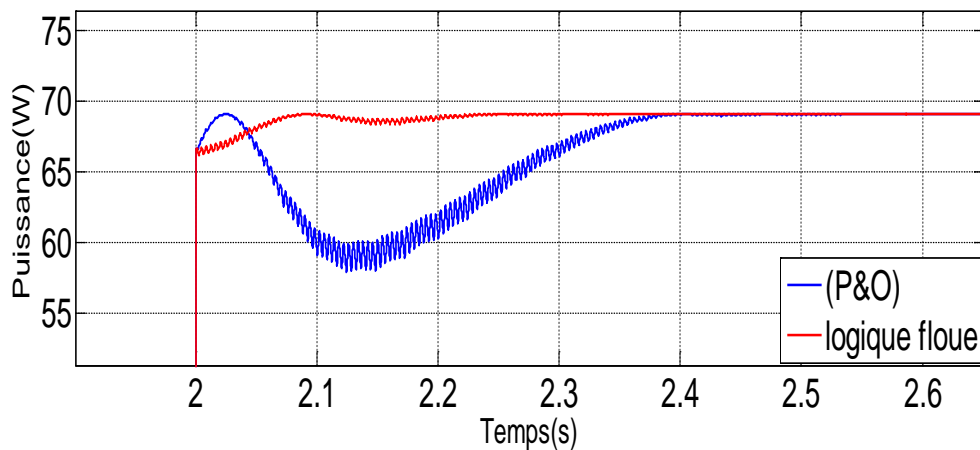


Figure (IV.20) Logique floue – P&O le temps de réponse

Ces résultats confirment le bon fonctionnement du contrôleur P&O mais montrent également un meilleur fonctionnement du contrôleur floue. Ce dernier a prouvé qu'il a de meilleures performances, temps de réponse rapide et erreur à l'état permanent très faible, et qu'il est robuste aux différentes variations des conditions atmosphériques.

IV.6 conclusion

Les résultats obtenues avec un Contrôleur flou sont meilleurs que ceux obtenus avec des algorithmes de contrôle perturbation et observation. Ainsi le contrôle par logique flou peut être vu comme un pas vers un rapprochement entre le contrôle mathématique précis et la prise de décision humaine. Aussi, ces résultats confirment le bon fonctionnement du contrôleur (P and O) mais montrent un meilleur fonctionnement du contrôleur flou . Ce dernier a prouvé qu'il a de meilleures performances, temps de réponse rapide et erreur à l'état permanent très faible, et qu'il est robuste aux différentes variations des conditions atmosphériques.

Conclusion générale

Ce travail a été consacré à une étude de commande d'un système photovoltaïque utilisant un contrôleur flou. On peut rapidement comprendre et justifier l'intérêt à l'énergie solaire photovoltaïque. D'abord, l'énergie solaire photovoltaïque est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. C'est d'ailleurs ce qui explique que son utilisation connaît une croissance significative dans le monde. Afin d'améliorer l'efficacité des systèmes photovoltaïques, différents algorithmes de commandes intelligentes ont été étudiés pour la poursuite du point maximum de puissance MPPT dans ce travail.

Nous avons commencé par la présentation de la conception et de la simulation d'un contrôleur basé sur des techniques populaires telles que la perturbation et l'observation qui offre un meilleur comportement que la P&O. La logique floue MPPT a été comparée au contrôleur de P&O et a amélioré le régime transitoire et a réduit les fluctuations à l'état statique.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté une description générale sur les systèmes des énergies renouvelables et leurs types d'une part et on a mis en valeur les avantages et les inconvénients des systèmes éoliens et photovoltaïque d'une autre part.

Dans le deuxième chapitre, nous avons exposé le principe de fonctionnement d'un système photovoltaïque, à cet effet ; nous avons commencé par un aperçu sur les systèmes photovoltaïques, le principe de fonctionnement et le modèle mathématique ensuite on a montré les résultats de simulation d'un panneau photovoltaïque (150W) dont les deux effets (température et rayonnement) ont été montrés et analysés.

Le troisième chapitre est consacré à la description de la commande MPPT, le principe de recherche du MPP, les différents algorithmes MPPT les plus répandus existants dans la littérature (Inc.CoN, P&O), avec des études d'amélioration de la performance de l'algorithme (P&O) avec une nouvelle technique proposée le principe de pas variable. Afin d'exploiter le système photovoltaïque d'une manière efficace nombreuses études méritent être considérées très importantes pour cela, l'objectif de cette étude est l'association de la commande par logique floue à la commande MPPT et d'analyser ainsi que comparer son comportement par rapport aux autres techniques (O&P) utilisées dans le contrôle des systèmes photovoltaïques, notre document est organisé en quatrième chapitre.

Dans le quatrième chapitre, nous avons présenté bien une nouvelle commande MPPT basée sur un contrôleur flou, de nombreuses simulations et analyses sont présentées, puis nous montrons les résultats de simulation d'un système PV avec le contrôleur Flou-MPPT et nous présentons une comparaison claire entre P&O et logique floue. Logique floue est bien meilleure que (P&O).

Référence

- [1] M. Lopez, “ *Contribution à l'Optimisation d'un Système de Conversion Eolien Pour une Unité de Production Isolée* ”, Thèse de Doctorat, Université de Paris-Sud, 2008.
- [2] O. Gergaud, “ *Modélisation Energétique et Optimisation Economique d'un Système de Production Eolien et Photovoltaïque Couplé au Réseau et associé à un Accumulateur*”, Thèse de Doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan, Décembre 2002.
- [3] R.Chedid and S.Rahman, “ *Unit Sizing and Control of Hybrid Wind-Solar Power Systems*”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 12, No. 1, March 1997.
- [4] M. Muralikrishnan and V. Lakshminarayana, “ *Hybrid (Solar and Wind) Energy System for Rural Electrification* ”, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 3, No. 5, October 2008.
- [5] I. Vechiu, “ *Modelisation et Analyse de l'Intégration de des Energies Renouvelables Dans un Réseau Autonome* ”, Thèse de Doctorat, Université de Havre, Année 2005.
- [6] F. Baghdadi, “ *Modélisation et Simulation des Performances d'une Installation Hybride de conversion d'Energies Renouvelables* ”, Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2011.
- [7] Aït Cheikh M., Larbes C., Tchoketch Kebir G. and Zerguerras A. “Maximum power point tracking using a fuzzy logic control scheme” *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 10 N°3 (2007) 387 – 395.
- [8] B.S. Borowy and Z. M. Salameh, “*Methodology for Optimally Sizing the Combination of a Battery Bank and PV Array in a Wind/PV Hybrid System*”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 11, No. 2, June 1996
- [9] H.Yang, W.Zhou, L.Lu and Z.Fang, “ *Optimal Sizing Method for Stand Alone Hybrid Solar-Wind System with LPSP technology by using Genetic Algorithm* ”, *Solar Energy* 82, pp. 354-367, 2008.
- [10] F. Brihmat, “*L'étude Conceptuelle d'un Système de Conditionnement de puissance pour une Centrale de hybride PV/Eolien* ”, Mémoire de Magistère, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2012.
- [11] M. Adel, “ *Les vrais défis de l'Algérie* ”, Portail Algérien des Energies Renouvelables, Septembre 2012.
- [12] C. Darras, “ *Modélisation de Systèmes Hybrides Photovoltaïque / Hydrogène : Applications site isolé, micro-réseau, et connexion au réseau électrique dans le cadre du projet PEPITE*”, Thèse de Doctorat, Université de Corse-Pascal Paoli, May 2011.
- [13] F. Kendouli, K. Nabti, K. Abed and H. Benalla, “ *Modélisation, Simulation et Contrôle d'une Turbine Eolienne à Vitesse Variable basée sur la Génératrice Asynchrone à double alimentation* ”, *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 14 N°1, pp. 109-120, 2011.
- [14] A. Mirecki, “ *Etude comparative de Chaînes de Conversion d'Energie dédiées à une Eolienne de petite puissance*”, Thèse de Doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, Avril 2005.
- [15] S.Haffen, “ *Caractéristiques Géothermiques du Réservoir Gréseux du Buntsandstein d'Alsace*”, Thèse de Doctorat, Université de Strasbourg, Septembre 2012.

- [16] K. Töpfer. “Decarbonisation of energy supply—central challenge for mankind. Clean Power from Deserts”, *The DESERTEC Concept for Energy, Water and Climate Security, WhiteBook*, 2009.
- [17] T. Zhou, “ *Commande et Supervision Energétique d’un Générateur Hybride Actif Eolien incluant du Stockage sous forme d’Hydrogène et des Super-Condensateurs pour l’Intégration dans le Système Electrique d’un Micro Réseau* ”, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lille, 2009.
- [18] M. Elhassan, M. Fauzi, K. Sopian and A. A. Abass, “ *Design and Performance of Photovoltaic power System as a Renewable Energy Source for Residential in Khartoum* ”, International Journal of the Physical Sciences Vol. 7(25), pp. 4036-4042, June 2012.
- [19] A. Das and V. Balakrishnan, “ *Optimized Hybrid Renewable Energy System of Isolated Islands in Smart-Grid scenario-A Case Study in Indian Context* ”, World Academy of Science, Engineering and Technology 67, 2012.
- [20] E. A. Al-Ammar, N. H. Malik and M. Usman, “ *Application of Using Hybrid Renewable Energy in Saudi Arabia* ”, ETASR - Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 1, pp. 84-89, 2011.
- [21] H. Boukli “ *Conception et Réalisation d’un Générateur Photovoltaïque Muni D’un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Energétique* ” Mémoire de Magister Université Abou-Baker Blkaid-Tlemcen 2010/2011.
- [22] M.Amaud Deves “ *énergie photovoltaïque (Application au traitement de l’eau potable et des eaux usées en rurales)*” document technique Rédition 2003 FNDAE n 12.
- [23] O.BENSEDDIK et F.DJALOU “ *Etude et optimisation du fonctionnement d’un système photovoltaïque* ” Mémoire de Master Université Kasdi Merbah-Ouargla 27/06/2012.
- [24] S.Lhlah “ *Etude comparative des techniques MPPT Perturbation and Observation (P&O), Incrémental Conductance (Inc.CoN) et Hill climbing (H.C)*” Mémoire Magister université El hadj Lakhdar Batna 2007.
- [25] CH.Maher “ *Gestion Energétique des Panneaux photovoltaïque*” Mémoire Master Université Sfax 2007-2008.
- [26] K.Sobaihi “ *étude et réalisation d’un hacheur de Tracking du point de puissance Maximale (MPPT) a contre réaction* ” Mémoire de Magister Ecole Nationale polytechnique 10, Avenue Hassen Badi El –Harrach Alger.
- [27] BOUKAROURA Abdelkader” *Modélisation et Diagnostic d’un Onduleur Triphasé Par l’Approche Bond Graph* ” Mémoire de Magister UNIVERSITE FERHAT ABBAS DE SETIF 02/12/2009.
- [28] F.Slama “ *Modélisation d’un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique* ” Mémoire de Magister UNIVERSITE FERHAT ABBAS - SETIF-01/04/2011.
- [29] A.Meflah ” *Modélisation et commande d’une chaine de pompage photovoltaïque* Mémoire de Magister UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEM 2011.
- [30] C.Cabal ” *Optimisation énergétique de l’étage d’adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque* ” Mémoire de doctorat Université Toulouse III-Paul Sabatier le 15 décembre 2008.
- [31] R.KETATA” *Méthodologies de régulation numérique incluant la logique floue* ”-Thèse de Docteur L.A.A.S Toulouse – 1992.

- [32] M. BAUER " Application de contrôleurs à logique floue pour la commande vectorielle des machines à induction: commande en vitesse et en position " Rapport de stage ingénieur- ESIM-22 Février 1995.
- [33] A.IBALIDEN " Implantation d'un régulateur de type flou sur des commandes d'onduleurs pilotant des machines alternatives : application à la détermination des correcteurs "- Rapport d'activités 1994-1995.
- [34] B. BEAUFRERE " Application de la logique floue à la planification de trajectoires de robots mobiles dans des environnements inconnus "- Thèse de Docteur de l'université de Poitiers, Décembre 1994.
- [35] P. Y. GLORONNEC " Algorithme d'apprentissage pour systèmes d'inférences floues " - INSA de Rennes (IRISIA)- 1999.
- [36] B. DEMAYA" Commande floue des systèmes à dynamiques complexes- Application à la commande d'un moteur thermique "- Thèse de Docteur LAAS Toulouse - 17 Octobre 1994.
- [37] M. Nerziou, " Modélisation et Commande des Processus Multivariables à base Logique Floue: Application à la Régulation de Vitesse d'un Moteur Asynchrone ", Mémoire de Magister, Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique d'Oran, E.N.S.E.TOran, Septembre 2006.
- [38] H.Buhler " Réglage par logique floue" presses polytechniques et universitaires romandes.1994.
- [39] Y.Miloud " Etude de l'estimation de la résistance rotorique dans la commande vectorielle d'un moteur asynchrone en utilisant la logique floue " Thèse de doctorat es-sciences, Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf d'Oran USTO 2006.
- [40] A.Hazzab " Commande des systèmes par logique floue, Réseau de neurones et Algorithmes génériques " Thèse de doctorat, Université des sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf d'Oran, USTO 2006.
- [41] G.J. Klir and B. Yuan, " Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications ",Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, United States of America, 1995.
- [42] M. Zerikat and S. Chekroun " Robust tracking speed control for induction motor drive based fuzzy logic ", Revue Communication Science et Technologie de l'E.N.S.E.T d'Oran, C.O.ST, Numéro 06, pp 99-106, Juillet 2007.
- [43] A. Mechernene , M. Zerikat, M. Hachelef," Fuzzy speed regulation for induction motor associated with field oriented control ", International Journal on Sciences and Automatic Control & Computer engineering IJ-STA, Vol. 2, N°1, November 2008.
- [44] H. BUHLER" Réglage par logique floue " -Presse polytechniques et universitaires Romandes – 1994
- [45] Spooner, J. T. and Passino, K. M. : « Stable adaptive control using fuzzy systems and neural networks », IEEE Trans. Fuzzy Syst., Vol. 4, No. 3, pp. 339-359, 1996.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE
SPECIALITE : RESEAUX ELECTRIQUES

Année Universitaire : 2017 / 2018

Proposé par : **Dr. MESSALTI Sabir**

Présenté par : **ALILI Amel**

Thème :

COMMANDE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE UTILISANT UN CONTROLEUR FLOUE

ملخص :

الطلب على الطاقة الكهربائية يزيد باستمرار في السنوات الأخيرة وكذلك القيود المتعلقة بإنتاجها، مثل تأثير التلوث و الاحتباس الحراري العالمي، دفع الباحثين نحو تطوير مصادر الطاقة المتجددة في هذا السياق، تقدم الأنظمة الضوئية حل تنافسي للغاية.

في هذا العمل قمنا بمحاكاة نظام ضوئي وفق التحكم بواسطة المنطق الضبابي من أجل استغلال أقصى قدر من الاستطاعة المنتجة من المولد الضوئي، ومقارنة النتائج المحصل عليها مع آلية أخرى (الاضطراب و الملاحظة). لتصميم هذا النظام يلزمنا مولد ضوئي مرتبط مع الحمل بواسطة محول (مستمر - مستمر). و قد أبرزت نتائج المحاكاة مع وبدون تحكم مساهمة المنطق الضبابي في تحسين مردود النظام الضوئي مما يدل على أهميته الكبيرة في النظام.

الكلمات المفتاحية: النظام الضوئي - المنطق الضبابي - الاضطراب و الملاحظة - محول (مستمر - مستمر)

Résumé :

La demande de l'énergie électrique ne cesse d'augmenter ces dernières années ainsi que les contraintes liées à sa production, tels que l'effet de pollution et de réchauffement climatique global, conduisent les recherches vers le développement des sources d'énergie renouvelables. Dans ce contexte, les systèmes photovoltaïques (PV) offrent une solution très concurrentielle.

Dans ce travail nous avons simulé un système PV régulé par la commande de la logique floue (MPPT flou) pour assurer la poursuite de la puissance maximale fournie par le GPV, et nous avons comparé les résultats obtenus avec une autre commande (MPPT P&O). Une modélisation du système a été effectuée qui comprend un GPV associé à une charge par le biais d'un convertisseur DC/DC commandé. Les résultats de simulation et comparer avec le fonctionnement du système avec et sans régulation. L'apport de la régulation par logique floue a été mis en valeur, et qui montre sa nécessité dans ces systèmes.

Mots clés : système PV - logique floue - MPPT - P&O - convertisseur DC/DC

N° d'ordre : RE-268