

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE
N° : RE-264



DOMAINE : GENIE ELECTRIQUE
FILIERE : ELECTROTECHNIQUE
OPTION : RESEAUX ELECTRIQUES

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par:RAKZA Badreddine
OUANAS Souhila

Intitulé

**MODÉLISATION ET COMMANDE DU SYSTÈME
PHOTOVOLTAÏQUE PAR LES RÉSEAUX DE
NEURONES**

Soutenu devant le jury composé de :

Mr BELHOUCAT Khaled	Université De M'sila	Président
Mr MESSALTI Sabir	Université De M'sila	Rapporteur
Mr BELKHIRI Salah	Université De M'sila	Examineur

Année universitaire : 2016 / 2017

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur « **Dr Messalti Sabir** », son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.*

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je dédie ce travail :

- *A ma chère mère et mon cher père,*
- *A mes chers frères et sœurs,*
- *A toute ma famille,*
- *A tous mes amis,*
- *A tous mes collègues de la promotion 2017.*

Je ne peux pas clore mes dédicaces, sans rendre un grand hommage au « Dr. MESSALTI Sabir » Pour m'avoir tout simplement donné une grande partie de l'énergie nécessaire pour conclure ce travail.

Introduction général	1
Chapitre I : Ressources énergétiques renouvelables	3
I.1. Introduction	3
I.2. La production de chaleur par les sources renouvelables	3
I.2.1. Thermo solaire	3
I.2.2. Biomasse	4
I.2.3. Géothermie	4
I.3. La production d'électricité par les énergies renouvelables	5
I.3.1. Hydraulique	5
I.3.2. Energie de la mer	6
I.3.3. Éolienne	6
I.3.4. Photovoltaïque	7
I.4. Transformation de l'énergie du vent en électricité	7
I.4.1. Conversion de l'énergie éolienne	7
I.4.2. Types de Turbine	8
I.4.3. Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne	9
I.4.3.1 Les avantages de l'énergie éolienne	9
I.4.3.2 Les inconvénients de l'énergie éolienne	9
I.5. Les modes d'exploitation d'un panneau photovoltaïque	9
I.5.1. Avantages et inconvénients de l'énergie Photovoltaïque	11
I.5.1.1. Avantages de l'énergie Photovoltaïque.....	11
I.5.1.2. Inconvénients de l'énergie Photovoltaïque.....	11
I.6. Conclusion	11
Chapitre II : Système photovoltaïque	13
II.1. Introduction	13
II.2. La cellule PV	13
II.2.1. L'effet de photovoltaïque	13
II.2.2. Générique d'une cellule PV	14
II.2.3. Type et rendement des cellules photovoltaïques	14
II.3 Association des modules photovoltaïques	15
II.3.1 Association en série.....	15
II.3.2 Association en parallèle.....	16
II.3.3 Association série-parallèle.....	16
II.4 Générateur photovoltaïque	16
II.4.1. Modèle d'une cellule	17
II.4.2. Modélisation d'un panneau	18
.....II .5 Caractéristiques électriques des modules photovoltaïques	
.....	20
II .5.1 Influence de l'éclairement et de température	20
II .6 Effet de l'ombrage	21
II .7 conclusion.....	23

Chapitre III : Simulation et analyse de MPPT (P&O)	25
Introduction	25
III.1 Le convertisseur continu-continu (Hacheur)	25
III.1.2 Les types des convertisseurs DC-DC	25
III.1.2 Hacheur dévolteur (Buck Converter)	26
III.1.3 Hacheur survolteur (Boost converter).....	27
III.1.4 Hacheur dévolteur-survolteur (Buck-Boost converter).....	28
III .2.Suivi la puissance maximal du générateur photovoltaïque.....	29
III .3.Principe de MPPT	29
III.3.1 Principe des techniques “Incrément de conductance” (Inc.CoN)	30
III.3.2 Principe des techniques “Perturb and Observe” (P&O) non amélioré.....	31
III.4 Simulation du système photovoltaïque avec hacheur commandé en MPPT	32
III.4.1.L'Algorithme perturbation et observation (P&O):	32
III.5 L'amélioration l'Algorithme perturbation et observation (P&O) :	34
III.6. Conclusion	36
Chapitre IV : Simulation et analyse de MPPT par les réseaux de neurones	38
IV.1 Introduction	38
IV.2 Les réseaux de neurones	38
IV.2.1 présentation	38
IV.2.2 Historique.....	38
IV.2.3 Le modèle neurophysiologique.....	39
IV.2.4 le modèle mathématique (neurone artificiel)	40
IV.2.4.1 Structure	40
IV.3 Modélisation	40
IV.3.1 Comportement	40
IV.4 Architecture des réseaux de neurones	42
IV.4.1 Les réseaux non bouclés	42
IV.4.2 Réseaux bouclés	43
IV.5 L'apprentissage des réseaux de neurones	43
IV.5.1 Apprentissage supervisé	43
IV.5.2 Apprentissage non supervisé	44
IV.6 Les principales règles d'apprentissage	44
IV.7 Analyse et simulation de méthode d'extraction de puissance maximale par les RNA	45
IV.7.1 Comment développer le réseau neuronal artificiel	46
IV.7.2 Comparaison des résultats des techniques de commande (RNA, P&O)	48
IV.8 Conclusion	49
Conclusion général	51
Référence	52

Table des Figures

- Figure (I.1) Principe du panneau solaire thermique.
- Figure (I.2) Le bois source de l'énergie Biomasse.
- Figure (I.2) Le bois source de l'énergie Biomasse.
- Figure (I.4) Principe de fonctionnement d'un barrage.
- Figure (I.5) Energie de la mer.
- Figure (I.6) Conversion de l'énergie éolienne
- Figure (I.7) Composantes principales d'une chaîne photovoltaïque.
- Figure (I.8) Coefficient aérodynamique de puissance en fonction de la vitesse de rotation normalisée λ
- Figure (I.9) Types d'éoliennes.
- Figure (I.10) Coefficients de puissance et du couple en fonction de la vitesse normalisée λ pour différents types d'éolienne
- Figure (I.11) Mode Autonome.
- Figure (I.12) Le mode connecté au réseau
- Figure (I.13) Schéma de Branchement Mode Hybride
- Figure (II.1) Schéma simplifié 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 du côté N Traversant la charge, et reviennent au côté 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) Effet de l'éclairement Figure sur la caractéristique I(V)
- Figure (II.10) Effet de l'éclairement sur la caractéristique P(V)
- Figure (II.11) Effet de la température sur la caractéristique I(V)
- Figure (II.12) Effet de la température sur la caractéristique P(V)
- Figure (II.13) Simulation de l'ombrage dans le cas d'une association de modules photovoltaïques en série
- Figure (II.14) Caractéristique $i(v)$ sous ombrage et sans ombrage (association série)
- Figure (II.15) Caractéristique $p(v)$ sous ombrage et sans ombrage
- Figure(II.16) Simulation de l'ombrage dans le cas d'une association de modules photovoltaïques en parallèle.
- Figure (II.17) Caractéristique $i(v)$ sous ombrage et sans ombrage
- Figure (II.18) Caractéristique $p(v)$ sous ombrage et sans ombrage
- Figure (III.1) Tension de commande du commutateur durant une période de commutation
- Figure (III.2) Circuit idéal du convertisseur dévolteur (Buck)
- Figure (III.3) Circuits équivalents du convertisseur Buck pendant une période de commutation(A) et (B)
- Figure (III.4) Circuit idéal d'un convertisseur survolteur (Boost)
- Figure (III.5) Circuits équivalents du convertisseur Boost pendant une période de commutation(A) et (B).
- Figure (III.6) Circuit idéal d'un convertisseur dévolteur-survolteur (Buck-Boost)

Table des Figures

- Figure (III.7) Circuits équivalents du convertisseur Buck-Boost pendant une période de commutation (A) et (B).
- Figure (III.8) Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT.
- Figure (III.9): Signe de dP/dV pour différentes zones de fonctionnement
- Figure (III.10) organigramme de l'algorithme Cond-Inc
- Figure (III.11) Algorithme MPPT perturbation and observation (P&O)
- Figure (III.12): Schéma MATLAB SIMULINK d'un système photovoltaïque avec la commande MPPT (P&O).
- Figure (III.13) Schéma de simulation de l'algorithme de perturbation et de l'observation (P et O)
- Figure (III.14): Allure de la puissance en fonction de temps pour ($T=25^{\circ}\text{C}, G=1000\text{W}/\text{m}^2$)
- Figure (III.15): Allure de la puissance générée par le panneau photovoltaïque Pour ($T=25^{\circ}\text{C}, G=1000\text{W}/\text{m}^2$)
- Figure (III.16): Allure de courant en fonction de la tension ($T=25^{\circ}\text{C}, G=1000\text{W}/\text{m}^2$)
- Figure (III.17): Allure de la puissance en fonction de la tension ($T=25^{\circ}\text{C}, G=200, 600, 1000\text{W}/\text{m}^2$)
- Figure (III.18): Allure de courant en fonction de la tension ($T=25^{\circ}\text{C}, G=200, 600, 1000\text{W}/\text{m}^2$)
- Figure (III.19): Allure de comparaison entre la puissance amélioré et la puissance normal en fonction de tem
- Figure (III.20): Allure de la puissance amélioré en fonction de temps ($T=25^{\circ}\text{C}, G=200, 600, 1000\text{W}/\text{m}^2$) ps($T=25^{\circ}\text{C}, G=1000\text{W}/\text{m}^2$)
- Figure (III.21): Allure de comparaison entre la puissance amélioré et la puissance normal en fonction de temps.
- Figure (IV.1) Représentation schématique d'un neurone biologique.
- Figure (IV.2) Mise en correspondance du neurone biologique /et du neurone artificiel
- Figure (IV.3) Représentation d'un neurone mathématique.
- Figure (IV.4) Exemples de fonctions de transfert g: (a) seuil, (b) linéaire, (c) sigmoïde (logistique $K=1$) et (d) Gaussienne.
- Figure (IV.5) Réseau non bouclé.
- Figure (IV.6) Réseau bouclé
- Figure (IV.7) Modèle d'apprentissage de la connexion W_{ij} entre deux neurones
- Figure (IV.8) RNA – P&O les oscillations.
- Figure (VI.9) Model Simulink d'un contrôleur ANN.
- Figure (IV.10) Formation ANN avec MATLAB
- Figure (IV.11) Allure de puissance en fonction de la tension($T=25^{\circ}\text{C}, G=400, 600, 800\text{W}/\text{m}^2$).
- Figure (IV.12) Allure de puissance en fonction de la temps($T=25^{\circ}\text{C}, G=400, 600, 800\text{W}/\text{m}^2$).
- Figure (IV.13) RNA - P&O la puissance de sortie.
- Figure (IV.14) RNA – P&O le temps de réponse.

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les générations suivantes. Les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ainsi que les pays en voie de développement ne cessent de se multiplier. Cette production a triplé depuis les années 60 à nos jours. La totalité de production mondiale d'énergie provient de sources fossiles [21].

Les énergies renouvelables telles que l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie biomasse et l'énergie hydroélectrique, sont des solutions prometteuses pour concurrencer les sources d'énergies de masse telle que l'énergie fossile et nucléaire, à la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée.

Le rayonnement solaire est répartie sur toute la surface de la terre, sa densité n'est pas grande et ne cause aucun conflit entre les pays contrairement au pétrole. Les systèmes photovoltaïques semblent bien s'imposer comme moyen de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Un tel système se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adaptent l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

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 afin de permettre la compréhension du fonctionnement du système éoliens et photovoltaïque. A la fin de ce chapitre, on mettra en valeur les avantages et les inconvénients des systèmes éoliens et photovoltaïques afin de faciliter la conception.

La deuxième partie est consacrée 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 la troisième partie qui est consacrée à la description de la commande MPPT, le principe de recherche du MPP, les différents algorithmes MPPT (Inc.CoN, P&O) avec d'étude d'amélioration de l'algorithme (P&O) avec une nouvelle technique propose le principe de pas variable.

Dans la quatrième partie, nous allons présenter les réseaux neurones et architecture des réseaux de neurones de neurones puis nous allons montrer les résultats de simulation d'un système PV avec le contrôleur ANN-MPPT et la comparaison entre P&O et ANN.

Chapitre I

***Ressources énergétiques
renouvelables***

I. Ressources énergétiques renouvelables

I.1 Introduction

Dans le monde, il existe différentes sources d'énergies utilisables afin de pouvoir répondre aux nombreuses demandes de la population mondiale, qui elle, augmente de jours en jours. Cette utilisation de l'énergie a permis une amélioration du niveau de vie des populations des pays développés.

Nous pouvons donc nous demander quelles sont les conséquences ainsi que les problèmes et les bienfaits dus à la consommation énergétique mondiale.

En premier lieu, nous allons présenter les différentes sources d'énergies utilisées avec leurs modes d'utilisation. En second lieu, nous démontrerons les différents types de certaines des énergies utilisées, et pour finir, leurs Avantages et inconvénients.

I.2 La production de chaleur par les sources renouvelables

Les sources d'énergies renouvelables permettent d'abord de produire de l'énergie thermique, ainsi le bois, le biogaz, le soleil et la géothermie.

I.2.1 Thermo solaire

L'énergie solaire thermique est obtenue par la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique, autrement dit en chaleur.

Elle peut être utilisée pour chauffer des bâtiments ou l'eau domestique qui y est utilisée, grâce à des chauffe-eaux figure (I.1). Dans ces cas précis, son usage est qualifié de direct, ce qui signifie qu'il peut également être indirect.

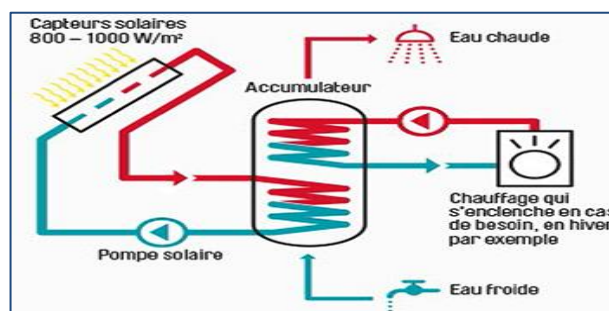


Figure (I.1) Principe du panneau solaire thermique.

En effet, l'énergie solaire thermique peut aussi être utilisée pour produire de la vapeur d'eau (ou d'un autre liquide) qui peut alors servir, par exemple, la vapeur sous pression fait tourner une turbine qui entraîne un alternateur, et donc à produire de l'énergie électrique. 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 [1].

I.2.2 Biomasse

La biomasse est l'ensemble de la matière organique végétale, animale, bois figure (I .2), ainsi que ses produits de transformation (les déchets organiques).

L'avantage de la conversion énergétique de la biomasse, par rapport aux autres sources énergétiques renouvelables, réside dans le fait qu'en plus de la production d'énergie, elle participe activement au traitement des déchets organiques contribuant ainsi à la réduction de l'impact de nos activités sur l'environnement ,réduction des émissions de CO², et sécurité énergétique avec source de biomasse forestière disponibles localement.

La Biomasse utilise les technologies de 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. Parmi les nouvelles technologies, mentionnons la gazéification et la production d'huile pyrolytique [2].



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

I.2.3 Géothermie

La géothermie est une énergie renouvelable qui consiste à prélevé la chaleur contenus dans le solLe but de la géothermie est d'assurer le confort thermique d'une habitation ou d'une construction en absorbant la chaleur inépuisable contenue dans le sol.

La géothermie consiste à récupérer de la chaleur venant du sous-sol, du sol ou de l'air extérieur à un bâtiment.

Leur principe de fonctionnement figure (I.3) se caractérise par l'exploitation de la chaleur contenue dans la croûte et les couches superficielles de la terre. Ainsi pour comprendre, il faut distinguer ses deux principes : la géothermie de surface et la géothermie profonde.

Parmi les avantages de la géothermie, Économique et rentable, énergie verte et respectant l'environnement, énergie naturelle, renouvelable, inépuisable et L'installation est durable et ne nécessite que peu d'entretien [3].

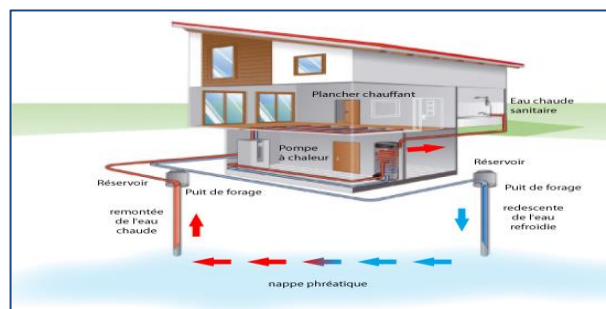


Figure (I.3) Principe de la géothermie [3].

I.3. La production d'électricité par les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont en plein développement. L'énergie solaire, l'énergie éolienne, et l'énergie hydraulique permettent de produire de l'énergie sans produire de gaz à effet de serre.

I.3.1 Hydraulique

L'énergie hydraulique concerne les centrales installées sur les continents - sur les fleuves, les rivières et les lacs, La force de l'eau en mouvement (énergie cinétique) est connue depuis longtemps : Pendant des siècles, c'est elle qui a actionné les moulins à aubes pour produire de l'énergie mécanique. L'énergie hydraulique moderne, que l'on a appelé la « houille blanche », est aujourd'hui utilisée dans des centrales pour produire de l'électricité. Une quarantaine de pays s'appuient sur elle pour produire plus du cinquième de leur électricité¹. La part de l'énergie hydraulique dans l'électricité mondiale est de 16,4 %, derrière le charbon et le gaz, mais devant le nucléaire [4].

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.4), 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 :

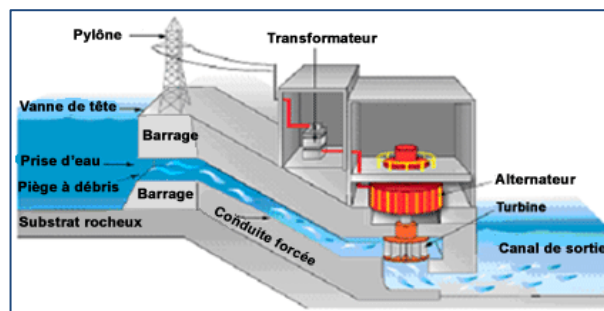


Figure (I.4) Principe de fonctionnement d'un barrage [4].

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 [4].

I.3.2 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 :

- Énergie marémotrice.
- Énergie des vagues (houlomotrice).
- Énergie des courants (courants de marée et courants océaniques).
- Énergie hydrolienne.
- Énergie Thermique des Mers (ETM).

L'énergie des vagues est encore une fois une forme particulière de l'énergie solaire. Le soleil chauffe inégalement les différentes couches atmosphériques ce qui entraîne des vents eux-mêmes responsables par frottement des mouvements qui animent la surface de la mer (courants, houle, vagues). Les vagues créées par le vent à la surface des mers et des océans transportent de l'énergie.

Lorsqu'elles arrivent sur un obstacle elles cèdent une partie de cette énergie qui peut être transformée en courant électrique. Une autre façon de la récupérer de l'énergie de la mer figure (I.5) est la production grâce à la marée qui est due à l'action de la lune sur les eaux. Les barrages ou des hydroliennes installées dans les endroits fortement touchés par ce phénomène peuvent être une source de l'énergie substantielle.

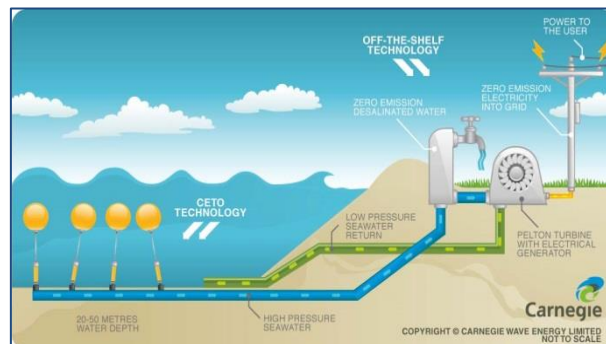


Figure (I.5) Energie de la mer [5].

L'énergie en provenance du mouvement des eaux de la mer est une énergie très difficilement récupérable bien qu'elle représente un potentiel immense. Les investissements sont très lourds dans un environnement hostile et imprévisible. Cette énergie est à exploiter dans l'avenir et ne représente qu'une toute petite quantité de l'énergie produite à ce jour par rapport aux autres ressources exploitées [5].

I.3.3 Éolienne

L'énergie éolienne est produite par la force exercée par le vent sur les pales d'une hélice. Il est possible ainsi de produire deux sortes d'énergies. Premièrement, l'hélice peut se relier à des systèmes mécaniques servant à mouliner le grain ou à pomper l'eau (il s'agit du principe des moulins à vent). Il est aussi possible de rattacher l'hélice à un générateur transformant l'énergie mécanique en une énergie électrique

Figure(I.6). La quantité d'énergie produite dépend en premier lieu de la vitesse du vent élevé au carré, puis de la surface balayée par les pales et de la Densité de l'air.

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 [6].

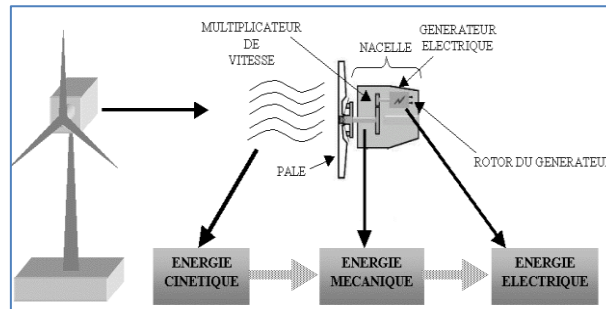


Figure (I.6) Conversion de l'énergie éolienne.

I.3.4 Photovoltaïque

L'énergie solaire est transmise à la terre à travers l'espace sous forme de photons et de rayonnement électromagnétique. Cette énergie peut être captée et transformée en chaleur ou en électricité grâce à des capteurs adaptés. Comparée aux différentes formes d'énergies classiques existantes, l'énergie solaire possède les avantages suivants :

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 figure (I.7) [7].

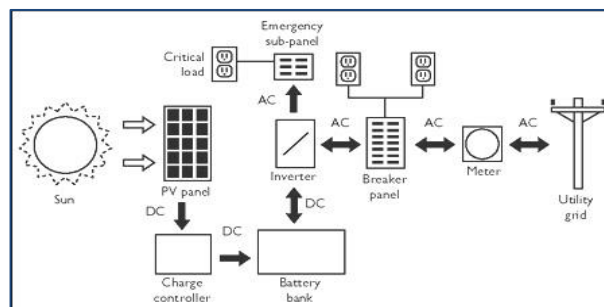


Figure (I.7) Composantes principales d'une chaîne photovoltaïque.

I.4 Transformation de l'énergie du vent en électricité

I.4.1 Conversion de l'énergie éolienne

La puissance mécanique récupérée par une turbine éolienne peut s'écrire sous la forme [8]:

$$P_t = \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot S V_w^3$$

Où :

$\rho = 1.3 \text{ [kg/m}^3 \text{]}$ la masse volumique de l'aire (sa densité).

S : est la surface frontale de la turbine éolienne en $\text{[m}^2\text{]}$.

V_w = la vitesse de vente au niveau de la turbine supposée connue.

C_p = est le coefficient aérodynamique de puissance, un paramètre sans dimension qui exprime l'efficacité du rotor éolien dans la transformation de l'énergie cinétiques du vent en énergie mécanique, ce coefficient est fonction de l'angle de calage et de la vitesse spécifique (réduite) λ qui représente le rapport de la vitesse linéaire périphérique (en bout de la pale) de la turbine ramenée à la vitesse du vent [8], définie par :

$$\lambda = \frac{R_t * \omega_m}{V_w}, \text{Où } \omega_n \text{ est la vitesse angulaire de rotation de la turbine .}$$

C_p a une valeur théorique maximale donné par la limite de betz $C_p \text{ max} = 0.593$

La figure (I.8) montre l'évolution du coefficient de puissance C_p pour des turbines réelles à axe horizontal avec 1, 2, 3 et 4 pales. On remarque que pour chaque type d'éolienne correspond une vitesse normalisée, λ_{opt} , qui maximise le rendement aérodynamique. Ainsi un fonctionnement à vitesse de rotation variable, selon la vitesse du vent, peut permettre de rester sur le maximum de la courbe. Plus la caractéristique $C_p(\lambda)$ sera en cloche, plus il sera bénéfique d'adapter la vitesse de rotation à la vitesse du vent, afin de rester dans la zone optimale [8].

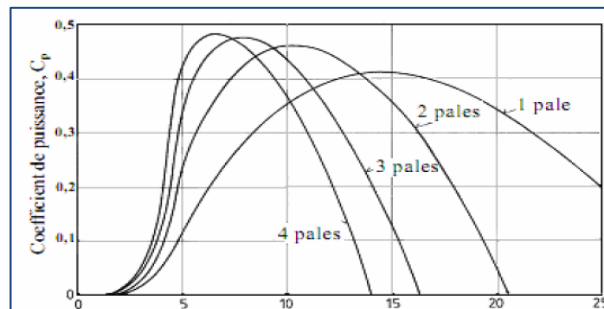


Figure (I.8) Coefficient aérodynamique de puissance en fonction de la vitesse de rotation normalisée λ

I.4.2 Types de Turbine

Il existe deux grandes catégories d'éoliennes figure (I.9), selon la disposition géométriques de l'arbre sur le quelle est montée l'hélice.

- Les Turbines éoliennes à axe verticale (a).
- Les Turbines éoliennes à axe horizontal (b).



a/ Éoliennes à axe verticale.

b/ Éoliennes à axe horizontal.

Figure (I.9) Types d'éoliennes.

Sur le plan aérodynamique, on peut comparer les différents types de éoliennes en comparant leurs coefficients aérodynamiques de puissance ou de couple en fonction de la vitesse normalisée λ figure (I.10)[8].

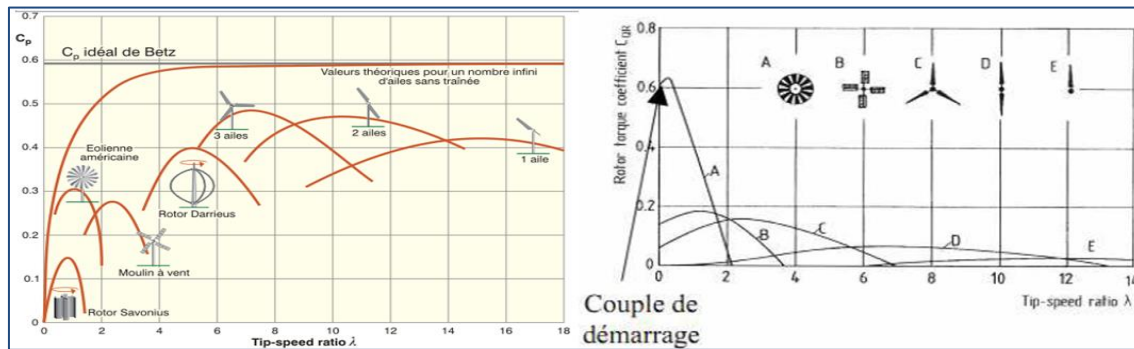


Figure (I.10) Coefficients de puissance et du couple en fonction de la vitesse normalisée λ pour différent types de éolienne.

I.4.3 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne

I.4.3.1 Les avantages de l'énergie éolienne

- L'énergie éolienne est une énergie renouvelable, c'est-à-dire que contrairement aux énergies fossiles, les générations futures pourront toujours en bénéficier.
- L'exploitation de l'énergie éolienne n'est pas un procédé continu puisque les éoliennes en fonctionnement peuvent facilement être arrêtées.
- L'énergie éolienne est une énergie propre.
- Les parcs éoliens se démontent très facilement et ne laissent pas de trace.
- C'est une source d'énergie locale qui répond aux besoins locaux en énergie [9].

I.4.3.2 Les inconvénients de l'énergie éolienne

Même s'ils ne sont pas nombreux, l'éolien a quelques désavantages :

- L'impact visuel : Ça reste néanmoins un thème subjectif.
- Les bruits mécaniques ou aérodynamiques.
- Les éoliennes peuvent nuire à la migration des oiseaux
- Le coût de l'énergie reste plus élevé par rapport aux autres sources d'énergie.
- La source d'énergie éolienne étant stochastique, la puissance électrique produite par les aérogénérateurs n'est pas constante. La qualité de la puissance produite n'est donc pas toujours très bonne [9].

I.5 Les modes d'exploitation d'un panneau photovoltaïque

On distingue trois modes d'exploitation d'un panneau PV : autonome, connecté au réseau et hybride [10].

Le mode autonome

En mode autonome figure (I.11), le générateur photovoltaïque représente la seule source d'énergie électrique pour alimenter des récepteurs.

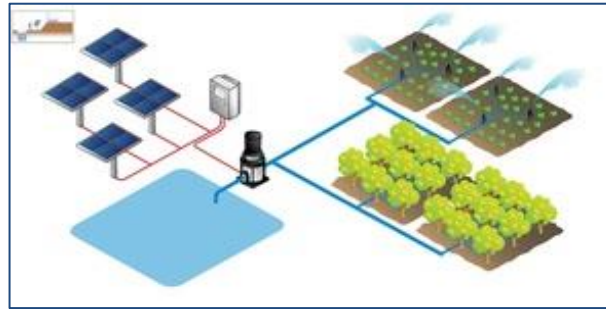


Figure (I.11) Mode Autonome.

Ce mode adopté lorsque le réseau n'est pas disponible ou lorsque fonctionnement des récepteurs dépend uniquement du fil de soleil (Pompage, éclairage, climatisation, chauffage...) [10].

- **Le mode connecté au réseau**

Dans ce mode, le panneau PV est connecté au réseau électrique figure (I.12), Le système photovoltaïque est muni de convertisseurs de puissance pour adapter l'énergie produite par les panneaux PV. Ces convertisseurs sont composés d'un hacheur muni d'un MPPT, d'un filtre d'un onduleur et d'une électronique appropriée pour assurer l'adaptation en amplitude et fréquence avec le réseau (accrochage au réseau) [10].

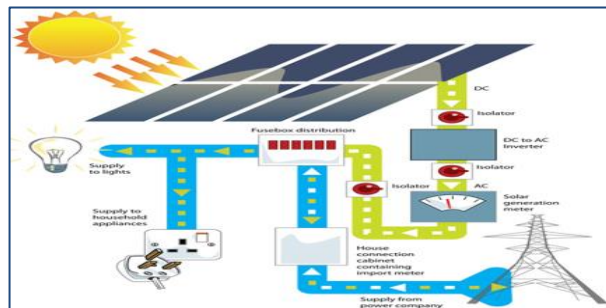


Figure (I.12) Le mode connecté aux réseaux.

- **Mode hybride**

Un système d'énergie hybride comporte plus qu'une source d'électricité tel que les panneaux photovoltaïques, les cellules à combustible, les générateurs éoliennes, les batteries de stockage, les groupes électrogènes, etc... figure (I.13)

Ce type d'installation est utilisé pour l'électrification des régions loin du réseau.

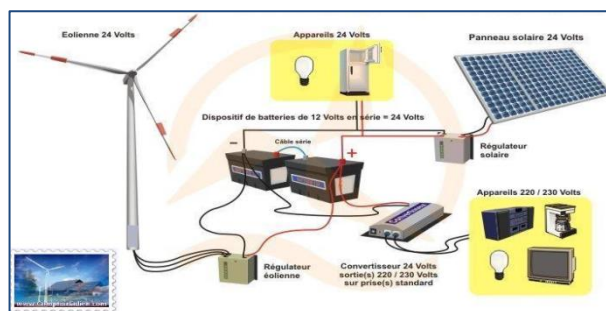


Figure (I.13) Schéma de Branchement Mode Hybride.

Il existe plusieurs configurations de ces systèmes :

PV/thermiques, PV/batterie, PV/cellules à combustible, PV/éolienne/batterie, PV/éolienne, PV/groupe électrogène. Le choix se base essentiellement selon les caractéristiques météorologiques du site d'implantation. Les systèmes hybrides connectés au réseau ont pour but de renforcer la source principale d'électricité alimentant le réseau (le fuel).

Ils sont généralement à base de sources d'énergie renouvelables tel que les panneaux photovoltaïques, les éoliennes, les piles à combustibles, les batteries de stockage, les groupes électrogènes [10].

I.5.1 Avantages et inconvénients de l'énergie Photovoltaïque

Tout système de production d'énergie photovoltaïque à ses avantages et ses inconvénients [11].

I.5.1.1 Avantages de l'énergie Photovoltaïque

D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.

Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.

Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.

La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

I.5.1.2 Inconvénients de l'énergie Photovoltaïque

La fabrication du module photovoltaïque relève de la 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 compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.

Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.

Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre Nous avons présenté une description générale sur les différentes sources d'énergies utilisées avec leurs modes d'utilisation. Tous les éléments ont été introduits afin de permettre une bonne compréhension du fonctionnement des systèmes éoliens et photovoltaïque. Afin de faciliter la conception, nous avons aussi mis en valeur les avantages, les inconvénients des systèmes éoliens et photovoltaïques. 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

Système photovoltaïque

II Système photovoltaïque

II.1 Introduction

Le générateur photovoltaïque convertit la radiation solaire incidente en puissance électrique et en général, on distingue deux types d'installations :

- non autonomes ou «gridconnected», rattachées au réseau de distribution électrique. Dans Les systèmes reliés aux réseaux, les consommateurs standards AC sont connectés au générateur via un onduleur (convertisseur DC/AC) parfois bidirectionnel (redresseur/onduleur). Le surplus d'énergie du générateur photovoltaïque est injecté au réseau public et les demandes de puissance qui existent la capacité de production du générateur sont attachées sur le réseau.
- Autonomes ou « stand-alone », qui sont le propose de cette étude, ces installations isolées ne sont pas connectées au réseau, mais elles doivent assurer la couverture de la demande de la charge en tout temps. La puissance à la sortie du générateur photovoltaïque n'est pas suffisante pour satisfaire la demande de charge, aussi l'autonomie du système est-elle assurée par un système de stockage d'énergie [12].

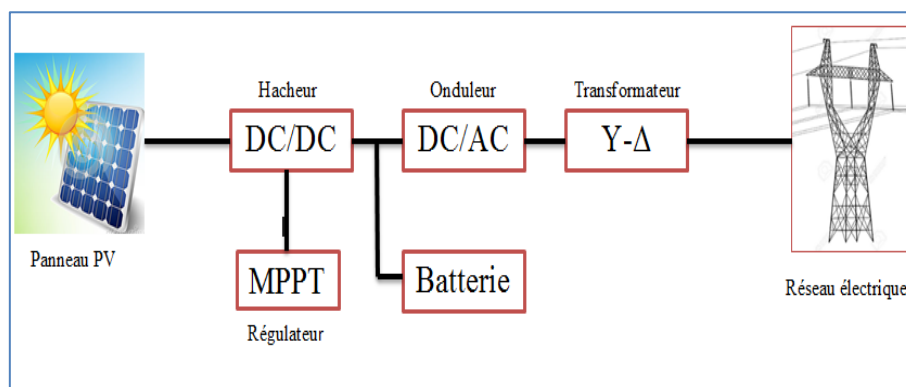


Figure (II.1) Schéma simplifié d'un système PV

II.2 La cellule PV

II.2.1 L'effet de photovoltaïque

Le terme « photovoltaïque » vient du Grec et qui signifie Lumière, il est composé de deux parties : « photos » (lumière) et du nom de famille du physicien italien (Alessandro Volta) qui inventa la pile électrique en 1800 et donna son nom à l'unité de mesure de la tension électrique, le volt. L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules généralement à base de silicium. Pour obtenir une puissance suffisante, les cellules sont reliées entre elles et constituent le module solaire.

L'effet photovoltaïque, c'est-à-dire la production d'électricité directement de la lumière, fut observée la première fois, en 1839, par le physicien français Edmond Becquerel. Toutefois, ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs des laboratoires Bell, aux Etats-Unis, parvinrent à fabriquer la première cellule photovoltaïque, l'élément primaire d'un système photovoltaïque [13].

II.2.2 Générique d'une cellule PV

Examinons ce que se produit à proximité d'une jonction P-N lorsqu'elle est exposée à la lumière du soleil. Lorsque les photons sont absorbés, des paires de trou-électron peuvent être formées. Si ces porteuses de charge atteignent la proximité de la jonction, le champ électrique dans la barrière des charges positives ou ils sont accumulés et pousse les électrons dans la zone des charges négatives ou ils sont accumulés aussi, ceux qui créent une différence de potentiel qui peut être utilisé pour fournir du courant à la charge comme la figure II.2 montre [14].

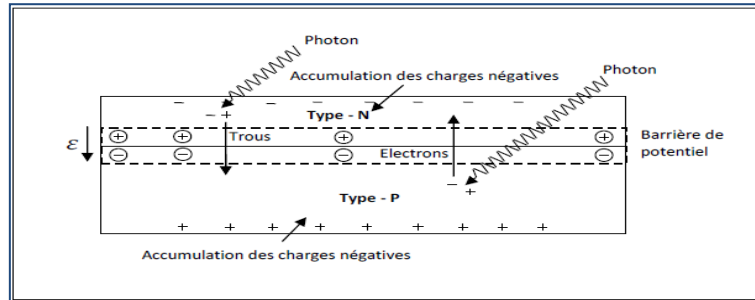


Figure (II.2) Représentation d'une jonction P-N d'une cellule PV.

Si des contacts électriques sont attachés au-dessus et au-dessous de la cellule, des électrons sortent du côté des charges négatives dans le fils de connexion passant par la charge et revenant au côté des charges positives, puisque le fils ne peut pas conduire des trous, les électrons seulement se déplacent autour du circuit, quand ils atteignent la côté des P ils se combinent avec des trous pour accomplissant le circuit, par convention le courant positif circule dans la direction opposée avec les électrons.

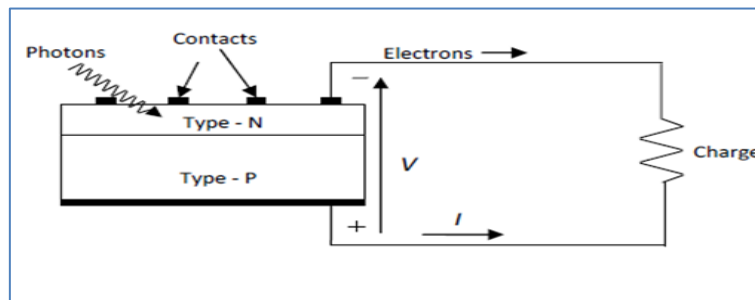


Figure (II.3) Les électrons circulent à partir du côté N Traversant la charge, et reviennent au côté P.

II.2.3 Type et rendement des cellules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules solaires (ou cellules photovoltaïques), et chaque type de cellules a un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement

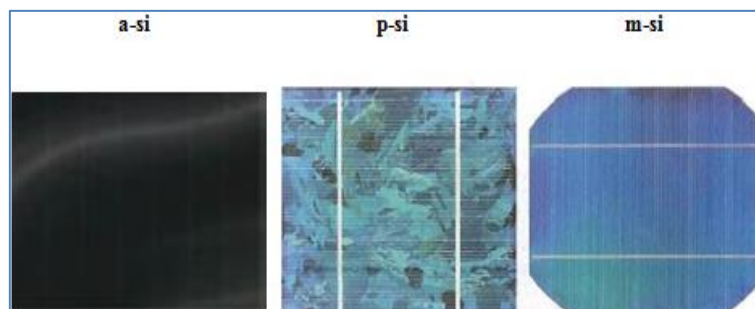


Figure (II.4) Différents types de la cellule photovoltaïque.

Reste assez faible: de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent. Existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle [11].

Rendement d'une cellule :

Le tableau suivant (II -1) présente les différents types des cellules avec leur rendement.

Technologie de cellules	Rendement en laboratoire	Rendement production
Silicium amorphe	0,13	5-9%
Silicium poly cristallin	19.8%	11-15%
Silicium monocristallin	24.7%	13-17%

Tableau II .1 Les différents types des cellules avec leur rendement.

II.3 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 (dues à de l'ombrage, de la poussière, etc..) peuvent endommager les cellules de façon permanente.

II.3.1 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 [16].

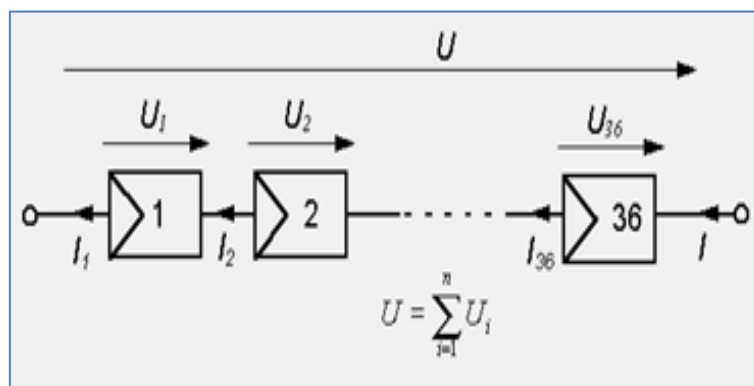


Figure (II.5) Association de N modules solaires en série.

II.3.2 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 [17].

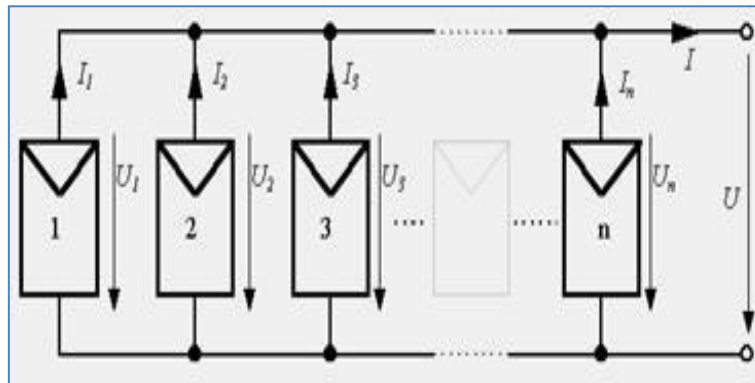


Figure (II.6) Association des modules solaires en parallèle.

II.3.3 Association série-parallèle

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, on est obligé d'utiliser un groupement mixte, c'est à dire Série-Parallèle [13].

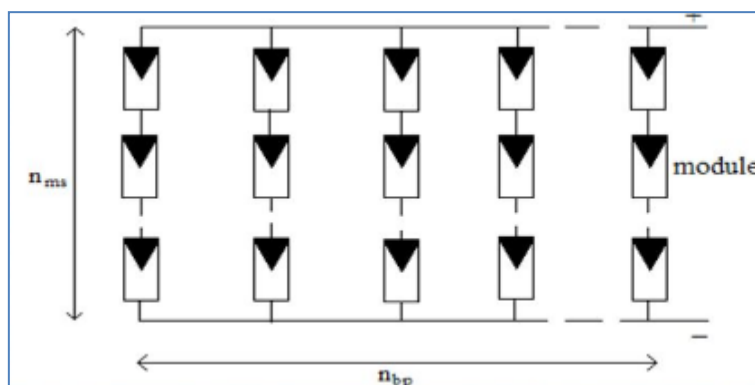


Figure (II.7) Association mixte des modules solaires.

II.4 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 [18].

II.4.1 Modèle d'une cellule

Une cellule PV peut se modéliser à partir de l'équation définissant le comportement statique de la jonction PN d'une diode classique. Ainsi, la figure (II.8) illustre le schéma électrique équivalent d'une cellule PV réelle.

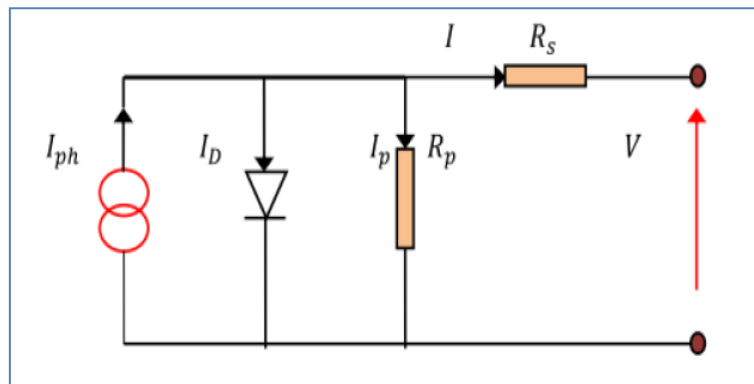


Figure (II.8) Schéma équivalent de la cellule PV.

Dans cette équation, 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 [19].

$$I = I_{ph} - I_D - I_p \tag{II.1}$$

I = le courant fourni par la cellule

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

$$I_p = \frac{V + I.R_s}{R_p} \tag{II.2}$$

I_p : le courant dérivé par la résistance parallèle.

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{v + I.R_s}{nV_T}} - 1 \right)$$

I_D : le courant traversant la diode.

I_0 = le courant de saturation inverse d'une diode .

$$V_T = \frac{KT}{e} \tag{II.3}$$

V_T : la tension thermique

Ou :

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

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

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{v + I.R_s}{nV_T}} - 1 \right) - \frac{V + I.R_s}{R_p} \tag{II.4}$$

II.4.2 Modélisation d'un panneau

Pour réaliser cette simulation, nous avons choisi le module photovoltaïque BP SX 150 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 72 cellules solaires multi cristallines en silicone connectées en série pour produire une puissance maximale de 150W.

Les caractéristiques électriques de ce module photovoltaïque sont données dans le tableau (II .2) [19] :

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

Tableau II .2 : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque BP SX 150.

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 [20] :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{v + IR_s}{nV_T}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (\text{II.5})$$

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

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{v + IR_s}{nV_T}} - 1 \right) \quad (\text{II.6})$$

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

$$I_0 = \frac{I_{SC}}{\left(e^{\frac{V_{oc}}{nV_T}} - 1 \right)} \quad (\text{II.7})$$

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

Avec :

$$I = I_{SC} - I_0 \left(e^{\frac{V + R_s I}{nV_T}} - 1 \right) \quad (\text{II.8})$$

I : Le courant fourni par la cellule.

V : La tension à la borne de cellule.

$$I = I_{SC} - I_0 \left(e^{\frac{V+R_S I}{nV_T}} - 1 \right) \quad (\text{II.9})$$

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

$$dI = 0 - I_S \left(\frac{dV + R_S dI}{nV_T} \right) * e^{\frac{V+R_S I}{nV_T}} \quad (\text{II.10})$$

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 :

$$R_S = -\frac{dV}{dI} - \left(\frac{nV_T}{I_0 e^{\frac{V+R_S I}{nV_T}}} \right) \quad (\text{II.11})$$

$$R_S = -\frac{dV}{dI} \Big|_{V_{oc}} - \left(\frac{nV_T}{I_0 e^{\frac{V_{oc}+R_S I}{nV_T}}} \right) \quad (\text{II.12})$$

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

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (\text{II.13})$$

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

x_n : La présente itération.

x_{n+1} : L'itération suivante.

Ainsi, on récrit l'équation (II.6) sous la forme suivante :

$$f(I) = I_{SC} - I - I_0 \left(e^{\frac{V+R_S I}{nV_T}} - 1 \right) = 0 \quad (\text{II.14})$$

En remplaçant dans l'équation (II.11), on calcule le courant (I) par les itérations [20] :

$$I_{n+1} = I_n - \frac{I_{SC} - I_n - I_0 \left(e^{\frac{V+R_S I_n}{nV_T}} - 1 \right)}{-1 - I_0 \left(\frac{R_S}{nV_T} \right) \left(e^{\frac{V+R_S I_n}{nV_T}} \right)} \quad (\text{II.15})$$

Les équations précédentes ne sont valables que pour un mode de fonctionnement optimal. Pour généraliser notre calcul pour différentes éclairagements et températures, nous utilisons le modèle qui déplace la courbe de référence à de nouveaux emplacements.

$$I_{SC}(T) = I_{scr}(T_{ref}) * [1 + \alpha(T - T_{ref})] \quad (\text{II.16})$$

$$I_{sc} = I_{scr} \frac{G}{1000} \quad (\text{II.17})$$

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

$$I_0(T) = I_0(T_{ref}) \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^{\frac{3}{n}} * \left[\left(e^{\frac{-qE_g}{nk}} \right) \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right] \quad (\text{II.18})$$

Où :

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

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

G : L'irradiation solaire.

II.5 Caractéristiques électriques des modules photovoltaïques

Il existe plusieurs indicateurs permettant de mesurer les performances des modules PV. La puissance crête (W_c) est un des indicateurs les plus significatifs, elle représente la puissance électrique maximale que le panneau peut fournir dans les conditions de mesures normalisées, c'est-à-dire lorsqu'il est connecté à une charge optimale, lorsque la température à la jonction des cellules est de 25 °C et lorsqu'il reçoit du soleil à une puissance de 1000W/m² (ceci correspond approximativement à une exposition perpendiculaire aux rayons du soleil le midi par temps clair).

La caractéristique courant-tension ($I=f(V)$) illustre la variation du courant de sortie en fonction de la tension de sortie. Elle représente aussi un indicateur important permettant de mesurer les performances des modules PV. A partir de cette caractéristique on peut tracer la caractéristique puissance-tension ($P=f(V)$).

Les conditions idéales conventionnelles sont très rarement remplies dans la pratique, et la variation de ces conditions est aléatoire et imprévisible. Le changement de l'ensoleillement et de la température influe directement sur les caractéristiques courant-tension et puissance-tension [17].

II.5.1 Influence de l'éclairement et de température

Les figures II.9 et II.10 représente 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 figure II.11 et II.12 représente 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.

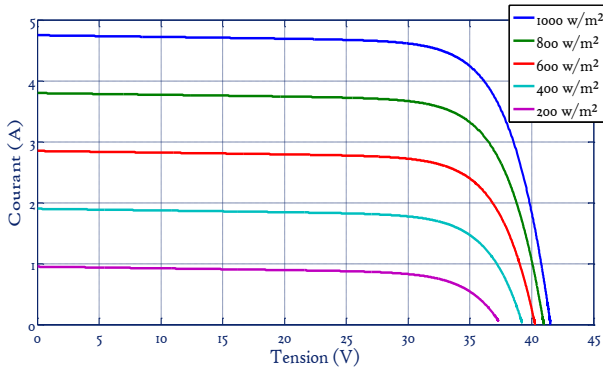


Figure (II.9) Effet de l'éclairement sur la caractéristique I(V).

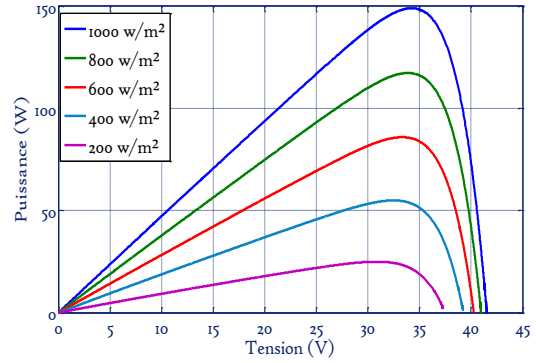


Figure (II.10) Effet de l'éclairement sur la caractéristique P(V).

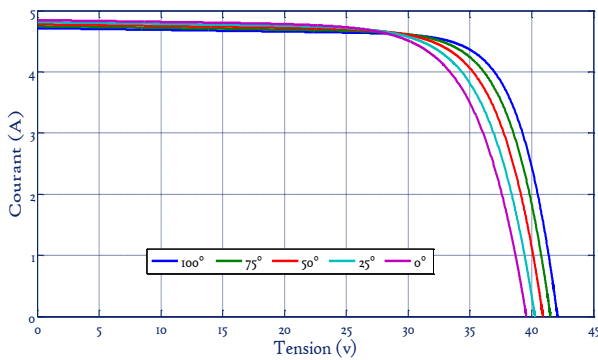


Figure (II.11) Effet de la température sur la caractéristique I(V).

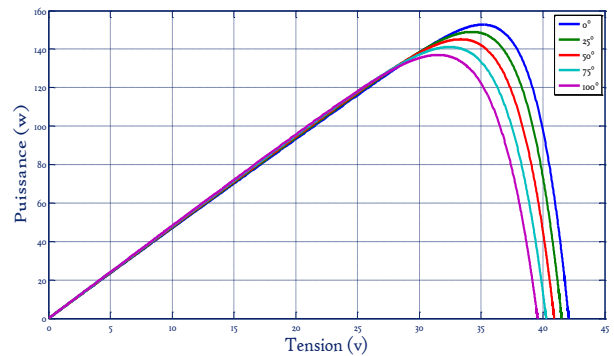


Figure (II.12) Effet de la température sur la caractéristique P(V).

D'après les figures II.9 et II.10, On remarque que la tension maximale V_m correspondante à la puissance maximale ne varie que très peu en fonction de l'éclairement, contrairement au courant I_m qui augmente fortement avec l'éclairement

D'après les figures II.11 et II.12, On remarque que l'augmentation de la température entraîne une diminution de la tension de circuit ouvert, ainsi qu'une diminution de la puissance maximale.

II.6 Effet de l'ombrage

Dans cette partie, nous avons essayé de simuler l'effet de l'ombrage partiel sur les deux types d'association série et parallèle.

Les figures II.13, II.14, II.15, représentent les résultats obtenus dans le cas d'une cas association en série.

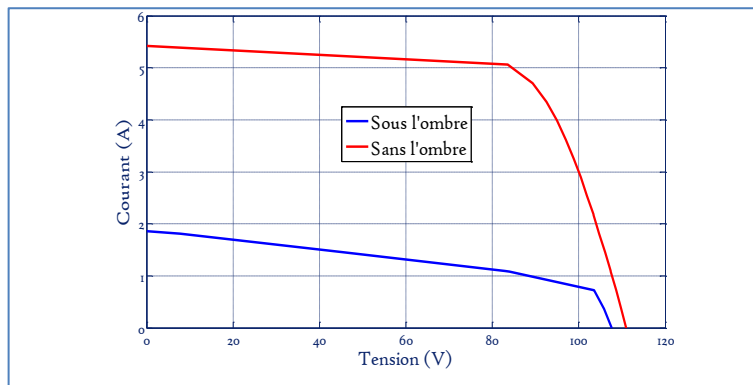
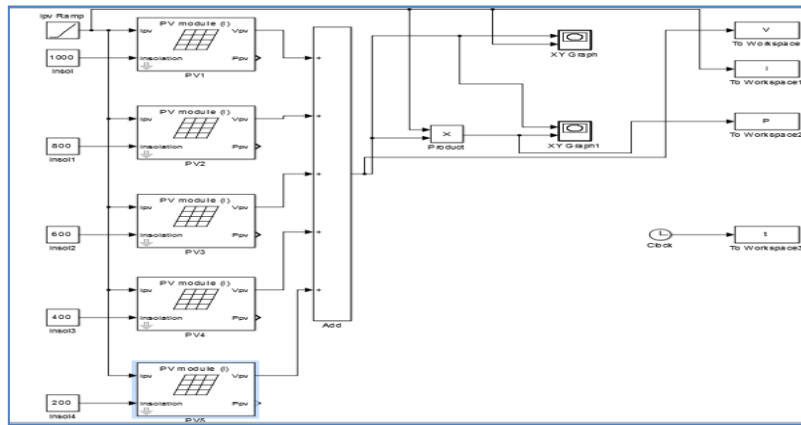


Figure (II.13) Simulation de l'ombrage dans le cas d'une association de modules photovoltaïques en série.

Figure (II.14) Caractéristique $i(v)$ sous ombrage et sans ombrage (association série).

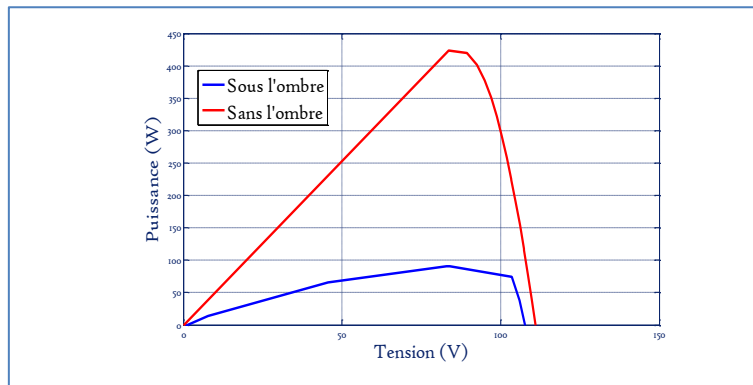


Figure (II.115) Caractéristique $p(v)$ sous ombrage et sans ombrage.

Tandis que les figures II.16, II.17, II.18, représentent les résultats dans le cas d'une association en parallèle.

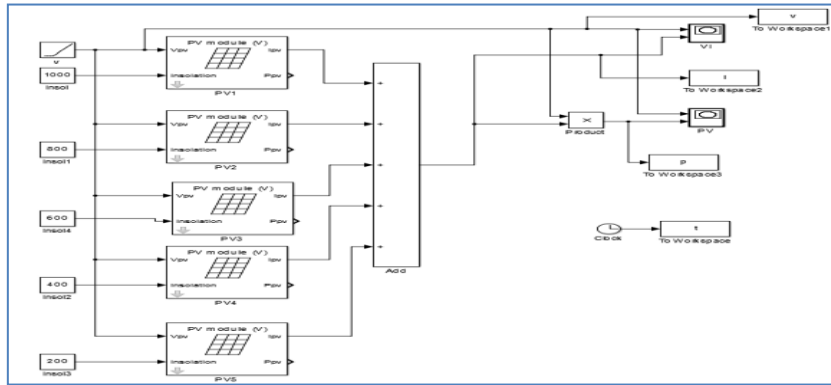


Figure (II.16) Simulation de l'ombrage dans le cas d'une association de modules photovoltaïques en parallèle.

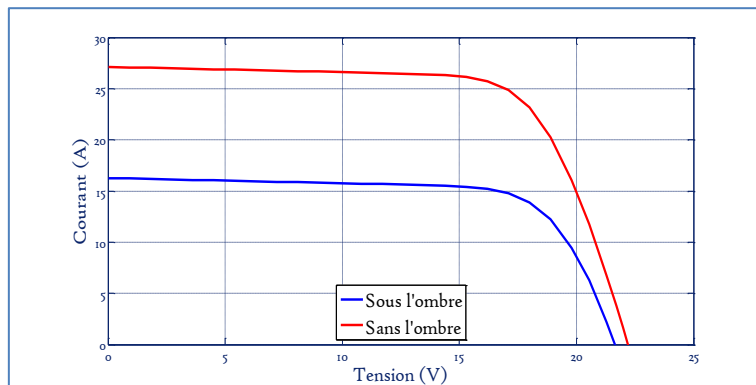


Figure (II.17) Caractéristique $i(v)$ sous ombrage et sans ombrage.

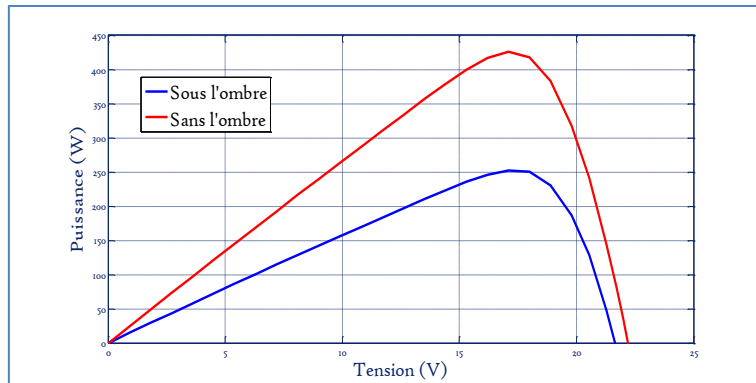


Figure (II.18) Caractéristique $p(v)$ sous ombrage et sans ombrage.

II.7 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, le modelé mathématiques puis nous avons montrés les résultats de simulation d'un panneau photovoltaïque (150W) dont les deux effets températures, rayonnement et l'effet de l'ombrage ont été montrés et analysés.

Dans la suite de notre travail nous allons étudier la méthode d'extraction de puissance maximale (MPPT) en utilisant la méthode P&O.

Chapitre III

*Simulation et analyse de
MPPT (P&O)*

III Simulation et analyse de MPPT (P&O)

III Introduction

Le cœur de matériel du suiveur du PPM est le convertisseur à courant continu (DC-DC), il est très utilisé dans les alimentations à C.C, MPPT utilise le même convertisseur pour un but différent : contrôle de la tension d'entrée PPM du panneau PV et assure l'adaptation de la charge p .

Dans ce chapitre , nous allons définir le convertisseur DC-DC et leur types principaux et nous allons exposer le principe de MPPT, technique "Incrément de conductance" et technique "Perturb and Observe", et d'un autre coté la nouvelle technique pour améliorer l'algorithme (P&O) de la commande MPPT utiliser un pas variable.

III.1 Le convertisseur continu-continu (Hacheur)

Les hacheurs sont des convertisseurs statiques continu-continu permettant de générer une source de tension continue variable à partir d'une source de tension continue fixe. Ils se composent de condensateurs, d'inductances et de commutateurs. Tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance dans le cas idéal, c'est pour cette raison que les hacheurs ont de bons rendements.

Généralement le commutateur est un transistor MOSFET qui travaille en mode bloqué-saturé. Si le commutateur est bloqué, son courant est nul, il ne dissipe donc aucune puissance ; S'il est saturé, la chute de tension à ses bornes sera presque nulle et par conséquent la puissance perdue sera très petite.

Le commutateur du convertisseur est commandé par un rapport cyclique D variable. De la figure (III.1) on ferme le commutateur pendant un temps de fermeture égal à $D.T_s$, ensuite on l'ouvre durant un temps d'ouverture égal à $(1-D) T_s$. où :

- D est le rapport cyclique du commutateur ($D \in [0,1]$).

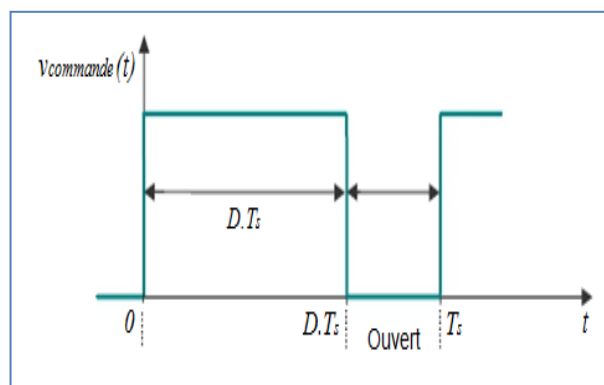


Figure (III.1) Tension de commande du commutateur durant une période de commutation.

III .1.2 Les types des convertisseurs DC-DC

Il y a un plusieurs topologies des convertisseurs DC-DC. Elles sont classées par catégorie, selon que la topologie isolée ou non isolée. Les topologies isolées emploient un transformateur d'isolement fonctionnant à haute fréquence. Elles sont très employées souvent dans les alimentations à découpage. Les topologies les plus connues dans la majorité des applications sont le flyback, en demi-pont et en pont complet. Dans les applications photovoltaïques (PV), les systèmes de couplage avec le réseau électrique

emploient souvent ces types de topologies quand l'isolement électrique est préféré pour des raisons de sûreté [13].

Les topologies non isolées ne comportent pas de transformateurs d'isolement. Elles sont généralement utilisées dans l'entraînement des moteurs à courant continu.

- Abaisseurs (Buck);
- Élévateurs (Boost);
- Élévateurs - Abaisseurs (Buck-Boost).

La topologie buck est employée pour les faibles tensions. Dans les applications PV, le convertisseur buck est habituellement employé comme chargeur de batteries et dans des systèmes de pompage de l'eau.

La topologie boost est employée pour augmenter la tension. Les systèmes de production de l'énergie emploient un convertisseur boost pour augmenter la tension de sortie au niveau de service avant l'étage de l'onduleur. Puis, il y a des topologies capables d'augmenter et de diminuer la tension tel que le buck-boost, le cuk, et le sepic.

Le tableau III.1 résume les principaux rapports de transformation en fonction du rapport cyclique pour les différentes structures de convertisseurs statiques avec et sans isolement galvanique. Où D désigne le rapport cyclique du convertisseur et K le rapport de transformation du transformateur d'isolement [19].

Convertisseur	Rapport de transformation en fonction de (D)	Isolement galvanique
Buck	D	Non
Boost	$\frac{1}{1-D}$	Non
Buck-Boost	$\frac{-D}{1-D}$	Non
Cuk	$\frac{D}{1-D}$	Non
SEPIC	$\frac{D}{1-D}$	Non
Flyback	$K \frac{D}{1-D}$	Oui
Push-puul	KD	Oui
Forward	KD	Oui

Tableau III.1: Rapports de transformation des principaux convertisseurs DC-DC.

III.1.2Hacheur 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.

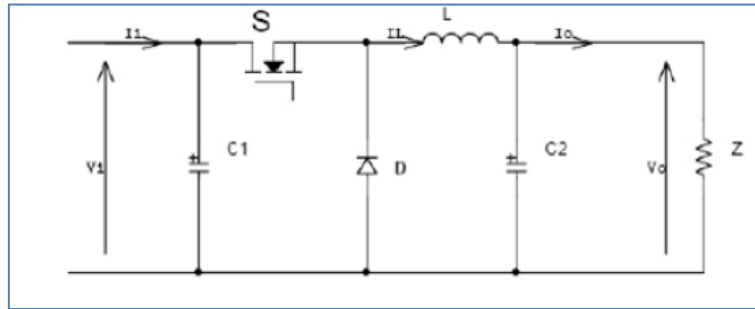


Figure (III.2) Circuit idéal du convertisseur dévolteur (Buck).

Commutation T_s . Pendant le temps de fermeture ($t \in [0, D.T_s]$), la diode se bloque et un courant circule dans la charge à travers l'inductance, cette dernière se charge alors d'énergie. Dès que le commutateur s'ouvre ($t \in [D.T_s, T_s]$), la source et la charge ne sont plus en contact, la diode se sature et l'inductance libère une énergie à la charge avec une diminution du courant I .

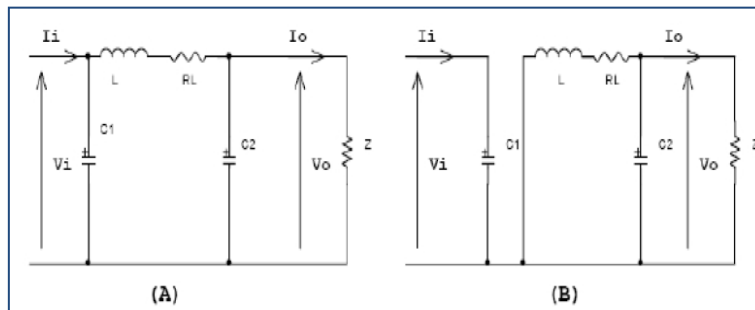


Figure (III.3) Circuits équivalents du convertisseur Buck pendant une période de commutation(A) et (B).

(A): pendant le temps de fermeture ($t \in [0, DT_s]$)

(B) : pendant le temps d'ouverture ($t \in [DT_s, T_s]$)

Le rapport de conversion d'un hacheur est le rapport entre la tension d'entrée V_i et la tension de sortie V_o . Pour un hacheur dévolteur, il est donné sous la forme suivante :

$$V(D) = \frac{V_o}{V_i} = D$$

Donc le convertisseur Buck est un abaisseur de tension

III.1.3 Hacheur survolteur (Boost converter)

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 [17]. Son circuit idéal est donné par la figure(III.4)

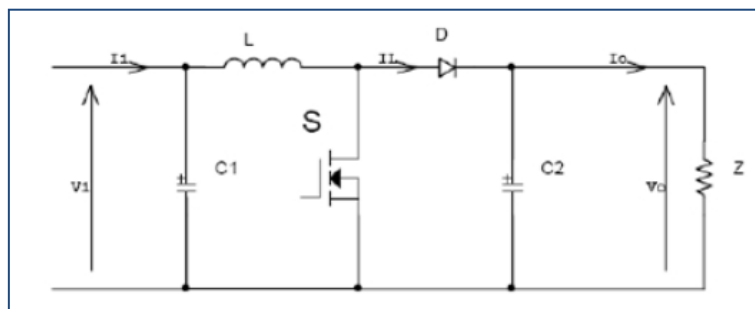


Figure (III.4) Circuit idéal d'un convertisseur survolteur (Boost).

La figure(III.5) explique le fonctionnement du convertisseur Boost durant une période de commutation T_s . Pendant le temps de fermeture ($t \in [0, D.T_s]$), le courant dans l'inductance croit progressivement, au fur et à mesure elle emmagasine de l'énergie. Dès que le commutateur s'ouvre ($t \in [D.T_s, T_s]$), l'inductance L s'oppose à la diminution du courant I_L , ainsi elle génère une tension qui s'ajoute à la tension de source, qui s'applique sur la charge Z à travers la diode D .

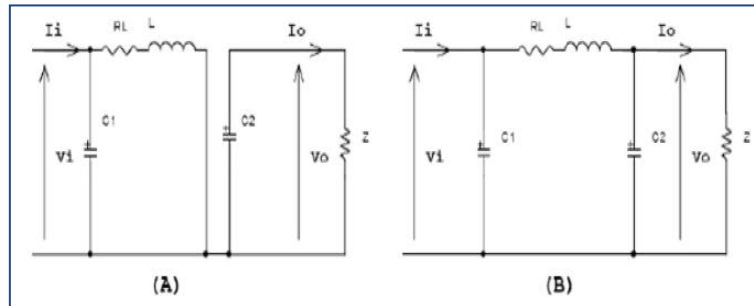


Figure (III.5) Circuits équivalents du convertisseur Boost pendant une période de commutation(A) et (B).

(A): pendant le temps de fermeture ($t \in [0, DTs]$)

(B): pendant le temps d'ouverture ($t \in [DTs, Ts]$)

Le rapport de conversion d'un hacheur Boost est donné sous la forme suivante :

$$V(D) = \frac{V_0}{V_i} = \frac{1}{1-D}$$

Donc le convertisseur Boost est un élévateur de tension.

III.1.4 Hacheur dévolteur-survolteur (Buck-Boost converter)

Le convertisseur dévolteur-survolteur (ou Buck-Boost) 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 [19]. La figure (III.6) illustre son circuit idéal.

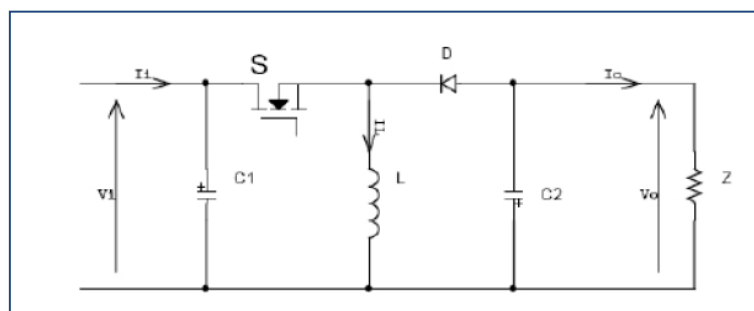


Figure (III.6) Circuit idéal d'un convertisseur dévolteur-survolteur (Buck-Boost).

La figure (III.7) explique le fonctionnement du convertisseur Buck-Boost durant une période de commutation T_s . Pendant le temps de fermeture ($t \in [0, D.T_s]$), la tension de la source est appliquée à l'inductance qui se charge d'énergie. Durant la période d'ouverture ($t \in [D.T_s, T_s]$), la tension de l'inductance se trouve appliquée à la charge Z et son courant circule dans le sens inverse des aiguilles d'une montre à travers la diode D . Ainsi, la tension de sortie V_0 du convertisseur sera négative.

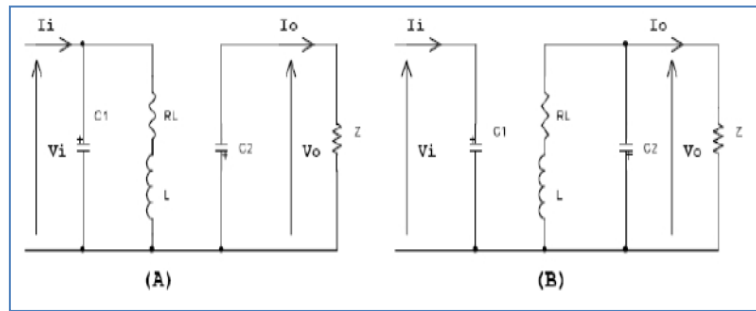


Figure (III.7) Circuits équivalents du convertisseur Buck-Boost pendant une période de commutation (A) et (B).

(A) pendant le temps de fermeture ($t \in [0, DTs]$)

(B) : pendant le temps d'ouverture ($t \in [DTs, Ts]$)

Le rapport de conversion d'un hacheur Buck-Boost est une relation non linéaire, il est donné par l'expression suivante :

$$V(D) = \frac{V_o}{V_i} = \left(\frac{D}{1-D} \right)$$

III.2 Extraction de la puissance maximal du générateur photovoltaïque

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

III.3 Principe de 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}). [6]

L'adaptation d'impédance est souvent sous forme d'un convertisseur DC – DC comme représenté sur la figure (III.8).

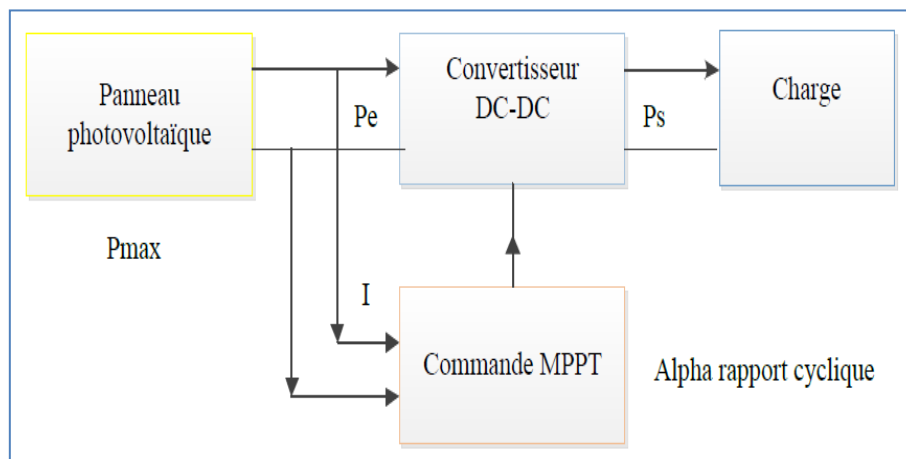


Figure (III.8) Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT.

III.3.1 Principe des techniques “Incrément de conductance” (Inc.CoN)

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

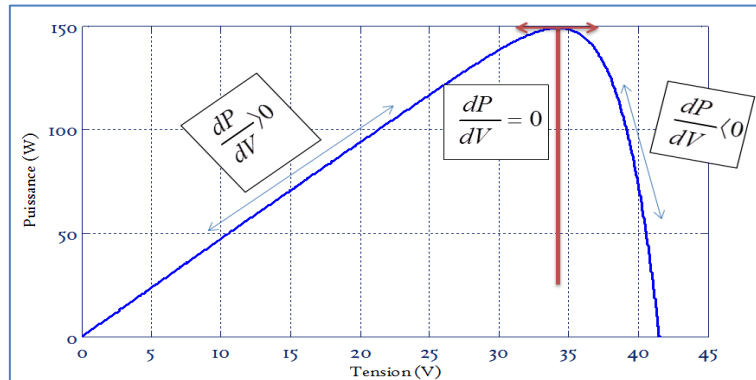


Figure (III.9): Signe de $\frac{dP}{dV}$ pour différentes zones de fonctionnement.

La puissance du panneau solaire est donnée par :

$$P=VI$$

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

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

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

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.

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 $\left| \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} \right| \leq \epsilon$ la valeur de ϵ est limitée entre le problème non fonctionnement dans le MPP, exact et le problème de l'amplitude des oscillations.[21]

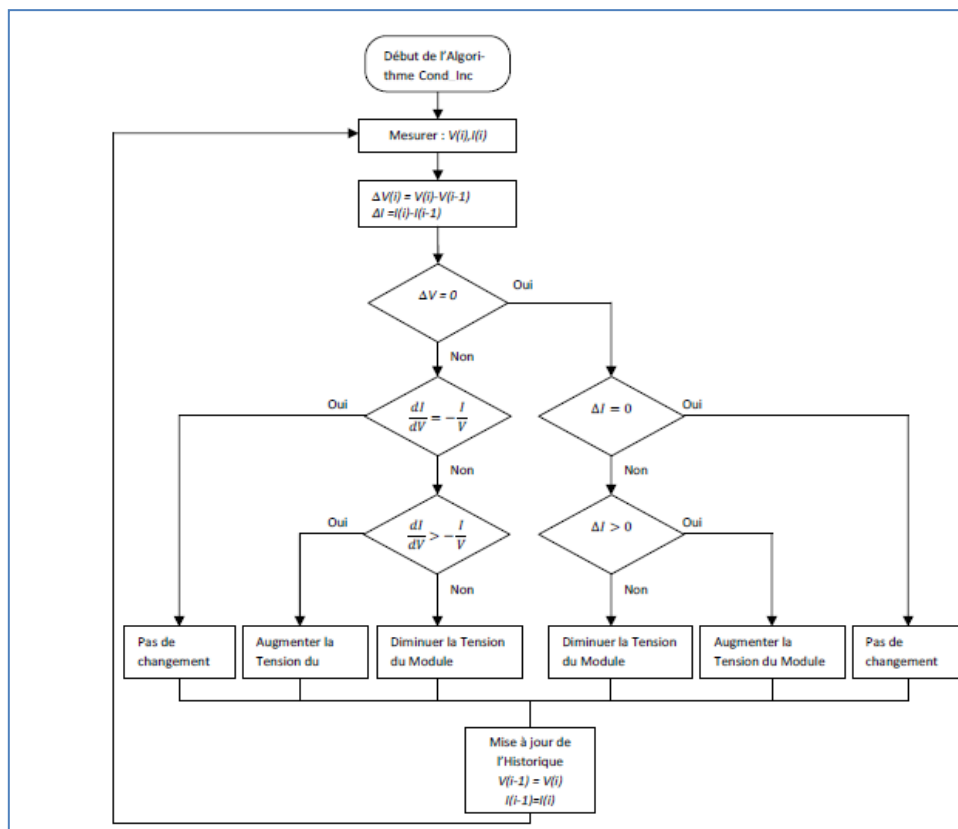


Figure (III.10) organigramme de l'algorithme Cond-Inc.

II.3.2. Principe des techniques “Perturb and Observe” (P&O)

Le principe des commandes MPPT de type P&O consiste à perturber la tension V_{PV} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance P_{PV} qui en résulte ainsi, on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{PV} engendre un accroissement de la puissance P_{PV} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $P_{PV}(V_{PV})$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié.

En résumé, si suite à une perturbation de tension, la puissance P_{PV} augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour reprendre la convergence vers le nouveau PPM. La figure (III.11) représente l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type (P&O), où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension [22].

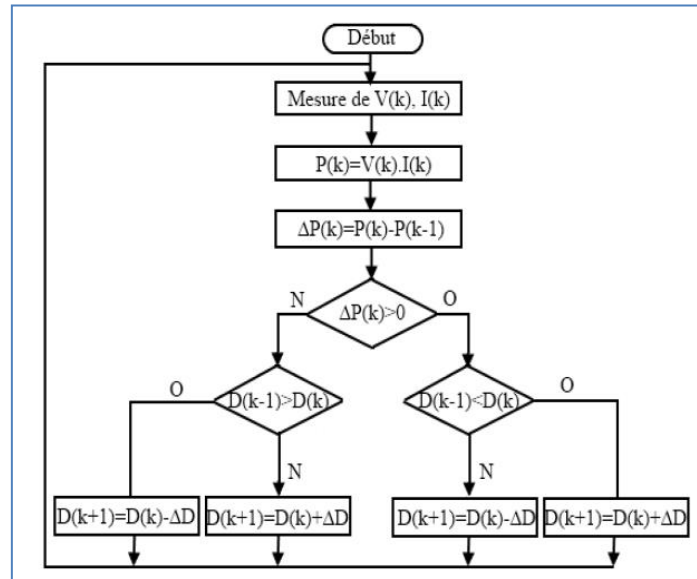


Figure (III.11) Algorithme MPPT perturbation and observation (P&O).

III.4 Simulation du système photovoltaïque

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

La figure(III.12): présente Schéma MATLAB 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.

Dans cette simulation on a utilisé un Module photovoltaïque BP SX 150 deBP, un hacheur Boost caractérisé par : $C_1= 3000e-6F, C_2= 2e-3F, L= 0.01H, R= 0.01ohm$, on a utilisé aussi une commande MPPT de type P&O et une charge $R=500 ohm$.

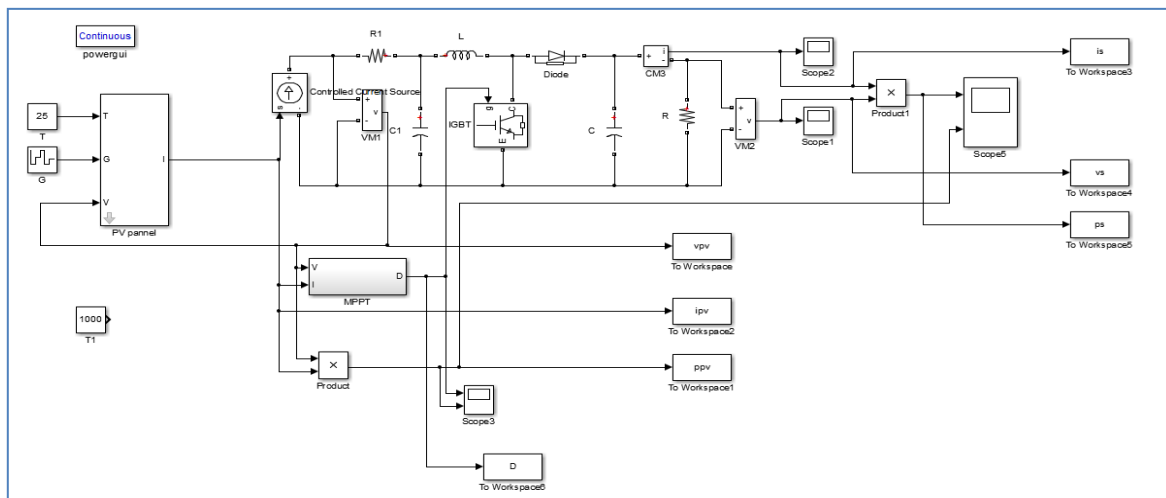


Figure (III.12): Schéma MATLAB SIMULINK d'un système photovoltaïque avec la commande MPPT (P&O). On représente le modèle mathématique de l'Algorithme (P&O) sous le programme MATLAB Comme suit :

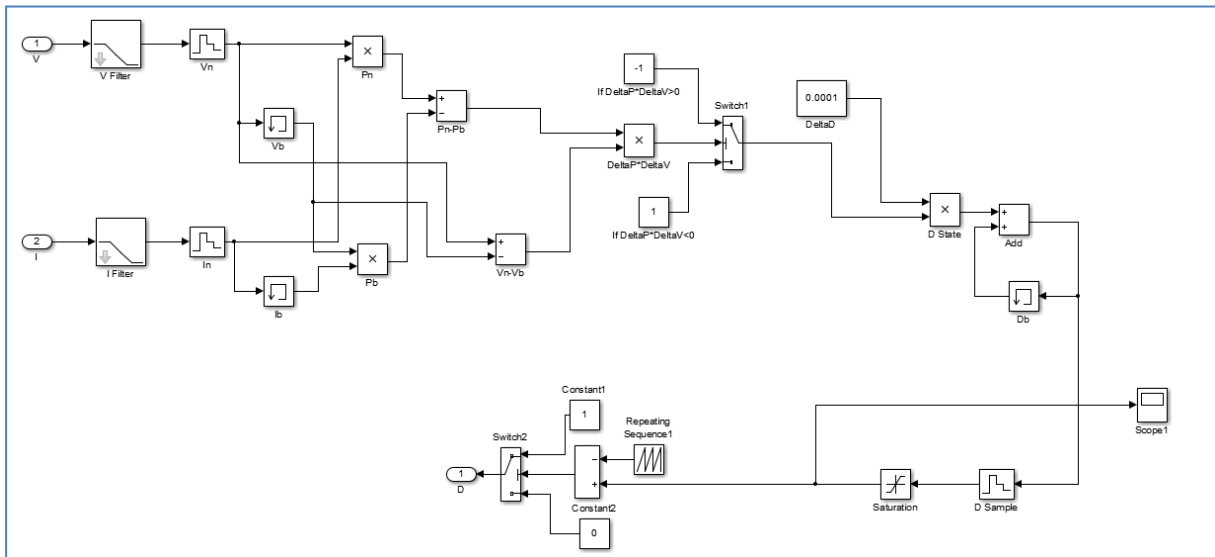


Figure (III.13) Schéma de simulation de l’algorithme de perturbation et de l’observation (P&O).

La figure suivante présente allure de puissance en fonction de la tension d’un système photovoltaïque (panneau 150w) commandé par un contrôleur P&O dans une température et éclairements constantes ($T=25^{\circ}\text{C}, G=1000\text{W}/\text{m}^2$) :

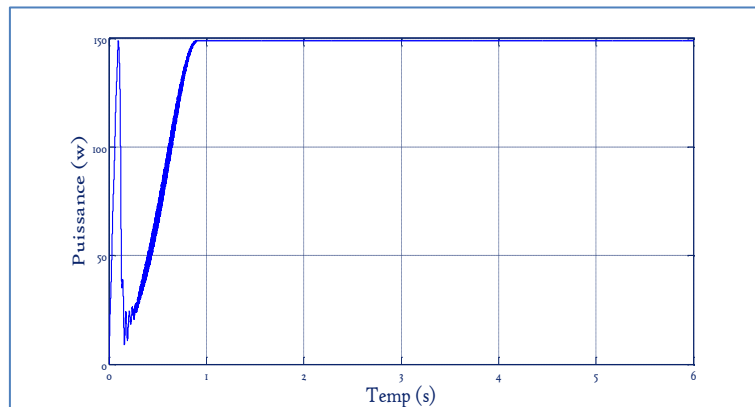


Figure (III.14): Allure de la puissance en fonction de temps pour ($T=25^{\circ}\text{C}, G=1000\text{W}/\text{m}^2$).

De la figure (IV.14), On remarque que la puissance met un temps d’oscillation de (0.9s) pour se stabiliser à la valeur maximale de la puissance (150W).

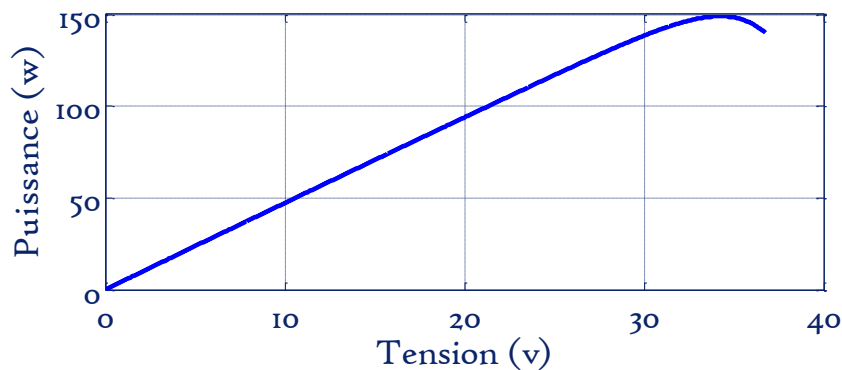


Figure (III.15): Allure de la puissance générée par le panneau photovoltaïque Pour ($T=25^{\circ}\text{C}, G=1000\text{W}/\text{m}^2$).

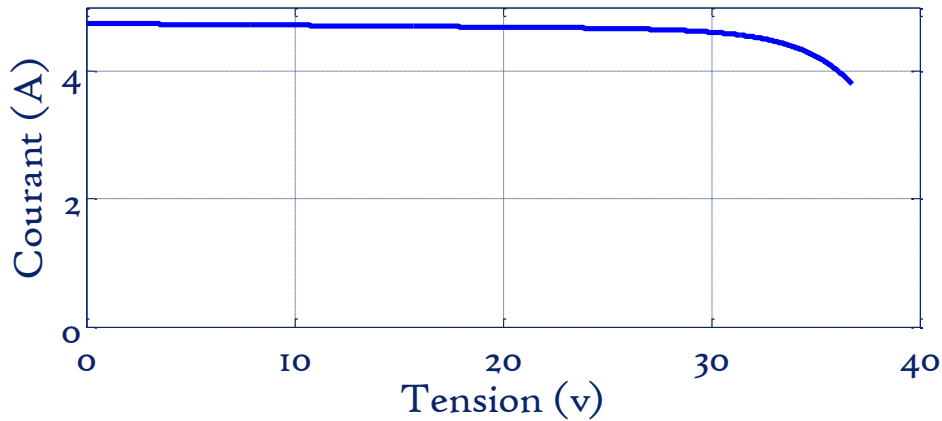


Figure (III.16): Allure de courant en fonction de la tension ($T=25^{\circ}\text{C}, G=1000\text{W}/\text{m}^2$).

D'après les figure obtenus on remarque pour un rayonnement fixe la puissance oscille au tour de point maximale (PPM), c'est pareille pour la courbe de courant. Cela prouve de l'efficacité de la commande (MPPT).

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 P&O dans une température constante et différentes éclaircements ($T=25^{\circ}\text{C}, G=200, 600, 1000\text{ W}/\text{m}^2$) :

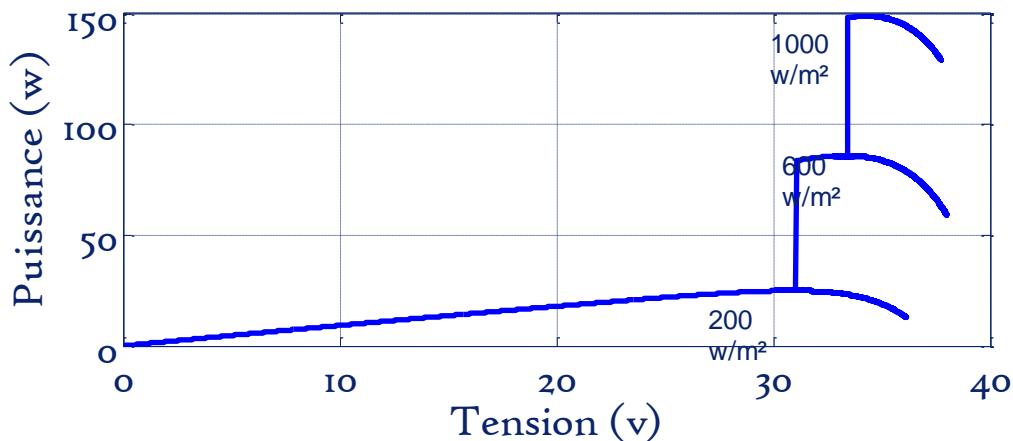


Figure (III.17): Allure de la puissance en fonction de la tension ($T=25^{\circ}\text{C}, G=200, 600, 1000\text{ W}/\text{m}^2$).

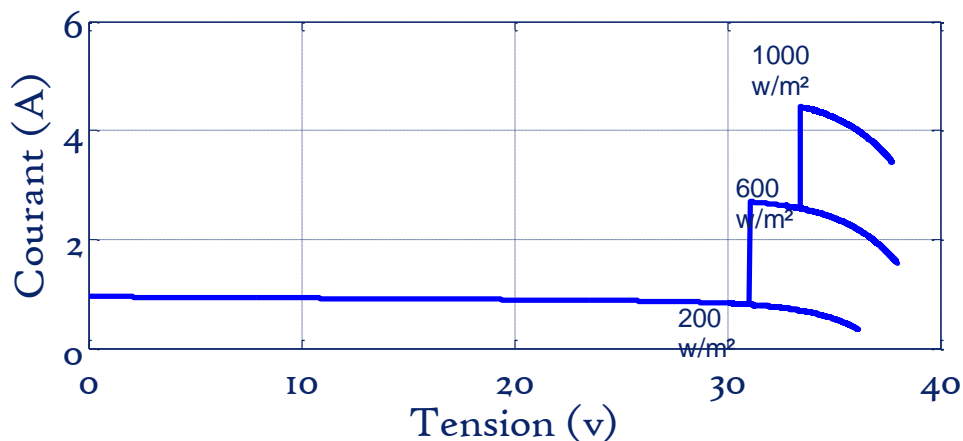


Figure (III.18): Allure de courant en fonction de la tension ($T=25^{\circ}\text{C}, G=200, 600, 1000\text{ W}/\text{m}^2$).

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 Amélioration l'algorithme perturbation et observation (P&O) :

On remarque que l'inconvénient majeur de l'algorithme P&O d'ors de recherche de PPM, les pertes de puissance au démarrage qui influence sur le rendement de système.

Pour remédier à ce problème une nouvelle technique utiliser un pas variable, cette nouvelle variation se décrit dans l'algorithme ce l'équation suivante :

$$D(k) = D(k-1) \pm (\text{step} + M \cdot dP)$$

Cette équation régit le système, la comparaison de suivi du PPM entre pas variable et pas fixe. Les méthodes P&O MPPT sont indiquées figure (III.19), l'algorithme proposé montre une amélioration significative Dans le temps de réponse. L'énergie perdue peut être réduit avec un pas variable [17].

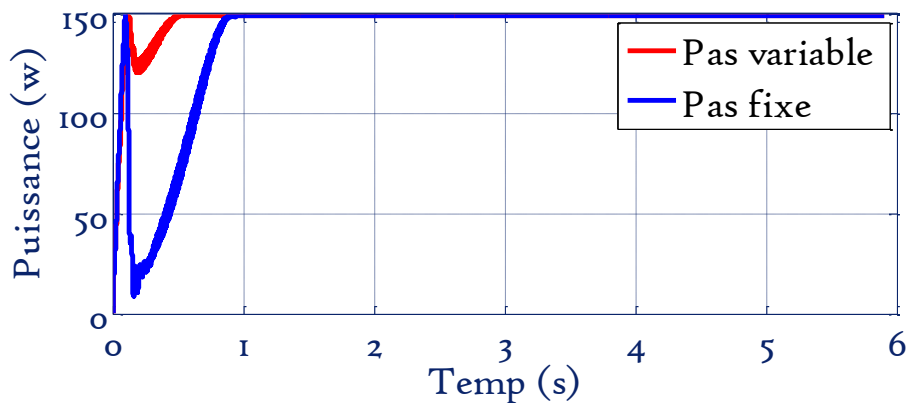


Figure (III.19): Allure de comparaison entre la puissance générée en utilisant pas variable et pas fixe en fonction de temps ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W}/\text{m}^2$).

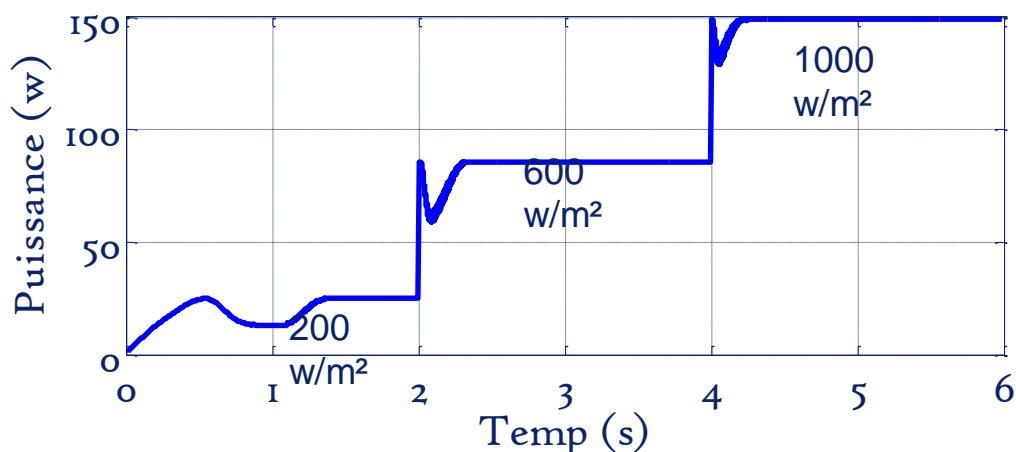


Figure (III.20): Allure de la puissance générée en utilisant pas variable en fonction de temps ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=200, 600, 1000\text{W}/\text{m}^2$).

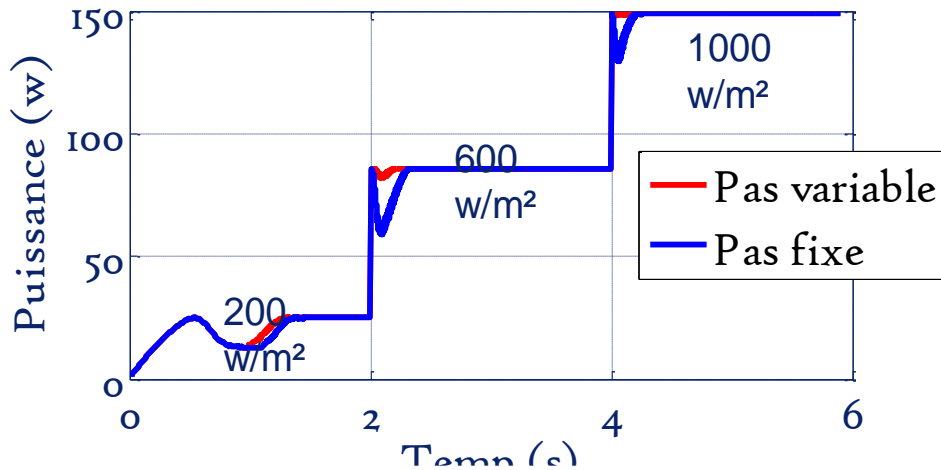


Figure (III.21): Allure de comparaison entre la puissance générée en utilisant pas variable et pas fixe en fonction de temps ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=200, 600, 1000 \text{ W/m}^2$).

III.6 Conclusion

Cette étude a été centrée sur l'amélioration des performances et du rendement d'un système photovoltaïque. L'objectif principal était de trouver un algorithme efficace et optimal permettant d'extraire le maximum de puissance disponible à partir du générateur photovoltaïque.

Ce 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.

Dans la suite de notre travail nous allons étudier la méthode d'extraction de puissance maximale (MPPT) en utilisant la technique des réseaux de neurones.

Chapitre IV

*Simulation et analyse de
MPPT par les réseaux de
neurones*

IV Simulation et analyse de MPPT pour les réseaux de neurones

IV.1 Introduction

Les réseaux de neurones, fabriqués de structures cellulaires artificielles, constituent une approche permettant d'aborder sous des angles nouveaux les problèmes de perception, de mémoire, d'apprentissage et de raisonnement. Ils s'avèrent aussi des alternatives très prometteuses pour contourner certaines des limitations des ordinateurs classiques. Grâce à leur traitement parallèle de l'information et à leurs mécanismes inspirés des cellules nerveuses (neurones), ils infèrent des propriétés émergentes permettant de solutionner des problèmes qualifiés de complexes [35].

Dans ce chapitre, nous allons présenter les réseaux neurones et leur architecture puis nous montrerons les résultats de simulation d'un système PV commandé par un contrôleur RNA, une étude comparative entre la méthode P&O et RNA sera présenté.

IV.2 Les réseaux de neurones

IV.2.1 présentation

Sous le terme des réseaux de neurones, on regroupe aujourd'hui un certain nombre de modèles dont l'intention est de réaliser quelques fonctionnalités du cerveau humain, en reproduisant certaines de ces structures de base. Depuis une dizaine d'années, l'utilisation des réseaux de neurones artificiels s'est développée dans de nombreuses disciplines (sciences économiques, écologie et environnement, biologie et médecine...).

Ils sont notamment appliqués pour résoudre des problèmes de classification, de prédiction, de catégorisation, d'optimisation, de reconnaissance des formes et de mémoire associative. Dans le cadre du traitement des données, les réseaux de neurones constituent une méthode d'approximation de systèmes complexes, particulièrement utile lorsque ces systèmes sont difficiles à modéliser à l'aide des méthodes statistiques classiques.

Les réseaux de neurones sont également applicables dans toutes les situations où il existe une relation non linéaire entre une variable prédictive et une variable prédite. Par leur nature et leur fonctionnement, les réseaux de neurones peuvent détecter les interactions multiples non linéaires parmi une série de variables d'entrée, ils peuvent donc gérer des relations complexes entre les variables indépendantes et les variables dépendantes [23] [24].

IV.2.2 Historique

Historiquement, les origines de cette discipline sont très diversifiées. En 1943, McCulloch et Pitts étudièrent un ensemble de neurones formels interconnectés et montrèrent leurs capacités à calculer certaines fonctions logiques. En 1949, Hebb, dans une perspective psychophysiologique, souligna l'importance du couplage synaptique dans les processus d'apprentissage. C'est en 1958, que Rosenblatt décrivit le premier modèle opérationnel de réseaux de neurones mettant en œuvre les idées de

Hebb, McCulloch et Pitts: le perceptron inspire du système visuel, capable d'apprendre à calculer certaines fonctions logiques en modifiant ses connexions synaptiques.

Ces modèles suscitèrent l'intérêt de plusieurs chercheurs avant que Minsky et Papert en 1969 démontrèrent leurs limites théoriques. Le renouveau actuel des réseaux de neurones est dû à des contributions originales comme celle de Hopfield en 1982, qui en montrant l'analogie des réseaux de neurones avec certains systèmes physiques, a permis de leur appliquer un formalisme riche et bien maîtrisé. Plus récemment, en 1985, de nouveaux modèles mathématiques ont permis de dépasser les limites du perceptron. [25] [26].

IV.2.3 Le modèle neurophysiologique

Le cerveau humain est le meilleur modèle de machine polyvalente incroyablement rapide et surtout douée d'une parfaite capacité d'auto organisation. Son comportement est beaucoup plus mystérieux que le comportement de ses cellules de base. Il est constitué d'unités biologiques élémentaires (environ 1012 neurones), chacune reçoit et envoie des informations (1000 à 1000 synapses par neurone).

Les cellules nerveuses appelées "neurones" qui sont des éléments de base du système nerveux central. Elles sont constituées de trois parties essentielles, le corps cellulaire, les dendrites et l'axone [27].

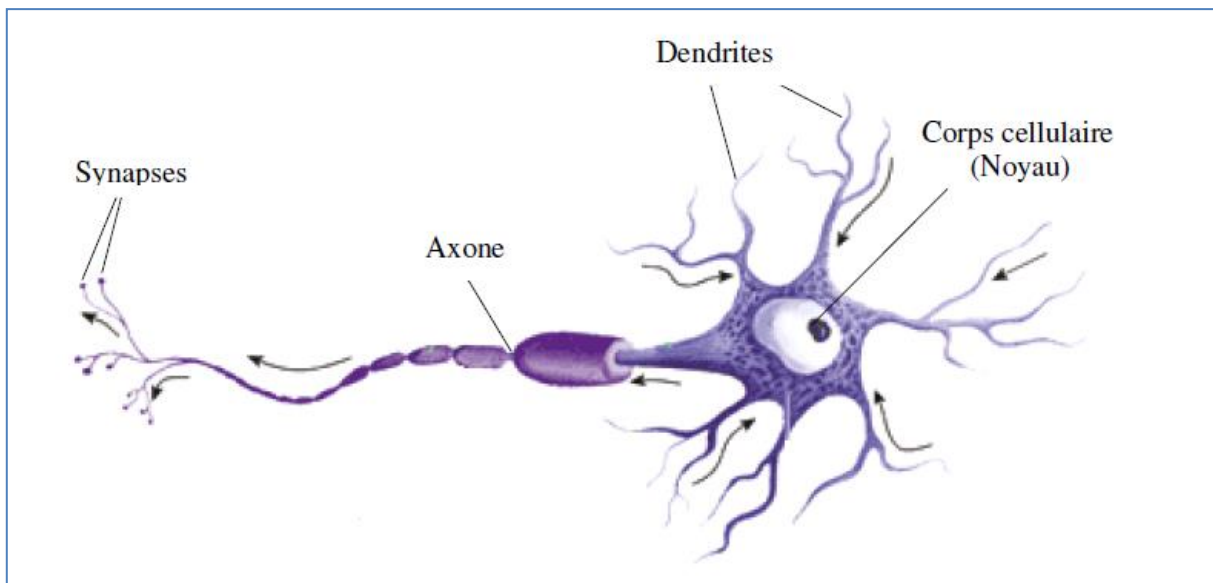


Figure (IV.1) Représentation schématique d'un neurone biologique.

L'architecture biologique du neurone est présentée sur la figure (IV.1). Les dendrites sont considérées comme les portes d'entrées des neurones. Elles sont les réceptrices principales du neurone permettant de capter les signaux lui parvenant. Ensuite, un traitement de toutes ces informations a lieu au niveau du corps cellulaire. Les principales lignes de transmission du système nerveux sont les axones. Ils servent de moyen de transport pour les signaux émis par le neurone, vers d'autres neurones. L'information va transiter de neurone en neurone le long de l'axone jusqu'aux muscles via un potentiel d'action (un signal électrique).

La synapse désigne les zones de contact entre neurones, zones spécialisées dans la transmission de l'information. Elles peuvent être inhibitrice ou excitatrice de signal pondérant l'information arrivant au corps cellulaire par les dendrites. [28]

IV.2.4 le modèle mathématique (neurone artificiel)

IV.2.4.1 Structure

La figure (IV.2) montre la structure d'un neurone artificiel. Chaque neurone artificiel est un processeur élémentaire. Il reçoit un nombre variable d'entrées en provenance de neurones "amonts". A chacune de ces entrées est associé un poids abréviation de weight (poids en anglais) représentatif de la force de la connexion. Chaque processeur élémentaire est doté d'une sortie unique, qui se ramifie ensuite pour alimenter un nombre variable de neurones "avals". A chaque connexion est associé un poids [28].

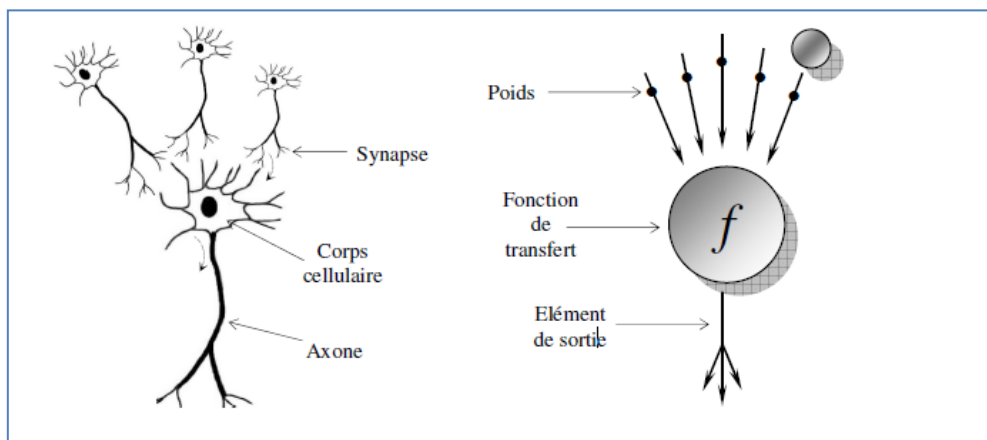


Figure (IV.2) Mise en correspondance du neurone biologique /et du neurone artificiel

IV.3 Modélisation

IV.3.1 Comportement [29]

Par analogie avec la biologie, un neurone artificiel figure (IV.3) reçoit l'information provenant des entrées x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) par l'intermédiaire des connexions dont on affecte à chacune d'elles un poids w (en anglais weights) pondérant l'information reçue, appelé aussi poids synaptique. Deux fonctionne en deux étapes:

La première phase représente le prétraitement des données reçues en calculant le potentiel v_j du neurone j par la fonction suivante:

$$v_j = b_j + \sum_{i=1}^n W_{j,i} X_i \quad (IV.1)$$

Où $w_{j,i}$ désigne le poids de la connexion liant le neurone j à l'entrée i , et b_j est un terme constant appelé biais qui peut être considéré comme le poids d'une entrée x_0 égale à 1. Ainsi, la relation IV.2 s'écrit plus simplement:

$$v_j = \sum_{i=0}^n W_{ji} X_i \quad (IV.2)$$

Les neurones que nous allons utiliser sont des neurones linéaires qui effectuent une somme pondérée des entrées. Mais, il en existe d'autres dans la littérature (neurone distance, neurone polynomial, neurone de type noyau, etc...).

Dans la deuxième phase, une fonction de transfert f appelée également fonction d'activation calcule la valeur de l'état interne y_j du neurone j à partir de la valeur du potentiel v_j . Cette valeur désignera la sortie du neurone :

$$y_j = f(v_j) = f\left(\sum_{i=0}^n W_{j,i} X_i\right) \quad (\text{IV.3})$$

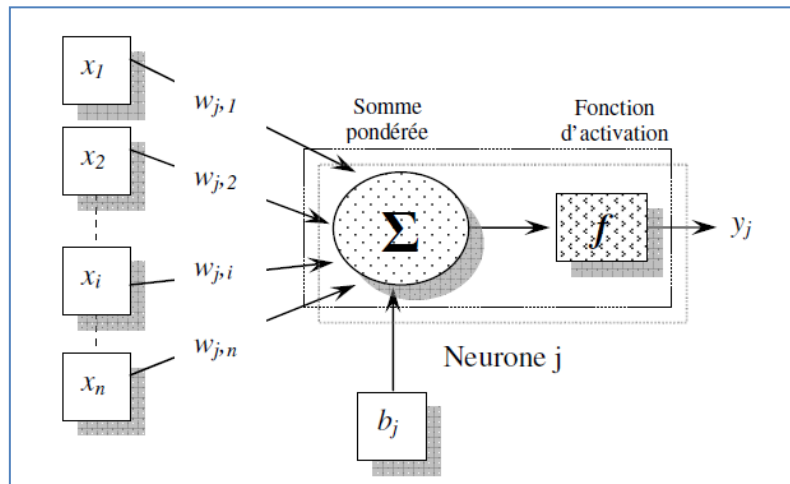


Figure (IV.3) Représentation d'un neurone mathématique.

Les variables x_i désignent les entrées, la sortie est notée y_j , le biais b_j et les poids synaptiques sont désignés pour $w_{j,i}$.

Ainsi, le neurone peut être défini mathématiquement comme étant une fonction algébrique, a priori non linéaire (suivant f) et bornée, des entrées x_j et paramétrée par les poids $w_{j,i}$:

$$y_j = f(x_j, w_{j,i}) = f(w_{j,i}(x_i)) \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (\text{IV.4})$$

Plusieurs possibilités existent pour spécifier la nature de la fonction d'activation du modèle. Les fonctions mathématiques les plus souvent utilisées sont: La fonction seuil figure (IV.4) (a)

$$F(x) = 0 \quad \text{si} \quad x < 0 \quad (\text{IV.5})$$

$$F(x) = 1 \quad \text{si} \quad x \geq 0 \quad (\text{IV.6})$$

La fonction identité (dite linéaire) figure (IV.4) (b)

$$f(x) = x \quad \forall x \quad (\text{IV.7})$$

La fonction sigmoïde figure (IV.4) (c), dont les formes les plus utilisées sont la fonction logistique (II.7) et la fonction tangente hyperbolique (II. 8):

$$f(x)=\frac{1}{1+e^{-Kx}} \text{ (IV.8)}$$

$$f(x)=\frac{e^{Kx}}{e^{Kx}+1}=\tanh\left(\frac{K}{2}x\right) \text{ (IV.9)}$$

La valeur du paramètre K est généralement prise égale à 1. La fonction gaussienne d'écart type unité (fig. II-4 (d))

$$F(x)=e^{-x^2} \text{ (IV.10)}$$

Toutes ces fonctions sont continues et différentiables (sauf la fonction seuil). L'une des fonctions les plus souvent utilisées est la fonction sigmoïdale. En effet, elle assure le caractère non linéaire du modèle neuronal qui en fait une approximation universelle.

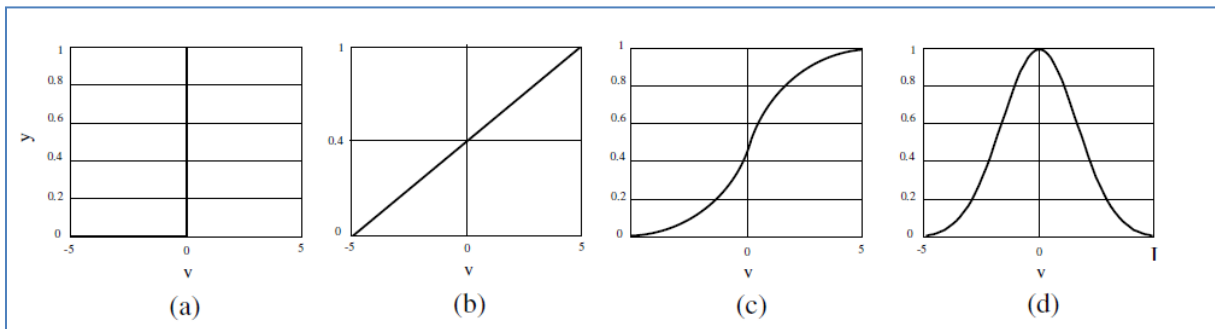


Figure (IV.4) Exemples de fonctions de transfert g: (a) seuil, (b) linéaire, (c) sigmoïde (logistique $K=1$) et (d) Gaussienne.

IV.4 Architecture des réseaux de neurones

IV.4.1 Les réseaux non bouclés

Ce sont des réseaux unidirectionnels sans retour arrière (feedforward). Le signal de sortie est directement obtenu après l'application du signal d'entrée. Si tous les neurones ne sont pas des organes de sortie, on parle de neurones cachés [30].

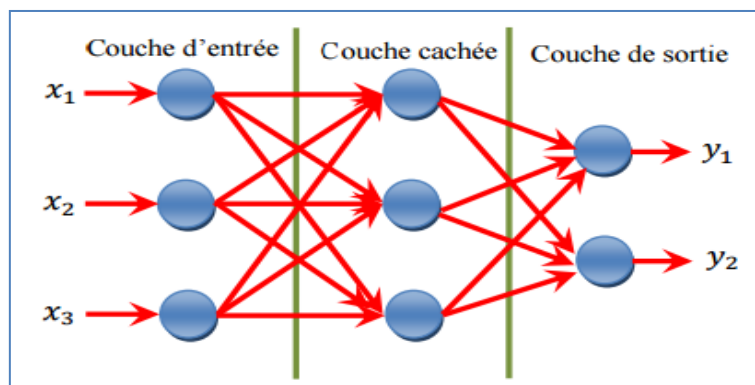


Figure (IV.5) Réseau non bouclé.

IV.4.2 Réseaux bouclés

Il s'agit de réseaux de neurones avec retour en arrière (feedback network ou récurrent Network) [31].

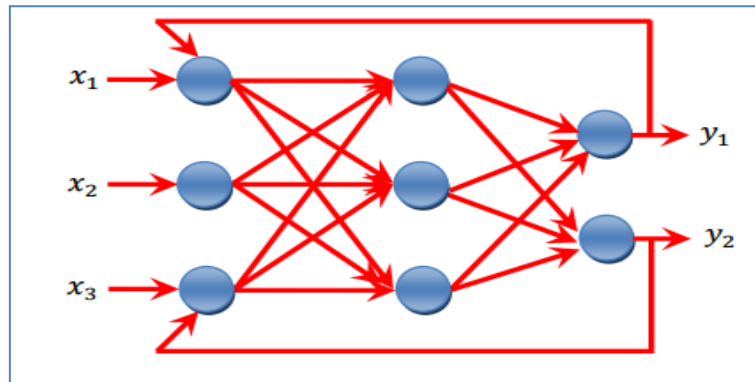


Figure (IV.6) Réseau bouclé

IV.5 L'apprentissage des réseaux de neurones

L'apprentissage se conduit avec une méthodologie précise. La première, est la plus simple, connue sous le nom de règle de HEBB, date de 1949. Elle indique que lorsque deux neurones sont excités en même temps, il faut modifier les coefficients synaptiques pour renforcer cette excitation simultanée. La règle de WIDROW HOFF, établie en 1960, indique que la modification de ses coefficients est proportionnelle à l'erreur entre le résultat souhaité et le résultat réel et aux valeurs d'entrée.

La phase d'apprentissage consiste à modifier les poids jusqu'à obtention d'une stabilisation du réseau. C'est-à-dire, jusqu'à ce que le poids ne se modifie plus que d'une façon minime.

L'apprentissage mathématique, basé sur ce concept, sert à minimiser une fonction de coûts formulée autour de l'erreur de sortie. Alors l'adaptation commence, par les neurones de la couche de sortie, forcés de la bonne valeur, puis on fait varier légèrement les poids des neurones des couches précédentes :

Il y a autant d'algorithmes d'apprentissage que de types de réseau. Mais la question qui se pose, est ce que on est absolument sûr de la stabilité du réseau ? Question classique qui revient assurer la convergence des algorithmes d'apprentissage utilisés.

Les procédures d'apprentissage peuvent se subdiviser, elles aussi, en deux grandes catégories [31].

IV.5.1 Apprentissage supervisé

Dans ce cas, la connaissance a priori de la sortie désirée est nécessaire. On présente au réseau le vecteur d'entrée puis on calcule sa sortie, cette dernière sera comparée avec la sortie désirée, ensuite les poids sont ajustés de façon à réduire l'écart entre elles. Cette procédure est répétée jusqu'à ce qu'un critère de performance soit satisfait.

L'apprentissage supervisé détermine les poids synaptiques à partir d'exemples étiquetés de formes auquel un professeur a associé des réponses ou des cibles désirées également étiquetées et grâce à une stratégie spécifique. Après la phase d'apprentissage et la convergence des calculs, il n'est plus nécessaire,

en général, de mémoriser le jeu d'apprentissage. Ces algorithmes sont particulièrement dédiés aux problèmes de classification des données bruitées ou incomplètes [33].

IV.5.2 Apprentissage non supervisé

Ne nécessite pas « d'enseignant » externe et se base uniquement sur les valeurs d'entrée sans fournir de réponse désirée. Le réseau s'auto organise de façon à optimiser une fonction de coût [33].

L'apprentissage non supervisé copie le fonctionnement du cerveau humain qui retrouve les informations par association. On présente à l'entrée du réseau des exemples connus et le réseau organise lui-même autour d'attracteurs qui correspondent à des configurations stables du modèle dynamique non linéaire associé au réseau.

L'apprentissage est accompli à l'aide de règles qui changent ou adaptent le poids des coefficients synaptiques en fonction des exemples présentés l'entrée et dans certains cas en fonction des sorties désirées

IV.6 Les principales règles d'apprentissage

Les stratégies des modifications des poids synaptiques sont dérivées des règles générales suivantes :

- La règle de HEBB ou les poids des connexions entre deux processeurs élémentaires est renforcé si les deux processeurs élémentaires sont activés simultanément.
- La règle de WIDROW HOFF ou règle delta règle ou les poids synaptique est adaptée pour obtenir la diminution de l'erreur entre la sortie réelle du processeur élémentaire et la sortie désirée.
- L'apprentissage compétitif dans lequel tous les processeurs élémentaires sont en compétition. La sélection est réalisée à l'aide d'un processus de compétition basé sur une mesure de similarité entre l'exemple de référence associé à chaque processeur et l'exemple d'entrée.

Les expressions précises des règles dépendent très étroitement de la nature des fonctions d'entrée totale, des fonctions d'activation et de la nature continue ou discrète des informations contenues dans les cellules des neurones.

La figure (IV.7) représente la cellule émettrice P_j connectée à la cellule réceptrice P_i par l'intermédiaire du poids synaptique W_{ij}

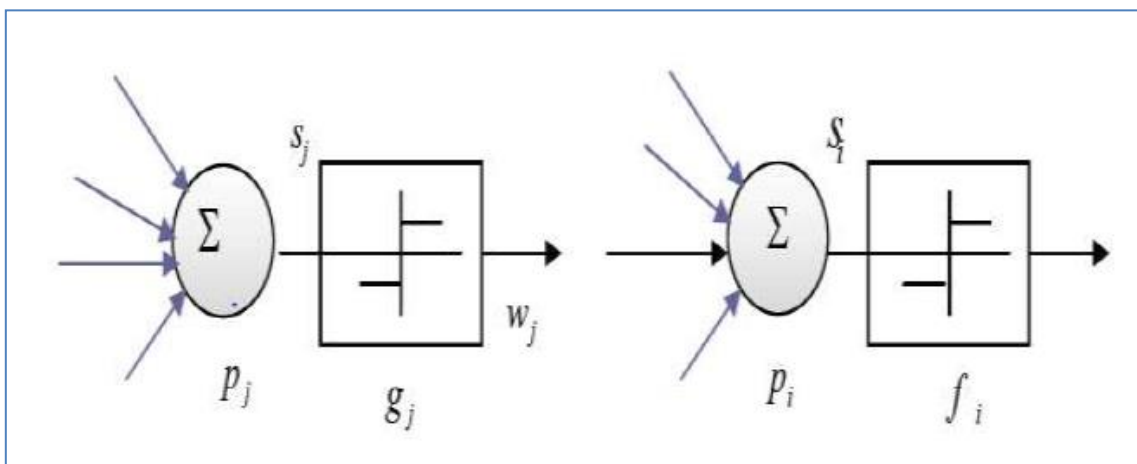


Figure (IV.7) Modèle d'apprentissage de la connexion W_{ij} entre deux neurones

$$\Delta W_{ij} = \alpha f_i(S_i, t_i) g_j(S_i, W_{ij}) \quad (\text{IV.11})$$

Avec : α : le pas d'adaptation

f_i et f_j : fonctions d'activations de P_i et P_j .

S_i et S_j : valeurs d'activations de P_i et P_j .

t_i : entrée professeur de P_i .

Dans la règle de HEBB, il n'y a pas de professeur et les fonctions f_i sont linéaires : le mécanisme d'adaptation se réduit à :

$$\Delta W_{ij} = \alpha S_i S_j \quad (\text{IV.12})$$

La règle de WIDROW HOFF, connue également sous le nom de Delta règle (ou Δ règle) nécessite un professeur et se formule en présence de fonctions d'activation linéaire sous la forme

$$\Delta W_{ij} = \alpha (t_i - S_i) S_j \quad (\text{IV.13})$$

Le modèle compétitif de type KOHONEN met en œuvre l'expression :

$$\Delta W_{ij} = \alpha (t_i - W_{ij}) \quad (\text{III.14})$$

Après la phase d'apprentissage, toute la mémorisation des connaissances est gravée dans le réseau. C'est la phase la plus longue en calcul connexionniste. Par contre, en phase de reconnaissance, si la forme à reconnaître a déjà été apprise, le réseau fournira instantanément la bonne sortie [33].

IV.7 Analyse et simulation de méthode d'extraction de puissance maximale par les RNA

Les résultats obtenues donner des bonnes performances, mais on a constaté qu'il toujours des oscillations autour de MPPT, un problème de suivi, un problème de temps de repense pour cette raison nous allons exploiter les réseaux de neurone.

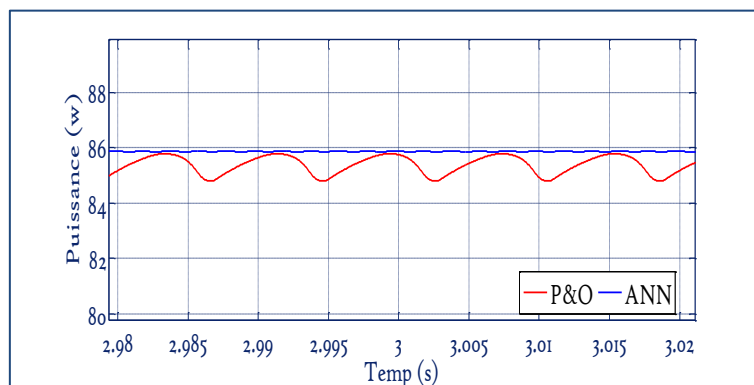


Figure (IV.8) RNA – P&O les oscillations.

D'après le figure (IV.8) on peut dire que P&O suivi normal, mais dans le cas de changement des rayonnements il y a un problème.

On remarque des oscillations très importante agressif qui vont provoquer des pertes de puissances donc la puissance fournie est la puissance moyenne.

IV.7.1 Comment développer le réseau neuronal artificiel

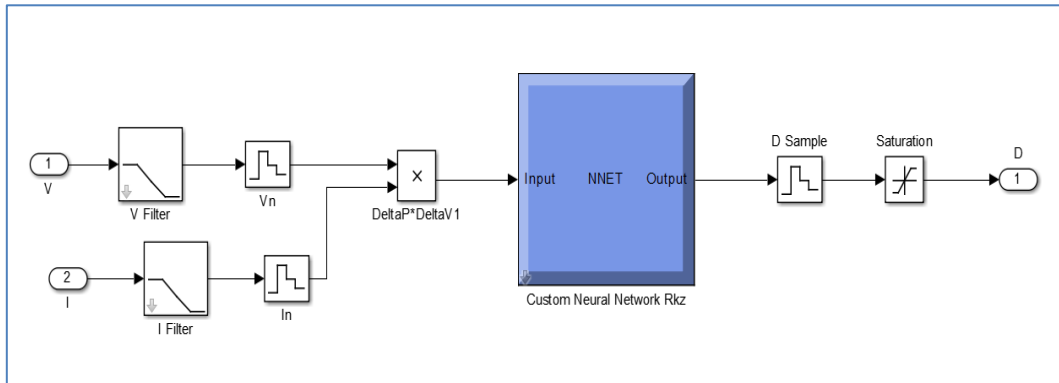


Figure (VI.9) Model Simulink d'un contrôleur ANN.

Afin de développer le contrôleur neuronal MPPT nous avons exploité les résultats de simulation obtenu par la méthode p&o, pour cela nous établissons un tableau, dont les entrées et la sortie sont : la puissance du panneau et le rapport cyclique correspondant a cette puissance comme le montre le tableau :

P	D
0	0
5	0
10	0
15	0
20	0
24.9462	28.39
24.9462	0.23
24.944	0.23
24.944	0.23
24.944	0.23
28	0.2241
33.25	0.2239
85.85	0.21
85.873	0.5054
85.873	0.5054
85.873	0.5054
148.9306	0.4991
148.985	0.69
148.985	0.69
148.985	0.69

Tableau (IV.1) Puissance de panneau et le rapport cyclique correspondant

Une fois les vecteur d'apprentissage sont déterminé, nous procédons à l'architecture et le nombre des couches cachés et nombre de neurone, plusieurs simulation vont permettre l'obtention d'un contrôleur dans la sortie neuronal est identique à la sortie donnée par la base d'apprentissage, la figure (IV.10)montre formation de RNA avec MATLAB :

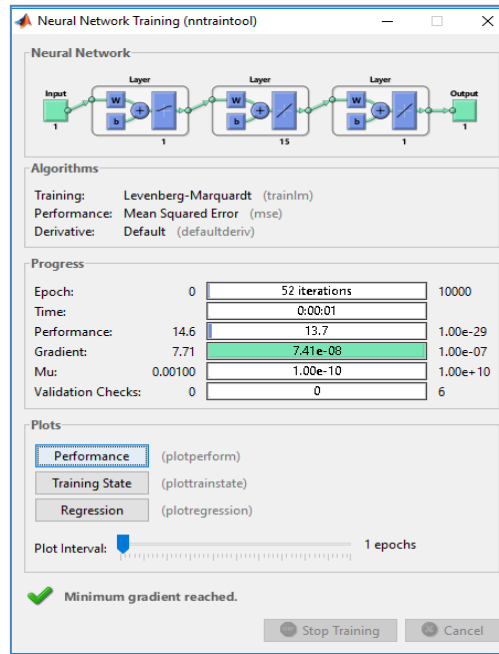


Figure (IV.10) Formation ANN avec MATLAB

Les figures (IV .11) et (IV .12) montrent les résultats de simulation d'un système PV commandé par un contrôleur neuronal :

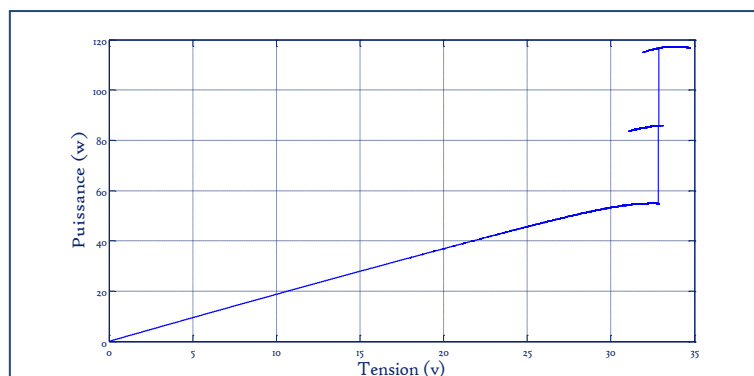


Figure (IV .11) Allure de puissance en fonction de la tension($T=25^{\circ} C$, $G=400,600,800 W/m^2$).

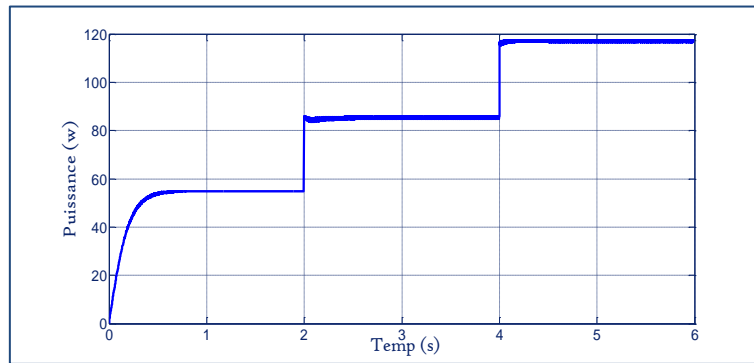


Figure (IV.12) Allure de puissance en fonction de la temps ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=400, 600, 800\text{ W/m}^2$).

D'après les figures (IV.11) et (IV.12) on remarque que le RNA il fonctionne bien dans les différents rayonnements.

IV.7.2 Comparaison des résultats des techniques de commande (RNA, 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.13) et (IV.14).

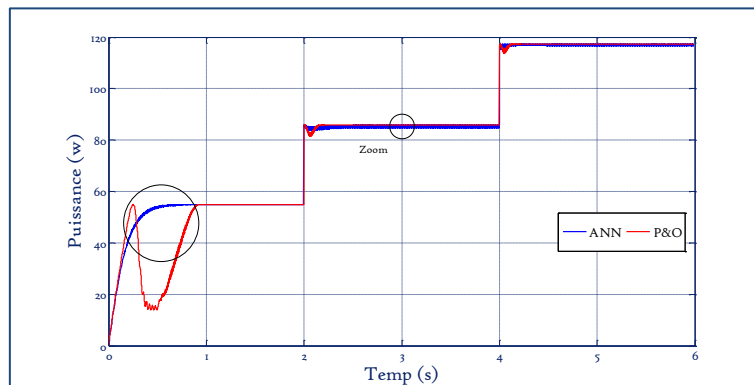


Figure (IV.13) RNA - P&O la puissance de sortie.

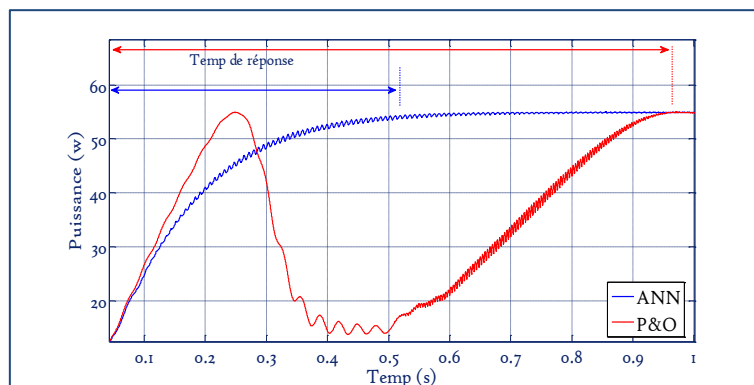


Figure (IV.14) RNA - P&O le temps de réponse.

Ces résultats confirment le bon fonctionnement du contrôleur P&O mais montrent également un meilleur fonctionnement du contrôleur neuronal. 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.8 Conclusion

Pour assurer le fonctionnement d'un générateur photovoltaïque à son point de puissance maximale, des contrôleurs MPPT sont souvent utilisés. Ces contrôleurs sont destinés à la poursuite PPM et à minimiser ainsi l'erreur entre la puissance de fonctionnement et la puissance maximale de référence qui est variable en fonction de la charge et des conditions climatiques [34].

Dans ce chapitre, nous avons détaillé les réseaux de neurones, nous avons montré les résultats de simulation de système photovoltaïque avec RNA d'un panneau (150W).

D'après les résultats de simulation nous avons démontré l'efficacité de l'algorithme MPPT à travers les résultats de la simulation.

Nous avons fini cette chapitre par Une étude comparative entre le contrôleur de puissance RNA à celle du contrôleur classique P&O a été présentée à travers d'une série de simulations.

On peut dire que les réseaux de neurones artificiels sont des outils de modélisation efficaces et puissants, leur robustesse réside dans la possibilité de prédire la sortie du réseau même si la relation avec l'entrée n'est pas linéaire voire inconnue.

Conclusion générale

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources naturelles de l'énergie telles que l'Uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières années. Pour couvrir les besoins en énergie, des recherches sont conduites à l'énergie renouvelable. Une des énergies renouvelables qui peut accomplir la demande est l'énergie solaire photovoltaïque, c'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 [32]

Le photovoltaïque montre une grande capacité du nombreuse avantage tels que l'énergie solaire est inépuisable et non polluante parce que l'énergie est propre et ne dégage pas le gaz à effet de serre et une énergie locale est pratique.

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 répondus 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 propose le principe de pas variable.

Dans le dernier chapitre, nous avons présenté les réseaux neurones et leur architecture puis nous montrons les résultats de simulation d'un système PV avec le contrôleur RNA-MPPT et la comparaison entre P&O et RNA.

Les résultats de simulation obtenue ont montré que le rendement d'un système photovoltaïque dépend essentiellement par le rayonnement mais aussi les dispositifs de commande. Malgré la variété des techniques d'extraction à savoir IC, P&O mais il nécessaire de les améliorés afin de réduire (les oscillations. Améliore le temps de réponse, suivi) pour cette raison a fin d'amélioré les performances d'un système photovoltaïque nous avons introduit les réseaux de neurones. Les résultats obtenus par les réseaux de neurones ont montré une meilleure efficacité mais ils nécessitent toujours une base d'apprentissage déterminé par d'autre méthode.

Le travail présenté dans ce mémoire peut être améliorée la validation expérimentale.

- [1] « PLANÈTE Énergies solaire », <http://www.futura-sciences.com/planete/definitions/energie-renouvelable-energie-solaire-6679/>
- [2] Mancini.F, « Traitement des déchets issus de la biomasse pour la génération d'énergie », thèse de doctorat université bordeaux I, 2006
- [3] Belloufi.Y, « Modélisation d'un échangeur air/sol dont le but de rafraichissement des locaux », mémoire de master, Université de Biskra, 2012
- [4] « L'énergie hydraulique en domaine terrestre », <http://www.planete-energies.com/fr/medias/l-energie-hydraulique-continentale-la-premiere-des-energies-renouvelables>
- [5] «Les énergies marines renouvelables » 2012,https://enautia.com/clubargon/disk/Partage/ERMs_ETM/eneaconsulting.pdf
- [6] BENCHARIF.S, «Variation des paramètres mécaniques pour l'optimisation du rendement d'une éolienne», mémoire de master, Université de Biskra, 2013
- [7] Hadj Belkecemi.M « Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé », Mémoire de Master, Université de Tlemcen, 2011
- [8] Bhatnagar.P, Nema R.K, « Maximum power point tracking control techniques: State-of-the-art in photovoltaic applications ». *Renew.Sustain. EnergyRev.* 23 (2013) 224–241.
- [9] Si brtahim.M , « Etude d'un système de conversion de l'énergie éolienne à base de la machine asynchrone », thèse de doctorat, Université de Tizi-Ouzou,2013
- [10] Amara.K, «Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyen tension », Mémoire de Master, Université de Tizi-Ouzou, 2015
- [11] Slama.F, « Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique », Mémoire de Magister, Université de Sétif, 2011
- [12] Belhadj.M, «Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome», Mémoire de magister, université de bechar, 2008.
- [13] Chekired.F, « Etude et implémentation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA», mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.
- [14] Djarallah.,M, «contribution à l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couplés au réseau électrique», Thèse de Doctorat en Science, Université de batna, 2008.
- [16] Makhlof.M «Etude et optimisation d'un modèle de conversion d'énergie photovoltaïque application», thèse de doctorat, Université de constantine, 2012.
- [17] Saidani.A, « Amélioration de la technique d'extraction de maximum de puissance de la système photovoltaïque basé sur la méthode (P&O) », mémoire de master, Université de M'sila 2015
- [18] Mekhilef.S, Saidur.R,Safari.A, « A review on solar energy use in industries », *Renew. Sustain. EnergyRev.* 15 (2011) 1777–1790.
- [19] Sahraoui.A..N,«étude d'une chaine de convertisseur photovoltaïque», Mémoire de magistère Université de Msila,2010
- [20] Walker,Geoff R« Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV Model », Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC '00,Brisbane. 2000.

- [21] CHEKIRED.F, "Etude et implémentation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA", Mémoire de Magister de l'Ecole Nationale Polytechnique 2008.
- [22] Ali.C, "Etude de la Poursuite du Point de Fonctionnement Optimal du Générateur Photovoltaïque (G. PV) ", SETIT 2005 3rd International Conférence: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Télécommunications March 27-31, tunisia 2005.
- [23] Schmitt. A , "Les réseaux de neurones artificiels un outil de traitement de données prometteur pour l'anthropologie", Bull. et Mém. de la société d'anthropologie de Paris, 2001 .
- [24] Mezache.A, "optimisation de la détection décentralise CFAR dans un clutterweibull utilisant les algorithmes génétiques et les réseaux de neurones flous", thèse de doctorat, université de Constantine, 2009
- [25] Kaddour .B, "cours de réseaux de neurones", Département INFRES ENST, Paris, Brique MOD T2, 2004-2005
- [26] DUPONT.R, "Emissions biogéniques de NO par les sols Impact sur la chimie atmosphérique", Thèse de doctorat, université Toulouse III – Paul Sabatier, 2007
- [27] A. Mezache, "optimisation de la détection décentralise CFAR dans un clutterweibull Utilisant les algorithmes génétiques et les réseaux de neurones flous", Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2009
- [28] Hadjab.M, "développement des performances d'un système photovoltaïque", Université de midi bel abbes, Mémoire de magister, 2011
- [29] Gereige .I, "Contribution des réseaux de neurones dans le domaine de l'ellipsométrie. Application à la scatterométrie", thèse de doctorat, université de Saint-Étienne, 2008
- [30] Mrabti .T, El Ouariachi.M, Kassmi.K et Tidhaf .B, " Characterization and Modeling of the Optimal Performances of the Marketed Photovoltaic Panels ", Moroccan Journal of Condensed Matter MJCM, Vol. 12, Issue 1, pp. 7 – 13, 2010.
- [31] Loukriz .A, "optémisation de la modélisation et de la commande d'un système PV par la technique d'intelligence artificielle", Uémoir de magister, Université de M'sila, 2014
- [32] Jean-Luc. B, "Réseau de Neurones Artificiels pour la classification des fontes Arabes et la distinction entre la langue Arabe et les langues Latines", Thèse de Doctorat, Université de Fribourg, Suisse, Juin 2003.
- [33] Azouz .H, Zouhir .B, "diagnostic des défaillances par la technique de réseau de neurone artificiel appliqué sur la machine synchrone a aimants permanents", Mémoire d'ingénieur , Université de M'sila, 2005.
- [34] Belhachat.F, Larbes.C, Barazane.L, Kharzi.S, "Commande neuro-floue d'un hacheur MPPT", 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP'2007
- [35] TRIQUI.B, " Classification des arythmies cardiaques par les chaînes de Markov cachées", Mémoire de Magister, Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2010.

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

DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

SPECIALITE : RESEAUX ELECTRIQUES

Année Universitaire : 2016 / 2017

Proposé par : **Mr. MESSALTI Sabir**

Présenté par : - **RAKZA Badreddine**

- **OUANAS Souhila**

Thème :

MODÉLISATION ET COMMANDE DU SYSTÈME PV PAR LES RÉSEAUX DE NEURONES

ملخص :

التشغيل السليم لنظام الطاقة الشمسية يعتمد على الظروف المناخية مثل الإضاءة ودرجة الحرارة، على سبيل المثال في محطة متنقلة تعمل بالطاقة الشمسية، إنتاج الطاقة الكهربائية يتقلب حسب تغير أشعة الشمس .
يكون نظام الطاقة الشمسية جيد عندما يتم إنتاج طاقة كهربائية أعظمية تحت جميع ظروف الاستخدام.
في هذا العمل قدمنا في البداية عموميات حول الطاقة الشمسية، كما عملنا تصميم للوح شمسي ذو استطاعة (150 واط) و استعملنا عدة تقنيات مراقبة مثل تقنية الاضطراب و المراقبة التي لاحظنا أن لديها سلبيات تحتاج الى تحسين و لهذا قدمنا الشبكات العصبية الاصطناعية لتحسين هذه السلبيات، وفي الأخير، عملنا مقارنة بين التقنيتين .
كلمات مفتاحية : نظام الطاقة الشمسية، لوغاريتمية الاضطراب و المراقبة ، شبكة الأعصاب الاصطناعية.

Résume :

La bonne exploitation d'une installation photovoltaïque dépend des conditions météorologiques telles que l'éclairement et la température, en effet par exemple dans une station mobile alimentée par une source photovoltaïque, la puissance débitée par le générateur PV subit des fluctuations lors du changement de direction ou durant le passage dans des endroits mal ensoleillés.

Autrement dit, une bonne installation photovoltaïque, est celle où la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque est maximale quelques soient les conditions d'utilisation.

Dans ce document, nous avons présenté en premier temps généralités sur le système PV, puis nous avons procédé la modélisation du panneau PV de (150W) et nous avons utilisé plusieurs techniques du contrôle de MPPT à savoir P&O et nous avons constaté qu'il présente que cette méthode présente toujours des inconvénients nécessitent des améliorations pour cela nous avons introduire les réseaux de neurone afin de limiter les inconvénients de la méthode P&O ,Finalement, nous avons fait un comparaisn entre les deux technique présenté et analysé .

Mots clés : Système photovoltaïque, MPPT, l'algorithme perturbation et observation (P&O), Les réseaux de neurones (RNA).

N° d'ordre : RE-264