

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا



Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

N° d'ordre : M...../GE/2022

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Electrique

Spécialité : énergies renouvelable

Intitulé du sujet

Détection de défauts de panneau solaire par réseau de neurones

Présenté par :

- BELARBI AMEL
- AZZA HANANE

Soutenu le 12 / 07 / 2022 devant jury composé de :

Président :	Mr .B. Bekkouche	Professeur	Université de Mostaganem
Examineur :	Mr. A. Kouadria	MCB	Université de Mostaganem
Encadreur :	Mr. M. Daoud	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

Au terme de ce modeste travail

Nous tiendrons à adresser nos vifs remerciements à:

Tout d'abord notre seigneur Dieu "ALLAH" de nous avoir donné la force et la volonté pour arriver jusque-là.

A nos parents, nos frères et nos sœurs Qui nous ont fourni une aide décisive durant ces années en énergie renouvelable : sans leur soutien et encouragement nous ne serions jamais arrivées à ce point-là.

Nous remercions notre encadreur *Mr Daoud Mohamed * pour les efforts qu'il a déployés, pour nous aider, conseiller, encourager et corriger.

On remercie également les membres du jury qui nous ont honorés d'avoir accepté d'évaluer ce modeste travail.

Enfin, Nos remerciements vont à toute personne ayant contribué à l'élaboration de ce travail.

Merci à tous ceux qui nous ont profondément soutenu tout au long de cette année et à tous ceux qui nous ont permis de progresser dans la spécialité d'énergie renouvelable durant nos études..

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mon cher père qui m'a soutenu toute sa vie et qui m'a donné tout le bien être afin de réussir tout ce que j'ai entrepris durant tout mon parcours : primaire ; secondaire et plus particulièrement universitaire.

A ma chère maman qui m'a éclairée mon chemin et qui m'a encouragé et soutenue toute au long de mes études.

A mes grands parents et surtout A la mémoire de ma chère grand-mère «Mimti» qui a toujours souhaité ma réussite pour obtenir mo, diplôme. Je prie Dieu, le tout-puissant de l'accueillir dans son vaste paradis.

A mes chères frères «Mohammed , Lakhdar» et mes chères sœurs « wafaa et zahra et Amina et leurs enfants .

A mon fiancé Fethi et sa famille.

A tout la familles : Belarbi– Chachou .

A toutes mes amis

A tout mes amis de la promotion 2021/2022 à Mostaganem .

A tout mes enseignants .et le corps de département

A tout qui de loin ou de prés nous ont aidés.

Belarbi Amel

Dédicaces

Je dédie ce travail :

- ✓ *A ma chère mère et à mon cher père,*
- ✓ *A mes frères et fiancé, Baizid Mohamed Amine ,*
- ✓ *Pour toute ma famille,*
- ✓ *A ma chère amie Belarbi Amal,*
- ✓ *Tous mes amis,*
- ✓ *A tous mes camarades de classe, promotion 2022.*

Je ne peux pas terminer ma dédicace sans rendre hommage au « Dr Daoud Mohamed » simplement parce qu'il m'a donné une si grande partie de l'énergie nécessaire pour terminer ce travail.

Azza hanane.

Résumé

Les caractéristiques de sortie des panneaux photovoltaïques ne sont pas linéaires et varient avec la température des cellules et le rayonnement solaire. La méthode de suivi du point de puissance maximale (MPPT) est utilisée pour maximiser la puissance de sortie d'un générateur photovoltaïque grâce au suivi continu du point de puissance maximale (MPP). De toutes les méthodes MPPT trouvées dans la littérature, la perturbation et la surveillance (P&O) est la plus largement utilisée en raison de sa simplicité et de sa facilité de mise en œuvre ; cependant, elle souffre de certains inconvénients tels qu'une réponse lente, une oscillation autour du MPP en régime permanent, et même Un mauvais suivi peut se produire avec des conditions atmosphériques changeantes (notre exemple d'ombrage partiel). À cet égard, les effets négatifs associés à de tels Les défauts peuvent être considérablement réduits si des concepts d'intelligence artificielle (IA) sont utilisés. À l'aide d'un réseau de neurones artificiels (RNA), nous détecterons et localiserons l'ombrage partiel et le court-circuit.

Mots-clés: Système PV, commande MPPT, réseaux de neurones, modélisation, simulation, caractéristiques, performance..

Abstract

The output characteristics of photovoltaic panels are not linear and vary with cell temperature and solar radiation. The maximum power point tracking (MPPT) method is used to maximize the power output of a photovoltaic array through continuous maximum power point (MPP) tracking. Of all the MPPT methods found in the literature, Perturbation and Monitoring (P&O) is the most widely used due to its simplicity and ease of implementation; however, it suffers from some drawbacks such as slow response, oscillation around the steady-state MPP, and even poor tracking can occur with changing atmospheric conditions (our partial shading example). In this regard, the negative effects associated with such defects can be significantly reduced if artificial intelligence (AI) concepts are used. Using an artificial neural network (ANN), we will detect and locate the partial shade and short circuit.

Keywords: PV system, MPPT control, neural networks, modeling, simulation, characteristics, performance

ملخص

خصائص خرج الألواح الكهروضوئية ليست خطية وتختلف مع درجة حرارة الخلية والإشعاع الشمسي. تُستخدم طريقة تتبع نقطة الطاقة القصوى (MPPT) لتعظيم خرج الطاقة لمجموعة الخلايا الكهروضوئية من خلال التتبع المستمر لنقطة الطاقة القصوى (MPP). من بين جميع طرق MPPT الموجودة في الأدبيات ، يعد Perturbation and Monitoring (O&P) هو الأكثر استخدامًا نظرًا لبساطته وسهولة تنفيذه ؛ ومع ذلك ، فإنه يعاني من بعض العيوب مثل الاستجابة البطيئة ، والتذبذب حول حالة MPP المستقرة ، وحتى التتبع السيئ يمكن أن يحدث مع تغير الظروف الجوية (مثل التظليل الجزئي لدينا). في هذا الصدد ، يمكن تقليل الآثار السلبية المرتبطة بمثل هذه العيوب بشكل كبير إذا تم استخدام مفاهيم الذكاء الاصطناعي (AI). وباستخدام الشبكة العصبية الاصطناعية (ANN) ، سنكتشف الظل الجزئي و دائرة مقصورة ونحدده .

الكلمات المفتاحية :

نظام PV ، تحكم MPPT ، الشبكات العصبية ، النمذجة ، المحاكاة ، الخصائص ، الأداء.

Table des matières

Introduction Générale :.....	
Chapitre I : GENERALITE SUR LES GENERATEURS PHOTOVOLTAÏQUES.	
I.1. Introduction :.....	2
1.2. Historique :.....	2
I.3. l'énergie solaire photovoltaïque :	2
1.3-1. Spectre solaire :.....	2
1.3.2. Rayonnement solaire :	3
I.3.3. L'effet photovoltaïque :	3
I.4. La cellule photovoltaïque :.....	4
I.4.1 Principe de fonctionnement :.....	4
I.4.2. Les type des cellules :.....	5
I.4.2.1.Les cellules au silicium cristallin :	5
I.4.2.2.Les cellules en couches minces :	6
I.4.2.3. Les cellules organiques :	6
I.4.3. Caractéristique électrique d'une cellule PV :.....	6
I.5. Générateur PV :.....	8
I.5.1. Module PV :	8
I.5.2. String PV :.....	8
I.5.3. Champ PV :	8
I.6. Description générale d'un système de conversion photovoltaïque :.....	8
I.6.1.le convertisseur DC-DC :	8
I.6.2. Le Principe de fonctionnement du hacheur BOOST :.....	9
I.6.3. Le fonctionnement optimal du générateur photovoltaïque :	9
I.6.3.1.principe de la recherche du MPPT :	9

I.6.3.2. Algorithmes MPPT :.....	10
I.6.3.3. -principe de l’algorithme« Perturbe and observe (P&O) :	10
I .7 Conclusion :	11
<i>Chapitre II : Les Défaits dans les Systèmes Photovoltaïques .</i>	
II.1. Introduction :	12
II.2.Modélisation d’une cellule solaire :	12
II.2.1-Photo-courant :	13
II.2.2. Courant de saturation de la diode :	13
II.2.3. Paramètres de performance d’une cellule :	14
II. 2.3.1 . Tension de circuit ouvert :.....	14
II.2.3.2. Courant de court-circuit :	15
II.2.3.3. Puissance débitée :	15
II.2.3.4. Facteur de forme :	15
II.2.3.5. Rendement de conversion :	15
II.3 Modélisation d’un champ PV en fonctionnement sain :.....	15
II.4. Défaits dans le système photovoltaïque :.....	17
II.5.Methodes de diagnostic d’un champs pv :.....	19
II.5.1. Méthode de détection des défauts :.....	19
II. 5.2 .Méthodes non-électriques :	19
II. 5.2 .1. Inspection visuelle :.....	19
II. 5.3. Méthodes électriques :	19
II.6. Les différents types de défauts :	20
II. 6.1 .Défaut de mis match :	20
II. 6.2. Défaut d’ombrage :	20
II.6.3. Défaut de diodes de by-pass :	21
II.6.4 Défaut de diode anti-retour :.....	21

II.6.5 .Défauts de température :	22
II.7. Conclusion :	22
Chapitre III : Réseaux de neurones	
III .1. Introduction :	
III .2 .Historique des RNA	23
III.3.Définition du réseau de neurone :	23
III.3.1.Généralités sur les neurones :	23
III .3.2 .Circuits neuronaux.....	24
III .3.2.1. Neurone formel (artificiel).....	24
III .3.2.2. Neurone Biologique	26
III .4 .Le principe de fonctionnement :	26
III.5. Les réseaux de neurones les plus utilisés :	27
III.5.1 Perceptron à une seule couche :	27
III .5.1.1. La convergence du perceptron	28
III.5.2. Perceptron Multi Couches (PMC)	28
III.6. Architecture des réseaux de neurones artificiels :	28
III.7 .L'Apprentissage des Réseaux de Neurones	29
III.7 .1. Apprentissage supervisé :	29
III.7.2. Apprentissage non supervisé :	29
III.8. Application des réseaux de neurones :	29
III.9 Conclusions :	29
CHAPITRE IV : SIMULATION ET RESULTATS.....	
IV.1 Introduction :	30
IV.2 Description du système PV utilisé:	30
IV.3. Simulation	31
IV.3.1. Le modèle par simulink du système photovoltaïque :	31

IV.3.2 Caractéristiques électriques des modules photovoltaïques:	32
IV.3.3. Etude des trois paramètres de MPPT (I_{mpp} , V_{mpp} et P_{mpp}) par Simulink en fonction de temps.	35
IV.3.4. Influence de l'éclairement et la température sur les caractéristiques électriques de PV	36
IV.3.5. Etude des défauts.....	38
IV.3.5.1. Défaut de l'ombrage.....	
IV.4. Classification des défauts	Erreur ! Signet non défini.
IV.4.1 Le classifieur utilisé:	42
IV.4.2 Stratégie de détection et de diagnostic :.....	42
IV.4.3 Elaboration de base de données :	49
IV.4.4 description de réseaux:.....	48
IV.4.5. Phase d'apprentissage :.....	45
IV.4.6. Etude de la performance du classifieur	46
IV.5. Conclusion:	48
Conclusion Générale et Perspectives :	
Références Bibliographiques.....	Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

Chapitre 1 :	
Figure I.1 : Analyse spectrale du rayonnement solaire	3
Figure I.2 : Rayonnement solaire globale sur un collecteur photovoltaïque.....	3
Figure I.3 :Algorithme type de la méthode P&O.....	4
Figure I.4 :: Rayonnement solaire globale sur un collecteur photovoltaïque	5
Figure I.5 : Cellules au Silicium Monocristallin.....	5
Figure I.6 : Film photovoltaïque en silicium nanocristallin.....	6
Figure I.7: Exemple d'une cellule organique.....	6
Figure I.8 : Caractéristique électrique d'une cellule PV.....	7
Figure I.9 : Étage d'adaptation entre un GPV et une charge	9
Figure I.10 : Le convertisseur BOOST.....	9
Figure I.11 :Diagramme BOOST en position 1et b) diagramme BOOST en position 2..	10
Figure I.12 : Algorithme type de la méthode P&O.....	12
Chapitre II :	
Figure II.1 : Circuit équivalent simple d'une cellule solaire idéale, à résistance série et shunt.....	13
Figure II.2 : Les caractéristiques I-V et P-V d'une cellule	15
Figure II.3 : Classification des méthodes de détection des défauts.....	19
Figure II.4 : les défauts visuels.....	20
Figure II.5 : Schéma bloc d'un groupe de cellules PV avec la diode de bypass défaillante	22
Figure II.6 : Schéma bloc d'un champ PV avec la diode anti-retour avec ses défauts.....	22
Chapitre III :	
Figure III.1: Un neurone avec son arborisation dendritique.....	25
Figure III.2: Modèle de base d'un neurone formel.....	25
Figure III.3: Neurone biologique.....	26
Figure III.4 : Réseau de Neurones.....	27
Figure III.5 : Réseaux de neurones les plus utilisés.....	27
Figure III.6 : Architecture réseau neuronal	29
Chapitre IV :	
Figure IV.1: système PV utilisé.....	31
Figure IV.2 : Modèle Simulink avec MPPT du système PV.....	33

Figure IV.3 : Allure de le courant en fonction de la tension à $T=25C^{\circ}$ $G=1000W/m^2$).....	34
Figure IV.4 : Allure de la puissance en fonction de la tension à $T=25C^{\circ}$ $G=1000W/m^2$).....	34
Figure IV.5 : Evolution de I_{mpp} en fonction de temps	35
Figure IV.6: Evolution de V_{mpp} en fonction de temps.....	35
Figure IV.7: Evolution de P_{mpp} en fonction de temps	35
FigureIV.8:Caractéristique $I(v)$ pour différentes niveaux de l'éclairement $T=25^{\circ}C$).....	36
FigureIV.9:Caractéristique $p(v)$ pour différentes niveaux de l'éclairement ($T=25^{\circ}C$).....	37
Figure IV.10 : Caractéristique $I(v)$ pour différentes température ($G=1000W/m^2$).....	37
Figure IV.11 : Caractéristique $P(v)$ pour différentes température ($G=1000W/m^2$).....	38
Figure IV.12 : a) En haut un module PV ombré b) En bas deux modules PV ombrés.....	39
Figure IV.13 : Schéma bloc de trois modules en série.....	39
FigureIV.14:Caractéristiques (I-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage	40
Figure IV .15 : Caractéristiques (P-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage	40
Figure IV.16 : a) En haut un module PV court-circuité b) En bas deux modules PV court- circuités.....	41
Figure IV.17 : Caractéristiques (I-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet des diodes by-passes.....	42
Figure IV.18 : Caractéristiques (P-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet des diodes by-passes.....	42
Figure IV.19 : Un perceptron multicouche avec une couche cachée.....	43
Figure IV.20 : le MLP construit par le Matlab.....	44
Figure IV.21 : validation performance.....	46
Figure IV.22: matrice confusion apprentissage($M=10$).....	47
Figure IV.23 : matrice confusion apprentissage($M=20$).....	48
Figure IV.24. matrice confusion apprentissage($M=30$).....	49
Figure IV.25. matrice confusion apprentissage($M=40$).....	49

Liste des tableaux :

Chapitre II :	
Tableau II -1: Classification des défauts et les anomalies d'un GPV.....	18
Tableaux II.2 : impact des différents défauts sur les paramètres de la cellule.....	21
Chapitre IV :	
Tableau IV.1 Fiche signalétique du module PV	32
Tableau IV.2 : Les paramètres électriques du module PV dans des conditions d'essai standard.....	32
Tableau IV.3 :les cas opérationnel étudié ainsi que leurs codes.....	46
Tableau IV.4 :les résultats obtenus du classificateur MLP.....	47

Liste des acronymes :

PV: Panneau Photovoltaïque.

GPV: Générateur Photovoltaïque.

DC: Courant Continu (Direct Current).

AC: Courant Alternatif (Alternative Current).

MPPT: (Maximum Power Point Tracking).

MLP : Multi-Layer Perceptron.

RBF : Radial Basis Function.

Imp: le courant de puissance maximale.

Vmp : la tension de puissance maximale.

FF: Facteur de forme.

Vco: Tension du circuit-ouvert [V].

Icc : Courant de court-circuit [A].

Rsh: Rp: Resistance shunt (parallèle) [ohm].

Rs: Resistance série [ohm].

k: Constante de Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23}$ [J/K].

q: Charge de l'électron = $1,602 \cdot 10^{-19}$ [Coulomb].

a: Facteur de qualité de la diode.

Iph: Photo –courant, ou courant photo-généré par l'éclairement(A).

I0 : Courant de saturation de la diode (A).

Vt: La tension thermique (V).

Ns : nombre de cellules.

Ng : nombre de goupes.

Nm : nombre de modules.

Ns : nombre de stings.

Max : maximum

Min : minimum.

V : tension (volt).

I : le courant (A) fourni par la cellule PV.

P : la puissance.

η : Le rendement .

G : éclairement(W /m²).

Z: impédance .

R : résistance.

T : la température .

Pmax: la puissance maximale.

R : résistance.

T : la température .

Irr : le courant d' irradiation .

Introduction Générale :

La production d'énergie présente un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des secteurs industriels ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement. Actuellement, la production mondiale d'énergie dans une grande partie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Un autre danger est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit le stock de ce type d'énergie d'une façon dangereuse, c'est le cas de notre pays [1].

L'énergie solaire photovoltaïque est récemment répandue à travers le monde, elle est en forte croissance depuis quelques années est reconnu comme étant une technologie moins chère, elle est à la fois saine, partagée par tous les habitants du globe terrestre, inépuisable, pure, gratuite et ne demande pas la création de nouvelles lignes électriques qui demande généralement un lourd investissement. Grâce à ses avantages, de nombreuses études sont menées pour son développement [2].

L'Algérie est un pays riche en énergie solaire par rapport à son taux d'irradiation. La superficie immense du Sahara permet une grande exploitation de l'énergie solaire.. Il reste alors à établir une politique sérieuse dans le cadre de l'exploitation de ces immenses potentiels énergétiques. Un pas est lancé dans ce sens après la signature du chef de l'état en 2009 d'un décret qui retranche 0.5% de la fiscalité pétrolière pour le développement des énergies renouvelables [3].

Le fonctionnement d'un générateur photovoltaïque n'est jamais à l'abri de défauts et anomalies pouvant l'affecter et par conséquent diminuer ses performances en termes de production d'énergie. Pour pallier ces problèmes, la mise en place d'un système de détection et localisation des défauts est d'autant nécessaire.

Dans cette mémoire, nous nous intéressons plus particulièrement à la détection et à l'identification des défauts du système PV., à savoir le réseau de neurones coté générateur PV. Dans le premier chapitre, nous allons présenter des généralités sur les générateurs PV. Le second chapitre sera réservé à la présentation d'un ensemble de défauts pouvant affecter le fonctionnement d'un GPV et la modélisation de ces panneau après dans le troisième chapitre nous allons présenter le classifieur utilisé le réseau de neurones et en dernier chapitre nous allons présenter les simulations et résultats obtenus dans notre travail et finalement ,Nous finirons par une conclusion générale.

Chapitre I
GENERALITES SUR LES
GENERATEURS
PHOTOVOLTAÏQUES.

I.1. Introduction :

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe d'une partie de la lumière en électricité. L'énergie photovoltaïque, générée par le rayonnement solaire, est la forme d'énergie renouvelable la plus prometteuse. L'énergie solaire est convertie en électricité par des panneaux solaires constitués de plusieurs cellules photovoltaïques. Les cellules photovoltaïques sont les principaux composants qui convertissent l'énergie lumineuse du soleil directement en électricité.[1]

1.2. Historique :

Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis plusieurs années. Les applications ont commencé avec des programmes spatiaux pour les transmissions radio à partir de satellites. Ils continuent d'utiliser des balises et des dispositifs marins dans des endroits isolés à travers le monde, en utilisant des batteries pour stocker l'électricité pendant des heures à l'abri du soleil.[3]

I.3. l'énergie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons, (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique. Ce courant continu de micropuissance calculé en watt (W) peut être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur.

L'électricité produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stockée en batteries (énergie électrique décentralisée) ou en électricité injectée dans le réseau.

Un générateur solaire photovoltaïque est composé de modules photovoltaïques eux même composés de cellules photovoltaïques connectées entre elles [6].

1.3-1. Spectre solaire :

Le spectre solaire est la répartition spectrale en fonction de la longueur d'onde (λ) ou de la fréquence (ν). La longueur d'onde du rayonnement électromagnétique émis par le soleil varie entre 0,22 et 10 microns. (Figure I.1) représente l'évolution de la distribution du spectre d'énergie. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose comme suit:

- 6,4% dans la bande des ultraviolets ($0,20 < \mu < 0,38 \mu\text{m}$)
- 48% dans la bande visible ($0,38 < \mu < 0,78 \mu\text{m}$)

- 45,6% dans la bande des infrarouges ($0,78 < \mu < 10 \mu\text{m}$) [2]

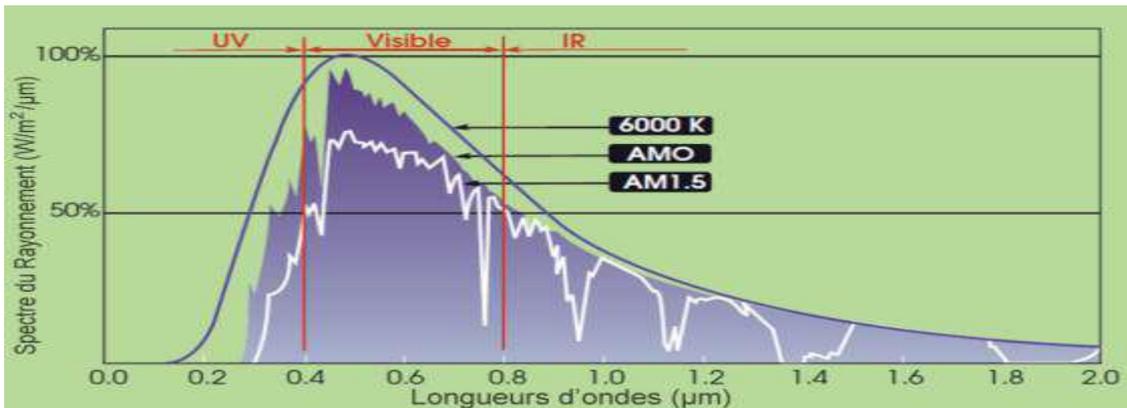


Figure I.1 : Analyse spectrale du rayonnement solaire.[2]

1.3.2. Rayonnement solaire :

Le soleil est l'une des nombreuses étoiles. Son diamètre est de 1,39 million de kilomètres, soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé de 80% d'hydrogène, 19% d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments. Au sol, le rayonnement a au moins deux composantes : une composante directe et une composante diffuse (rayonnement incident diffusé ou réfléchi par des obstacles : nuages, sol), dont la valeur dépend de la pression, de l'altitude et de l'angle du rayon incident. L'intégration du rayonnement sur tout le spectre permet d'obtenir la puissance $P(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$ apportée par le rayonnement. Pour simplifier, nous utilisons les concepts suivants.

- AM0 : Hors atmosphère (application spatial). $P = 1.36 \text{ KW} \cdot \text{m}^{-2}$.
- AM1 : le soleil est au zénith du lieu d'observation (à l'équateur).
- AM2 : spectre standard, le soleil est à 45° . $P = 1.36 \text{ KW} \cdot \text{m}^{-2}$. [2]

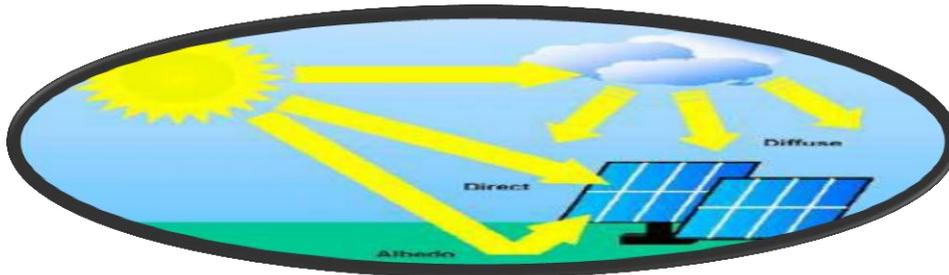


Figure I.2 : Rayonnement solaire globale sur un collecteur photovoltaïque.[2]

1.3.3. L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque est le processus de conversion de la lumière en électricité. Il a été découvert pour la première fois par Henri Becquerel lorsqu'il a immergé une feuille de platine (Pt) recouverte d'une fine couche de chlorure d'argent dans une solution électrolytique, puis a éclairé la feuille tout en étant connectée à une contre-électrode. L'énergie photovoltaïque désigne l'énergie captée à partir de la lumière du soleil par des panneaux photovoltaïques et

convertie directement en électricité. C'est le résultat de la conversion directe des photons en électrons dans un semi-conducteur.

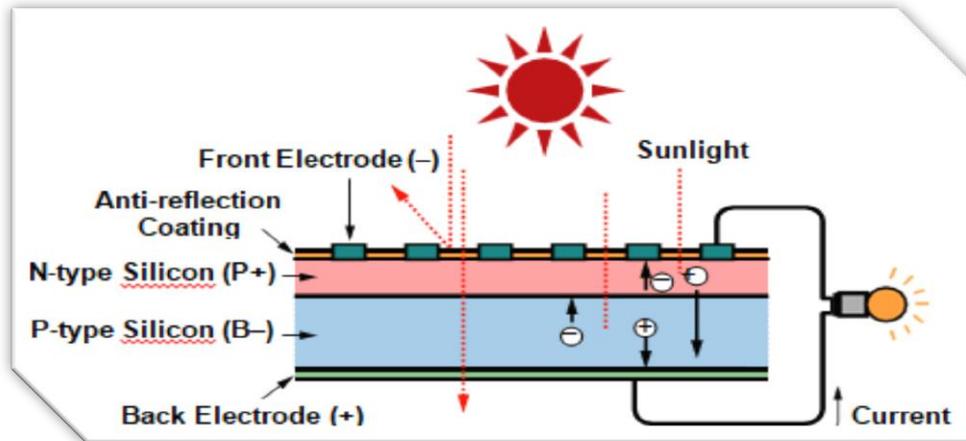


Figure I.3 : Effet photovoltaïque dans une cellule solaire.[10]

I.4. La cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui génère de l'électricité lorsqu'il est exposé à des photons. Cet effet photovoltaïque a été découvert par le physicien français Antoine Becquerel en 1839.[6]

I.4.1 Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement des cellules photovoltaïques repose sur les propriétés des semi-conducteurs, qui initient le flux d'électrons lorsqu'ils sont frappés par des photons. Les photons sont des particules élémentaires qui transportent l'énergie solaire à une vitesse de 300 000 km/s. Le silicium est dérivé de la silice, dont une forme est le quartz, qui est très abondant dans le sable.[5]

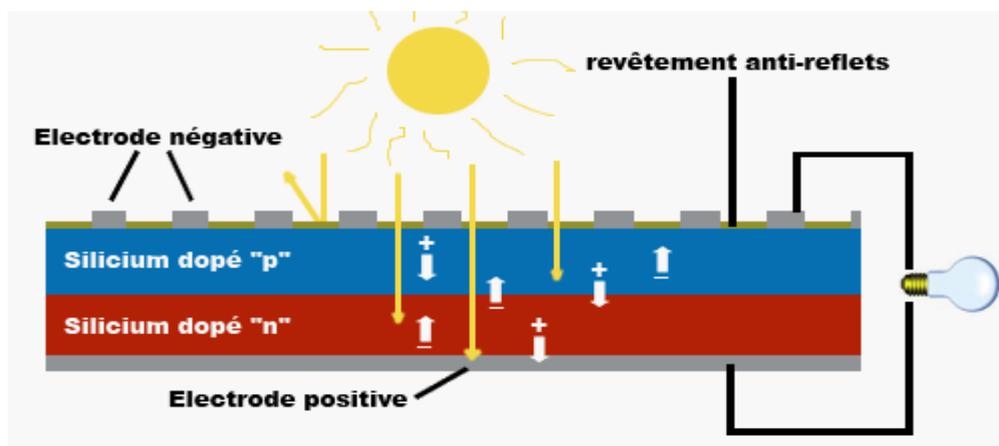


Figure I.4 : Effet photovoltaïque dans une cellule solaire.[4]

I.4.2. Les type des cellules :

On distingue trois grandes familles de cellules. Leurs rendements sont en perpétuel progrès. [4]-[5]

I.4.2.1. Les cellules au silicium cristallin :

Les cellules au silicium représentent plus de 95 % du marché et les produits commerciaux ont des rendements moyens compris entre 16,5% et 22 %, selon leur technologie. Par traitement à froid, le silicium est formé de plusieurs cristaux (poly cristallins). Il est facile à produire et peut atteindre un rendement de plus de 22% en laboratoire. Le silicium fondu peut reconstituer dépassant 22 % en laboratoire. Fondu, le silicium peut être reconstitué en un grand cristal (monocristallin), avec un rendement jusqu'à 26,6 % en laboratoire.



Figure. I.5 : Cellules au Silicium Monocristallin.[5]

I.4.2.2. Les cellules en couches minces :

Au lieu de découper le silicium en tranches minces d'environ 200 microns, les matériaux semi-conducteurs peuvent être déposés en couches de quelques microns d'épaisseur sur un substrat, tel que du verre ou du plastique. Le tellure de cadmium ou CIGS (cuivre/indium/gallium/sélénium) peut être utilisé.

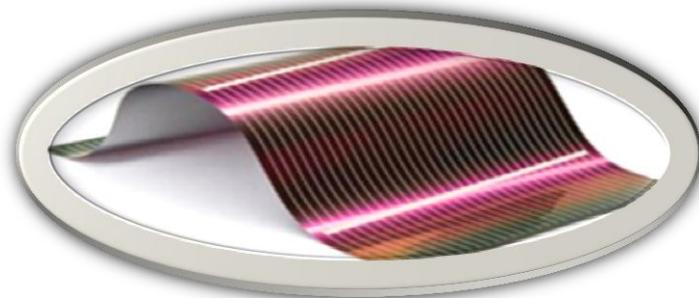


Figure. I-6: Film photovoltaïque en silicium nanocristallin .[5]

I.4.2.3. Les cellules organiques :

Fondées sur des molécules ou des polymères de la chimie organique et non plus sur des semi-conducteurs minéraux comme les précédentes, elles commencent à avoir des applications.

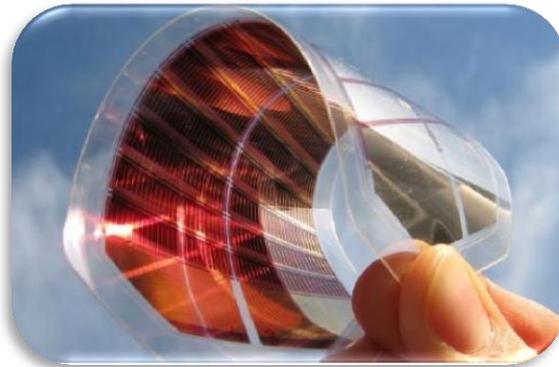


Figure. I-7: Exemple d'une cellule organique.[5]

I.4.3. Caractéristique électrique d'une cellule PV :

Dans cette figure, on peut remarquer deux points de fonctionnement importants : le courant de court-circuit (I_{CC}) et la tension de circuit ouvert (V_{CO}). Comme son nom indique, le courant de court-circuit correspond au courant quand la cellule est court-circuitée. Ce courant de court-circuit est proportionnel à la surface de la cellule qui capture la lumière, et pour une surface quelconque, ce courant de court-circuit dépend de l'intensité de lumière absorbée par la cellule. La tension de circuit ouvert est la tension aux bornes de la cellule quand il n'y a pas de courant. Sa valeur est de l'ordre de 0.6 V pour la cellule de type cristallin. Ces deux points (I_{CC} et V_{CO}) délimitent le fonctionnement de la cellule en trois zones différentes. [3]

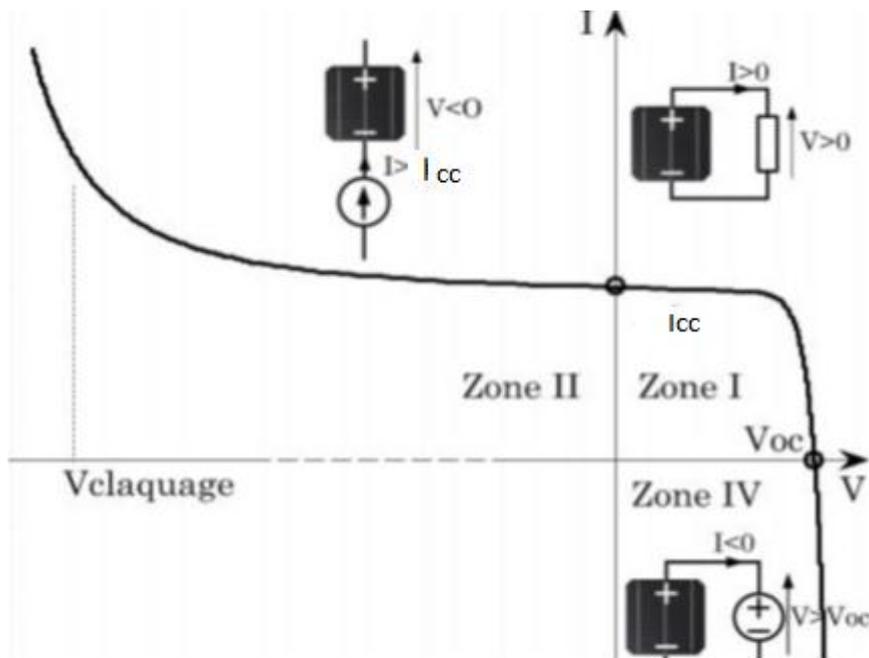


Figure. I-8: Caractéristique I-V d'une cellule PV

La zone I de la Figure .1-8 :correspond au fonctionnement en générateur de la cellule avec $0 \leq I \leq I_{CC}$ et $0 \leq V \leq V_{co}$. C'est le fonctionnement dit normal de la cellule dans lequel elle débite la puissance produite à la charge.

-La zone II : correspond au fonctionnement en récepteur de la cellule avec $I > I_{CC}$ et $V < 0$. Quand le courant traversant la cellule est forcé par un circuit extérieur à dépasser son courant de court-circuit, la cellule produit une tension négative à ses bornes. La croissance en courant provoquera l'endommagement de la cellule si la tension à ses bornes atteint une limite : la tension de claquage ($V_{claquage}$). L'étude expérimentale sur différentes cellules de type cristallin a montré que la valeur de la tension de claquage varie entre -10 Volt et -30 Volt.

-La zone III : correspond de nouveau au fonctionnement en récepteur de la cellule, mais avec cette fois-ci $I < 0$ et $V > V_{co}$. Quand la tension aux bornes de la cellule est amenée à dépasser sa tension de circuit ouvert, un courant inverse circule dans la cellule. Si ce courant inverse dépasse une limite, la cellule sera irrémédiablement endommagée.

I.5. Générateur PV :

Le générateur photovoltaïque est l'unité de production d'énergie électrique sous forme de courant continu. Le composant élémentaire de cette unité qui convertit l'énergie solaire en l'énergie électrique est la cellule photovoltaïque.

I.5.1. Module PV :

La tension et le courant, donc la puissance, d'une cellule ne sont pas adaptées aux applications courantes, il est donc nécessaire de les associer. De plus, les cellules photovoltaïques sont fragiles et sensibles à l'environnement extérieur, elles sont donc munies d'une protection mécanique (l'encapsulation). Pour toutes ces raisons, les cellules sont assemblées en modules photovoltaïques.

I.5.2. String PV :

Un string PV, appelé également chaîne PV, est un ensemble de modules connectés en série afin de générer la tension de sortie spécifiée.

I.5.3. Champ PV :

Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire de regrouper les modules en série et en parallèle. Ce groupement forme un champ photovoltaïque. [6].

I.6. Description générale d'un système de conversion photovoltaïque :

La conception d'un étage d'adaptation permet aujourd'hui de relier aisément un générateur photovoltaïque (GPV) à une charge de type continue (DC), avec un rendement de conversion très élevé. En fait, le concept de cet étage correspond à la modélisation des fonctions basiques idéalisées d'un convertisseur à découpage continu-continu (DC/DC).

Un générateur photovoltaïque présente des caractéristiques I-V non linéaires avec de point de puissance maximum PPM. Ces caractéristiques dépendent entre autre du niveau d'éclairement et de la température de la cellule.

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du générateur photovoltaïque et de la transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le générateur photovoltaïque et la charge comme décrit dans la Figure .I-9 . [1]

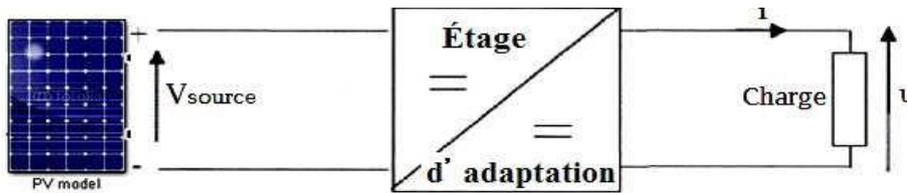


Figure .I-9 : Étage d'adaptation entre un GPV et une charge .[8]

I.6.1.le convertisseur DC-DC :

Le convertisseur BOOST est connu par le nom d'élévateur de tension peut être représenté par le circuit donne par la Figure .I-10

C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type courant continu (inductance en série avec une source de tension) et la charge de sortie est de type tension continue (condensateur en parallèle avec la charge résistive). L'interrupteur K1 peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage).

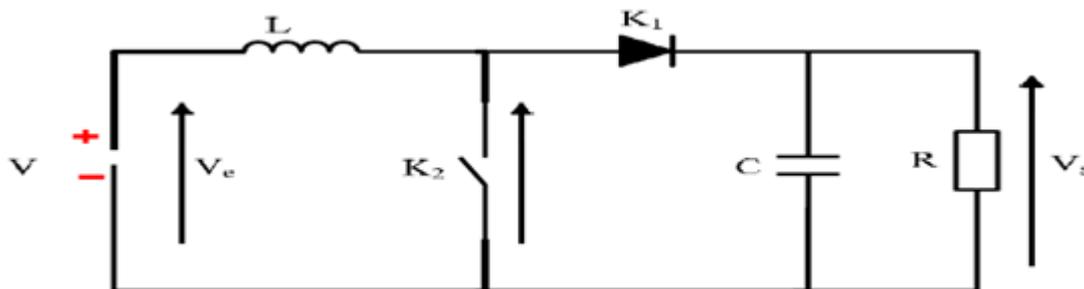


Figure .I.10 : Le convertisseur BOOST.[8]

I.6.2. Le Principe de fonctionnement du hacheur BOOST :

Déterminer le comportement réel de ce convertisseur, nécessite de connaître en détail son modèle mathématique.

Pour cela nous devons faire la représentation du circuit équivalent par les deux états du commutateur et de tirer par la suite le modèle mathématique reliant les variables d'entrée/sortie. La figure .I-11 montre les schémas des circuits équivalents d'un convertisseur survolteur dans les deux cas : l'interrupteur fermé pendant αT et l'interrupteur ouvert pendant $(1 - \alpha) T$. [8].

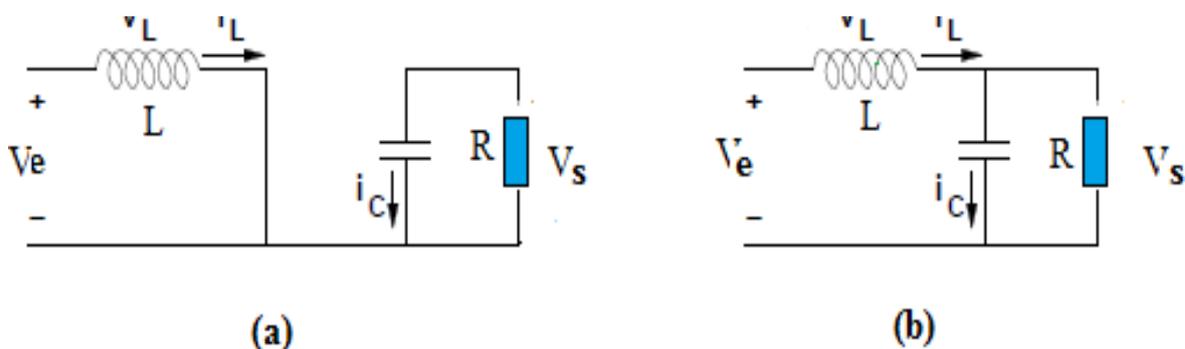


Figure .I-11 : (a) Diagramme BOOST en position 1 et (b) diagramme BOOST en position 2.

I.6.3. Le fonctionnement optimal du générateur photovoltaïque :

Dans un système électrique comprenant une source et une charge, la recherche du point de fonctionnement optimal par des techniques d'optimisation représente ce qui est le plus important. Dans le cas du photovoltaïque, cette démarche est plus complexe du fait que la caractéristique des cellules dépend fortement de l'irradiation et de la température ambiante, entre autres. Il faut trouver un dispositif permettant de fonctionner à tout moment suivant le point de fonctionnement optimal. Ces dernières années plusieurs dispositifs ont été développés, aussi élaborés les uns que les autres. Dans la référence, les auteurs passent en revue les différentes méthodes de maximisation de puissance classées en deux catégories : les méthodes indirectes et les méthodes directes.

Le principe de ces commandes est d'effectuer une recherche du point de puissance maximal (MPPT) tout en assurant une parfaite adaptation entre le générateur et sa charge de façon à transférer le maximum de puissance. [3].

I.6.3.1.principe de la recherche du MPPT :

Un MPPT permet de suivre, comme son nom l'indique, le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire. En conséquence, pour un même éclaircissement, la puissance

délivrée sera différente selon la charge. Un contrôleur MPPT permet donc de piloter le convertisseur statique reliant la charge (une batterie par exemple) et le panneau photovoltaïque de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge à chaque instant.

I.6.3.2. Algorithmes MPPT :

Il existe dans la littérature plusieurs algorithmes MPPT. Les plus utilisés sont :

- Algorithme de la Tension constante (CV, Constant Voltage)
- Algorithme du courant constant (CC, Constant Current)
- Algorithme de Perturbation et observation (P&O, Perturb and Observe)
- Algorithme de la Conductance Incrémentale.

Chaque algorithme est caractérisé par sa précision de la recherche ou sa rapidité. Nous avons basé sur Algorithme de Perturbation et Observation (P&O) que nous avons utilisé.

I.6.3.3. -principe de l'algorithme« Perturbe and observe (P&O) :

La méthode de perturbation et observation (P&O) est une approche largement répandue dans la recherche de MPPT parce qu'elle est simple et exige seulement des mesures de tension et de courant du panneau photovoltaïque V_{pv} et I_{pv} respectivement, elle peut dépister le point maximum de puissance même pendant les variations de l'éclairement et de la température.

Comme son nom l'indique, la méthode P&O fonctionne avec la perturbation de la tension V_{pv} et l'observation de l'impact de ce changement sur la puissance de sortie du panneau photovoltaïque.

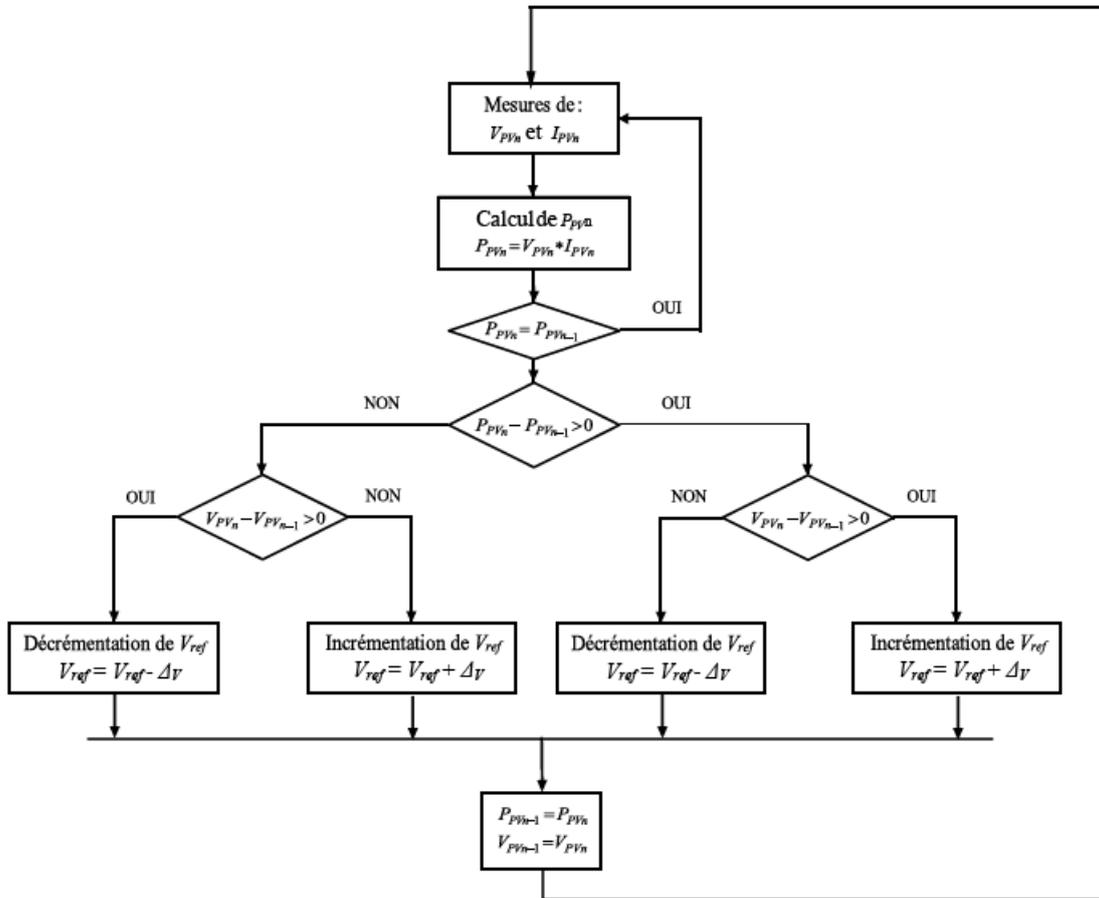


Figure I.12 : Algorithme type de la méthode P&O.

I.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, Nous avons introduit le principe de détection du point de puissance maximum MPPT, les différentes méthodes MPPT que nous rencontrons souvent dans la littérature et nous nous sommes concentrés sur l'algorithme P&O. qu'on va utiliser dans notre travail.

Chapitre II :

Les Défaits dans les Systèmes Photovoltaïques

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous précisons tout d'abord le contexte et l'objectif de notre étude. Nous traitons de toutes les problématiques liées à la productivité d'une installation photovoltaïque et comment ces problématiques nécessitent une étude de détection et de localisation de défauts.

Dans la seconde partie, les différents composants d'un système photovoltaïque sont décrits . Les défauts associés à ces composants sont également identifiés. Parmi les défauts identifiés , seuls les principaux défauts sont retenus, sur la base de leur criticité et de leur occurrence, pour l'étude de la détection et de localisation de défauts.

La dernière partie de ce chapitre présente les différentes méthodes de diagnostic, industrialisées ou non, proposées pour détecter et/ou localiser des défauts dans un système photovoltaïque. Une brève étude bibliographique sur les différentes approches théoriques de diagnostic est menée pour choisir l'approche la plus adaptée dans le cas de diagnostic de défauts pour un système photovoltaïque. [1]

II.2. Modélisation d'une cellule solaire :

Pour tenir compte des différentes limitations de la cellule photovoltaïque, Nous pouvons citer à titre d'exemple, le modèle à une diode, qui est le plus utilisé de par sa simplicité d'élaboration , sa rapidité à simuler, ainsi que sa précision.

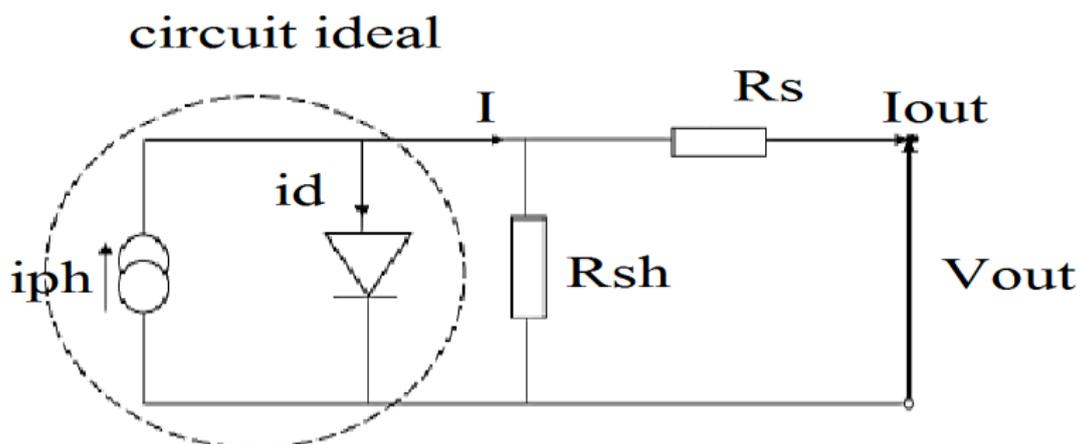


Figure II.1: Circuit équivalent simple d'une cellule solaire idéale, à résistance série et shunt.

Ce modèle contient une source de courant I_{ph} qui représente l'irradiation reçue par la cellule, et une diode en parallèle qui représente la jonction PN. La résistance série R_s tient compte des pertes ohmiques des matériaux, des métallisations et du contact semi-conducteur. la

résistance parallèle R_{sh} représente le courant de fuite qui se situe entre le dessus et le dessous de la cellule.[6]

L'équation du modèle à une diode de la cellule PV est la suivante :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[e^{\frac{V+IR_s}{V_t}} - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (\text{II.1})$$

II.2.1-Photo-courant :

Le courant I_{ph} d'une cellule PV dépend de la température et de l'irradiation ainsi que du Coefficient de température du court-circuit généralement donné dans les références constructeurs (α). le courant I_{ph} pour expression générale:

$$I_{ph} = [I_{ph,STC} + \alpha(T_c - T_{c,STC})] \frac{G}{G_{STC}} \quad (\text{II.2})$$

$I_{ph,STC}$: est le photo-courant aux STC (1000W/m², AM1.5), en [A].

α : est le coefficient de température du courant court-circuit en [A/°C]

T_c : est la température cellule, en [°C]

$T_{c,STC}$: est la température cellule aux STC , [T_{c, STC} =25°C]

G : est l'éclairement reçu par la cellule solaire [W/m²]

G_{STC} : est l'éclairement aux STC.

La température de la cellule peut être donnée en fonction de la température ambiante par l'expression suivante:

$$T_c = T_a + \frac{NOCT-20}{800} G \quad (\text{II.3})$$

Où : T_c : est température de la cellule en [°C]

T_a : est la température ambiante en [°C]

NOCT : est la température normale de fonctionnement de la cellule (Normal Operating Celle Température)

II.2.2. Courant de saturation de la diode :

Le courant de saturation inverse de la diode qui représente la valeur asymptotique du courant I en polarisation inverse, dépend de la température et de largeur de bande d'énergie du matériau de la cellule solaire.

$$I_0 = I_{0,ref} \left(\frac{T_c}{T_{c,STC}} \right)^3 e^{\left[\left(\frac{qE_g}{nT_{c,STC}} \right) \left(\frac{1}{T_{c,STC}} - \frac{1}{T_c} \right) \right]} \quad (\text{II.4})$$

I_0 : est le courant de saturation inverse à la température T_c .

I_0, ref : courant de saturation inverse de référence.

E_g : est l'énergie de la bande interdite. Pour le silicium, elle est égale à 1.12eV

La tension thermique est donnée par l'équation suivante :

$$V_t = \frac{nkT}{q} \tag{II.5}$$

k: est le constant de Boltzmann

n: est facteur d'idéalité de diode.

q: est la charge d'électron.:

II.2.3. Paramètres de performance d'une cellule :

Sous un éclairage donné, toute cellule photovoltaïque est caractérisée par deux courbes principales courant-tension (**I-V**) et de la puissance (**P**) représentant l'ensemble des configurations électriques que peut prendre la cellule. Trois grandeurs physiques définissent cette courbe:

-sa tension a vide : **Vco**. Cette valeur représenterait la tension générée par une cellule éclairée on raccordée son courant court circuit ICC : cette valeur représenterait le courant générer par une cellule éclairée raccordée a elle -meme.son point de puissance maximal : **MPP** (en anglais : *maximal power point*) obtenu pour une tension et un courant optimaux : **V opt, Io pt**(parfois appelés aussi **V mpp , I mpp**) .

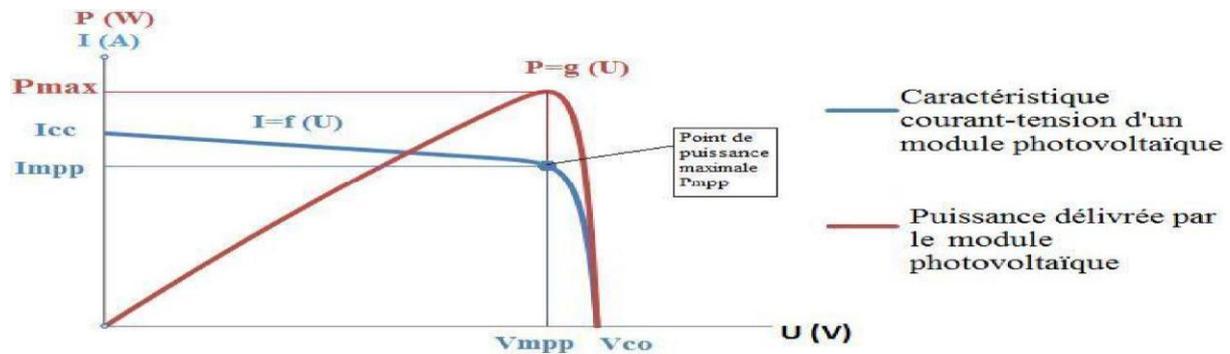


Figure II.2 : Les caractéristiques I-V et P-V d'une cellule.[12]

Im: est le courant délivré par la cellule au point de puissance maximale Pm.

Vm: est la tension aux bornes de la cellule au point de puissance maximale Pm.

II. 2.3.1 . Tension de circuit ouvert :

Elle représente la tension aux bornes de la cellule sous éclairage et sans circuit de charge (V=Vco, I=0). Elle est donnée par l'expression suivante: [1]

$$V_{co} = nV_t \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \tag{II.6}$$

II.2.3.2. Courant de court-circuit :

IL représente le courant délivré par la cellule quand la tension à ses bornes est nulle ($V=0$). Il est donné par l'expression suivante:

$$I_{cc} = [I_{ph,STC} + \alpha (T_c - T_{c,STC})] \frac{G}{G_{STC}} \quad (II.7)$$

II.2.3.3. Puissance débitée :

La puissance fournie par la cellule est le produit $I.V$. Il s'écrit comme suit:

$$P = I.V = [I_{ph} - I_0 \left[e^{\frac{V+IR_s}{V_t}} - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}}]. V \quad (II.8)$$

Mathématiquement, on obtient le point de puissance maximale P_m en résolvant l'équation de la dérivée suivante:

$$\left. \frac{\partial P}{\partial V} \right|_{P=P_m} = 0 \quad (II.9)$$

II.2.3.4. Facteur de forme :

Le facteur de forme est donné par le rapport entre la puissance maximale est le produit ($V_{co} . I_{cc}$)

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{I_m V_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad (II.10)$$

II.2.3.5. Rendement de conversion :

Le rendement η de la cellule solaire est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et l'éclairement incident P_{inc} sur la surface de la cellule S_c .

$$\eta = \frac{P_m}{P_{inc}} = \frac{V_m I_m}{P_{inc} S_c} \quad (II.11)$$

II.3 Modélisation d'un champ PV en fonctionnement sain :

En fonctionnement sain, toutes les cellules du générateur PV sont supposées identiques et soumises à la même condition de fonctionnement (irradiation et température). La démarche présentée dans la Figure II-7. Conduit aux relations suivantes :

$$\begin{cases} I_M = I_C \\ V_M = N_{CS} * V_C \end{cases} \quad (II.12)$$

$$\begin{cases} I_{St} = I_M \\ V_{St} = N_{MS} * V_M \end{cases} \quad (II.13)$$

$$\begin{cases} I_G = N_{SP} * I_{St} \\ V_G = V_{St} \end{cases} \quad (II.14)$$

I_C : courant fourni par la cellule PV

V_C : tension aux bornes de la cellule PV

V_M : tension aux bornes du module PV

V_{St} : tension aux bornes du string

V_G : tension aux bornes du générateur PV
module

CS : nombre de cellule en série dans un

N_{MS} : nombre de module en série dans un string

I_M : courant du module PV

I_{St} : courant du string

I_G : courant du générateur PV

N_{SP} : nombre de string en parallèle dans un générateur PV

En totale on aura :

$$I_G = N. S_{tp} * I_C \quad (II.15)$$

$$V_G = N_{MS} * N_{CS} * V_C \quad (II.16)$$

II.4. Défaits dans le système photovoltaïque :

Nous décrivons dans cette partie les différents défauts et anomalies associés à ce système. Au cours de son fonctionnement, une installation PV peut être éventuellement soumise à différents défauts et conditions de fonctionnement anormales. Les défauts et les anomalies apparus varient d'une installation à une autre en fonction de sa conception, installation, opération et maintenance. L'étude menée dans les travaux de [17] a permis de collecter les défauts les plus rencontrés dans une installation photovoltaïque, qui peuvent être classifiés en sept grands groupes selon la fonction des différents composants constituant l'installation PV [17] :

- Défaits dans le générateur photovoltaïque ;
- Défaits dans la boîte de jonction ;
- Défaits dans le système de câblage ;

- Défaits dans le système de protection ;
- Défaits de l'onduleur ;
- Défaits dans le système d'acquisition des données.

Les défauts présentés dans le Tableau II -1 ont été classés suivant l'emplacement de leur apparition dans une installation PV (panneaux, connexion, câblage, système de protection).

Tableau II -1: Classification des défauts et les anomalies d'un GPV.

Le niveau de défaut	Le composant	Le défaut
cellule	cellule	La résistance série R_s La résistance parallèle R_p Courant I_{ph} La température T
groupe	Diode by-pass	Court-circuit Circuit ouvert Impédance Z quelconque Inversion de la polarité
module	module	module court-circuité module connecté en parallèle avec une impédance (Z) inversion de la polarité du module
string	Les connexions	Court-circuit Circuit –ouvert Mauvais câblage Détérioration des connexions
champ	Diode anti-retour	Court-circuit Circuit –ouvert Impédance Z quelconque Inversion de la polarité

Tableau II-1: Classification des défauts et les anomalies d'un GPV

II.5.METHODES DE DIAGNOSTIC D'UN CHAMP PV :

II.5.1. Méthode de détection des défauts :

Les méthodes de détection de défauts peuvent être classifiées selon la figure II.3 suivante :

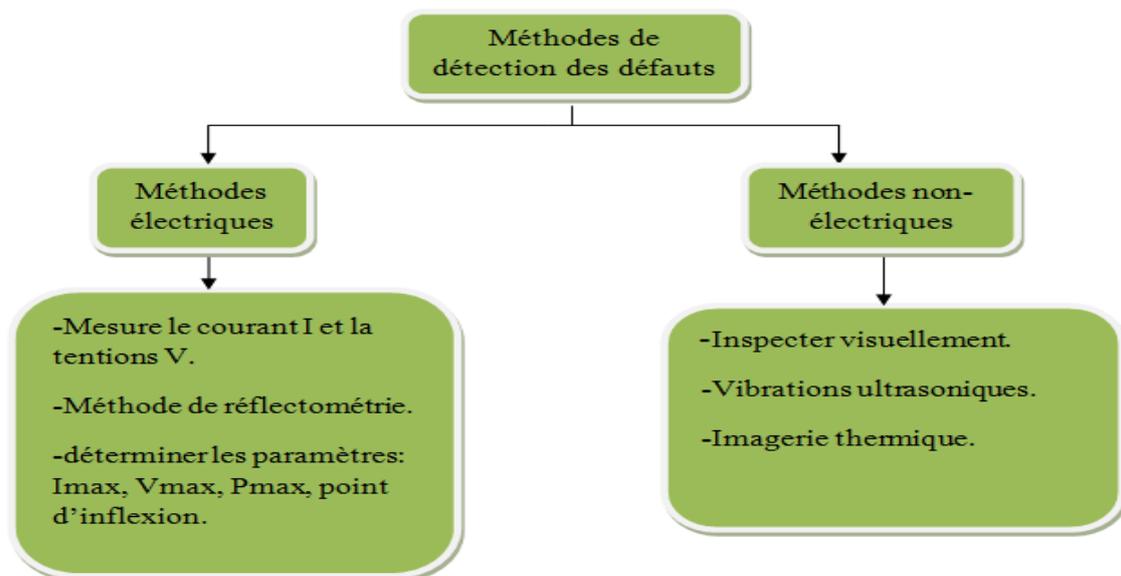


Figure II.3: Classification des méthodes de détection des défauts.

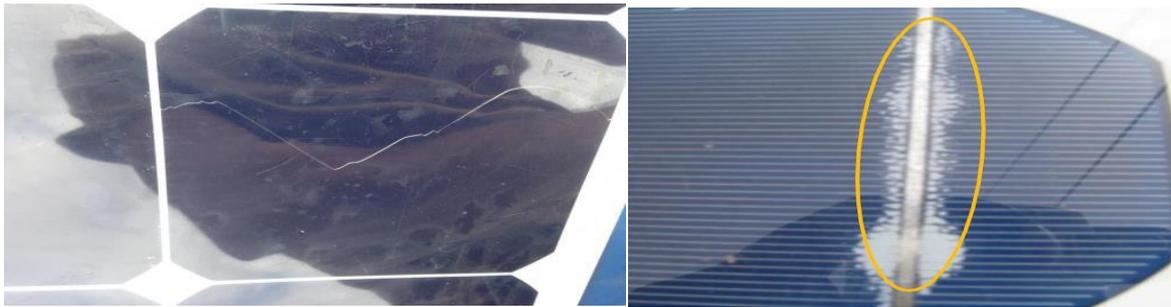
II. 5.2 .Méthodes non-électriques :

Il existe plusieurs méthodes non électriques, destructives ou non destructives, pour Diagnostiquer le défaut au niveau de cellule P V. Le défaut principal qui peut avoir lieu à ce niveau est la fissure de la cellule. On peut citer comme méthodes : les essais par Inspection visuelle, Technique de Vibrations ultrasoniques résonante et, tests de thermographie. Pour le diagnostic des modules PV, la méthode de l'imagerie (caméra thermique) infrarouge est largement appliquée.[4]

II. 5.2 .1. Inspection visuelle :

La première façon (la plus simple) pour découvrir les défauts dans n'importe quel système est l'observation visuelle. Certains défauts dans les GPV peuvent être détectés par inspection visuelle, à titre d'exemple :

- ❖ Les fissures
- ❖ L'usure de la peinture antireflet,
- ❖ Décoloration des cellules PV en marron ou jaune,
- ❖ Les points chauds



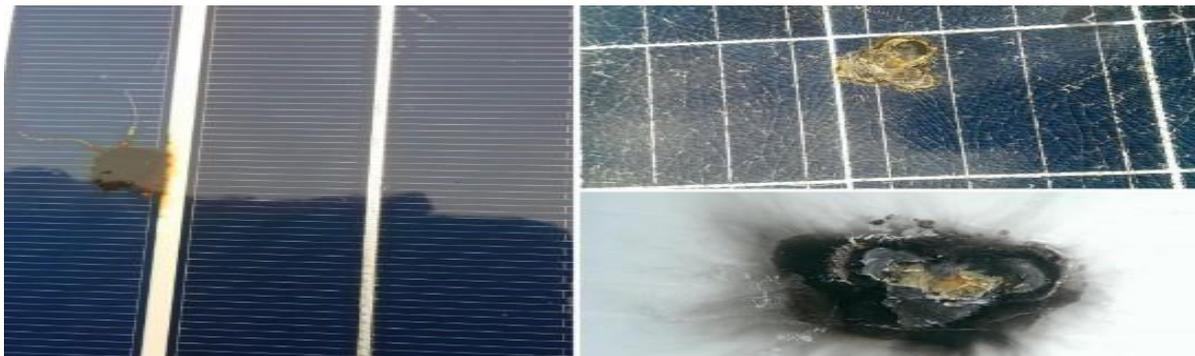
fissures dans les cellules PV

Défaut d'un délaminage



La détérioration de la peinture antireflet

Décoloration des cellules PV en marron ou jaune



Les points chauds

Figure II.4: les défauts visuels.[4]

II. 5.3. Méthodes électriques :

Plusieurs études ont été menées sur les paramètres électriques régissant un générateur PV ainsi que les caractéristiques I-V de modules PV lors de la présence de défauts. Dans l'ensemble, ces méthodes se basent sur l'analyse des caractéristiques électriques et paramètres porteurs d'information sur l'état du système. [2].

II.6. Les différents types de défauts :

II. 6.1 .Défaut de mis match :

Le défaut Mis match est le défaut causé par l'association des cellules photovoltaïques qui ne sont pas homogènes ou mal assorties (ces cellules photovoltaïques possèdent une caractéristique non identique), ce déséquilibre dégrade le point de puissance maximum, et conduit à une baisse de production du module PV. On doit donc veiller à ce que les paramètres de l'équation soient identiques pour l'ensemble des cellules, car le changement dans l'un des paramètres de l'équation conduira à la dissemblance de caractéristique des cellules . [10]

II. 6.2. Défaut d'ombrage :

On distingue deux types d'ombrage : l'ombrage total et l'ombrage partiel. L'ombrage total empêche tout le rayonnement d'atteindre les cellules photovoltaïques, par contre l'ombrage partiel empêche seulement le rayonnement d'atteindre une partie de la cellule photovoltaïque (une cheminée, un arbre, poussière, Neige,...).

Le défaut d'ombrage est un cas particulier du défaut Mis match car sa présence conduit à une diminution de l'irradiation reçu par les cellules PV. Le défaut Mis match peut être dû à une légère variance des caractéristiques des cellules PV à la fabrication mais aussi aux différentes conditions de fonctionnement causées par les différents défauts. Le tableau suivant représente l'impact des différents défauts sur les paramètres de la cellule . [10]

Nature des défauts	Paramètres affectés
Module arraché ou cassé Ombrage :déjections, sable,pollution,neige	Variation de photo courant (I_{ph})
Echauffement des cellules	Variation de la température (T)
Dégradation des interconnexion Fissure Corrosion des lisons entre cellules	Variation de la résistance (R_s)
Module des performances différentes Détérioration des cellules Pénétration de l'humidité	Variation de tous les paramètres des cellules

Tableaux II.2 : impact des différents défauts sur les paramètres de la cellule.

II.6.3. Défaut de diodes de by-pass :

Les cellules du panneau solaire sont installées dans des zones extérieures. Elles peuvent être exposées à des périodes où certaines des cellules sont ombragées, ce qui réduit la production d'électricité dans ces cellules ou leur absence carrément. Comme nous l'avons vu en premier chapitre, une diode est utilisée pour court-circuiter les cellules ombragées pour éviter le défaut de circuit ouvert dans les cellules. Ces diodes sont appelées diodes by-pass. [4]

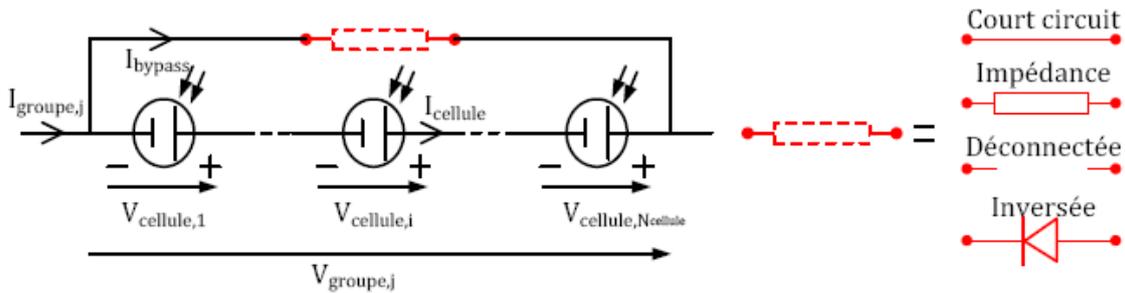


Figure II-5 : Schéma bloc d'un groupe de cellules PV avec la diode de by-pass défaillante .

A l'instar de tout composant électronique, la diode by-pass est sujette à des dommages c.-à-d. elle peut être elle-même défaut.

On dénombre quatre défauts de cette diode :

- court-circuit.
- circuit ouvert.
- impédance Z quelconque.
- inversion de la polarité.

II.6.4 Défaut de diode anti-retour :

Les défauts de la diode anti-retour sont identiques aux défauts affectant la diode by-pass, la différence réside dans leur effet sur le générateur PV

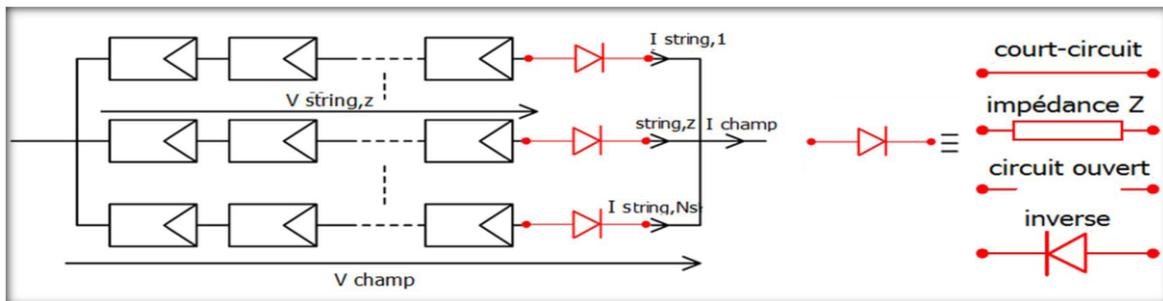


Figure II-6: Schéma bloc d'un champ PV avec la diode anti-retour avec ses défauts.

II.6.5 .Défaits de température :

La température influe directement sur les performances des panneaux Photovoltaïques. Cette influence est importante et a des conséquences pour la conception des panneaux et des systèmes photovoltaïques. La température est un paramètre essentiel puisque les cellules sont exposées aux rayonnements solaires, susceptibles de les échauffer, une partie du rayonnement absorbé n'est pas convertie en énergie électrique, elle est dissipée sous forme de chaleur. Les résultats des tests sur les systèmes PV montrent que la tension de circuit ouvert v_{co} diminue avec l'augmentation de la température, alors que le courant de court-circuit I_{cc} augmente légèrement et tandis que la puissance maximale diminue. [13]

II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principaux défauts du système PV, en plus des différentes méthodes les plus utilisées dans le diagnostic et la localisation des défauts au niveau d'un générateur PV, ces défauts ont été restructurés et classifiés en cinq catégories pour la modélisation

- Défaits de mis match et d'ombrage
- Défaits de la diode de by-pass
- Défaits de connectique
- Défaits de la diode anti-retour
- Défaits d'influences de température et irradiation

Chapitre III :

Réseaux de Neurones

III .1. Introduction :

Un réseau de neurones artificiels est un système dont la conception est à l'origine schématiquement inspirée du fonctionnement des neurones biologiques, et qui par la suite s'est rapproché des méthodes statistiques.

Il appartient à la famille des méthodes de l'intelligence artificielle. Grâce à leur capacité de classification et de généralisation, les réseaux de neurones sont généralement utilisés dans des problèmes de nature statistique. [1][5]

III .2 .Historique des RNA :

Les premiers pas de naissance de vie des neurones sont vus en 1890 avec W. James, un célèbre psychologue américain qu'introduit le concept de mémoire associative, et propose ce qui deviendra une loi de fonctionnement pour l'apprentissage sur les réseaux de neurones connue plus tard sous le nom de loi de Hebb.

En 1943, J. Mc Culloch et W. Pitts laissent leurs noms à une modélisation du neurone biologique (un neurone au comportement binaire). Ceux sont les premiers à montrer que des réseaux de neurones formels simples peuvent réaliser des fonctions logiques, arithmétiques et symboliques complexes (tout au moins au niveau théorique).[5]

III.3.Définition du réseau de neurone :

Les réseaux de neurones artificiels sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau.

III.3.1.Généralités sur les neurones :

Le neurone est une cellule composée d'un corps cellulaire et d'un noyau. Le corps cellulaire se ramifie pour former ce que l'on nomme les dendrites. Celles-ci sont parfois si nombreuses que l'on parle alors de chevelure dendritique ou d'arborisation dendritique. C'est par les dendrites que l'information est acheminée de l'extérieur vers le soma, corps du neurone.

L'information traitée par le neurone chemine ensuite le long de l'axone (unique) pour être transmise aux autres neurones. La transmission entre deux neurones n'est pas directe. La jonction entre deux neurones est appelée la synapse

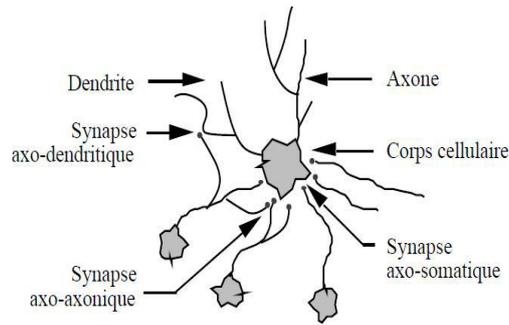


Figure III . 1. Un neurone avec son arborisation dendritique[5]

III .3.2 .Circuits neuronaux

Le corps cellulaire du neurone est le centre de contrôle. C'est là que les informations reçues sont interprétées. La réponse, unique, à ces signaux est envoyée au travers de l'axone. L'axone fait synapse sur d'autres neurones (un millier). Le signal transmis peut avoir un effet excitateur ou inhibiteur. Le traitement très simple réalisé par chaque neurone indique que l'information n'est pas stockée dans les neurones, mais est plutôt le résultat du comportement de toute la structure interconnectée.

III .3.2.1. Neurone formel (artificiel) :

Est processeur très simple imitant grossièrement la structure et le fonctionnement d'un neurone biologique, la première version du neurone formel est celle de McCulloch et Pitts qui est largement utilisée [23].

Un neurone formel est un opérateur effectuant la somme pondérée de ses entrées externes puis elle s'active suivant la valeur de cette sommation pondérée puis modulée par une fonction d'activation Figure III.2 [22].

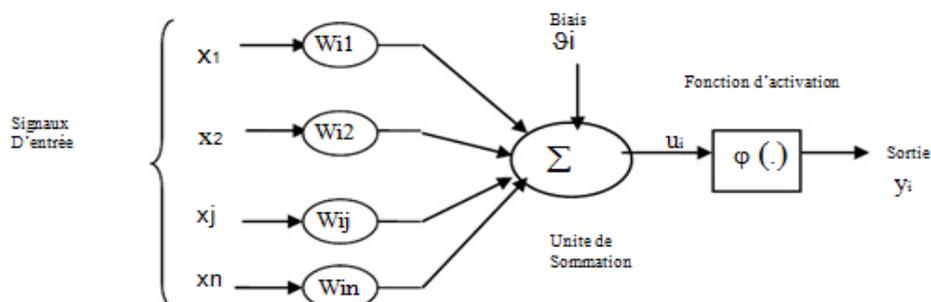


Figure. III . 2. Modèle de base d'un neurone formel.[10]

Le modèle de la figure III .2 est composé [19] :

- ✓ Des entrées du neurone formel = 1,2,..., n ;

- ✓ Des paramètres de pondération ;
- ✓ De la fonction d'activation ou de seuillage (non linéaire, sigmoïde, etc....) ;

Et d'une sortie du neurone formel.

III .3.2.2. Neurone Biologique

Les neurones, au nombre d'une centaine de milliards, sont les cellules de base du système nerveux central. Chaque neurone reçoit des influx nerveux à travers ses dendrites (récepteurs), les intègre pour en former un nouvel influx nerveux qu'il transmet à un neurone voisin par le biais de son axone (émetteur) [20] comme le montre la Figure III.1:

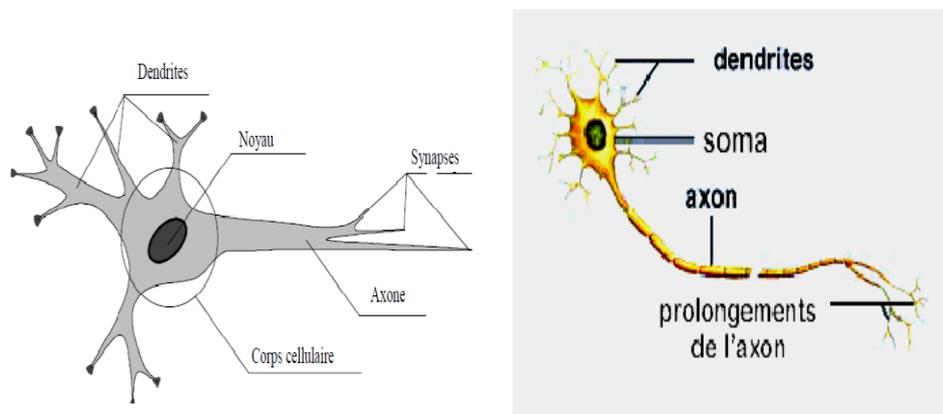


Figure III . 3. Neurone biologique[10]

A partir de ces concepts on va donner une description des fondamentales du réseau de neurones.

III .4 .Le principe de fonctionnement :

Le principe du réseau de neurones est de créer un raisonnement statistique. En fonction de ce qu'il a appris par le passé, grâce à une « base » d'apprentissage, il va prendre des décisions par rapport aux données d'entrées qu'il reçoit. Le choix de classification se portera sur la probabilité de ressemblance à une classe qu'il connaît déjà. On appelle aussi ceci l'apprentissage par expérience, le réseau de neurones intervenant comme une aide statistique à la décision.

Principe étape par étape :

- données en entrées (flèches noires à gauche sur la Figure III . 3,
- analyse des données avec des critères de pondération (cercles et liaisons sur le graphique),
- choix de classification en sortie avec une probabilité de certitude. (flèche noire à droite sur la Figure III. 4

Le réseau de neurones intervient dans différents domaines de la vie courante : classifier des espèces, reconnaissance de motifs (chèques, cartes postales...), estimation boursière...

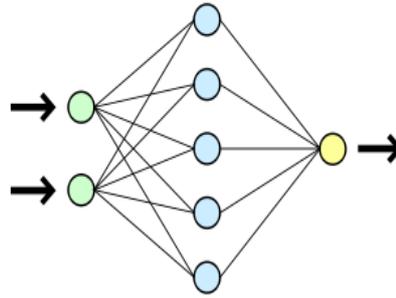


Figure III . 4. Réseau de Neurones.[7]

III.5. Les réseaux de neurones les plus utilisés :

Les réseaux de neurones les plus utilisés dans la littérature sont représentés sur la figure III .5 ci-dessous. Cependant, dans ce qui suit, nous allons faire une description détaillée que des MLP compte tenu que ce sont les réseaux qui vont être appliqués dans ce travail [33].

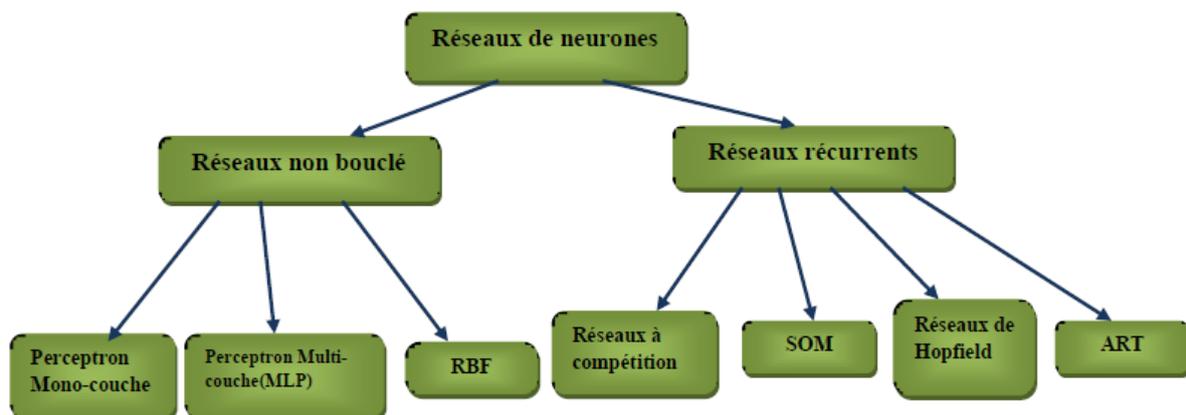


Figure III .5. Réseaux de neurones les plus utilisés.[6]

III.5.1 Perceptron à une seule couche :

C'est le premier modèle qui fut présenté par F.Rosenblatt, dans ce type de réseaux, il y a une seule couche cachée qui lie les couches d'entrée aux couches de sortie. Seule la couche cachée est modifiable. [21].

L'application avec un tel modèles sont très restreintes dans une même structure ayant en commun les mêmes entrées, chaque neurone agit indépendamment des autres et en particulier ne reçoit aucune connexion en provenance des neurones de cette couche et traite des problèmes pour lesquels la sortie attendue n'est pas une seule valeur scalaire mais un vecteur scalaire.

III .5.1.1. La convergence du perceptron

Au début de la convergence du Perceptron consiste à initialiser les petites. Valeurs aléatoires non nulle du poids synaptique W_i et le seuil θ si l'erreur est minimale et le réseau converge la sortie est acceptable, si non il fait varier le vecteur d'entrée.

La sortie est donnée par [25] :

$$Y = f \left(\sum_{i=0}^{n-1} w_i x_i - \theta \right) \quad (\text{III.1})$$

Avec :

θ : La seuil.

f : fonction d'activation

III.5.2. Perceptron Multi Couches (PMC)

Le perceptron Multi-Couche est un réseau orienté de neurones artificiels organisé en couches et où l'information voyage dans un seul sens, de la couche d'entrée vers la couche de sortie.

La couche d'entrée représente toujours une couche virtuelle associée aux entrées du système. Elle ne contient aucun neurone. Les couches suivantes sont des couches de neurones [34].

III.6. Architecture des réseaux de neurones artificiels :

Un réseau de neurones peut prendre des formes différentes selon l'objet de la donnée qu'il traite et selon sa complexité et la méthode de traitement de la donnée.

Les architectures ont leurs forces et faiblesses et peuvent être combinées pour optimiser les résultats. Le choix de l'architecture s'avère ainsi crucial et il est déterminé principalement par l'objectif.

Les architectures de réseaux neuronaux peuvent être divisées en 4 grandes familles :

- ✓ Réseaux de neurones Feed forwarded.
- ✓ Réseaux de neurones récurrents (RNN).
- ✓ Réseaux de neurones à résonance.
- ✓ Réseaux de neurones auto-organisés

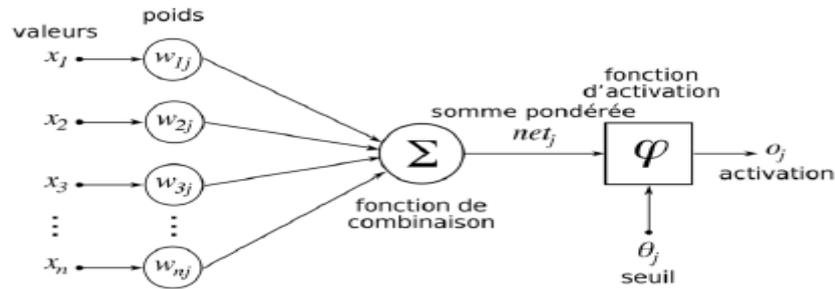


Figure III.6. Architecture réseau neuronal [5] .

III.7 .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.[5]

III.7 .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 étiquetés et grâce à une stratégie spécifique. [20].

III.7.2. 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 [21].

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 s'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 à l'entrée et dans certains cas en fonction des sorties désirées.

III.8. Application des réseaux de neurones :

Les réseaux de neurones servent dans aujourd'hui à toutes sortes d'applications dans divers domaines. On peut cité par exemples :

- Autopilotage des avions.
- Système de guidage des automobiles.
- Lecture automatique des chèques bancaires et d'adresses postales.
- Production des systèmes de traitement signal et pour la synthèse de la parole.
- Les réseaux de neurones sont utilisés aussi pour les systèmes de vision par ordinateur.[20]

III.9 Conclusions :

Finalement dans ce chapitre on a défini le réseau de neurones, on a cité ses généralités, son principe de fonctionnement, son architecture, ses différents types comme le perceptron à une seule couche, à multicouches, ses apprentissages supervisé et non supervisé ainsi que ses applications.

CHAPITRE IV :
SIMULATION ET RESULTATS.

IV.1 Introduction :

La simulation est un outil puissant pour évaluer les performances théoriques d'un système. En fait, ce dernier peut être testé dans des conditions facilement contrôlées et ses performances peuvent être facilement contrôlées. Dans ce chapitre, nous allons utiliser les réseaux de neurones pour étudier quelques scénarios de simulation de pannes qui se produisent au niveau du système photovoltaïque,

On commence par l'obtention des caractéristiques I-V et P-V, puis l'effet des conditions d'irradiation et de température sur ces mêmes caractéristiques, ainsi que les défauts d'ombrage et de diode de dérivation. - Notre objectif est d'étudier ces différents défauts en utilisant des réseaux de neurones. dans des conditions de fonctionnement standard de fonctionnement et celles obtenues en présence d'un des défauts recensés permettra au moins de connaître la nature de ce défaut

IV.2 Description du système PV utilisé:

Notre système pv il constitué de 3 panneaux en série suivi d'un hacheur commandé par Mppt et dont la sortie était charge résistive .

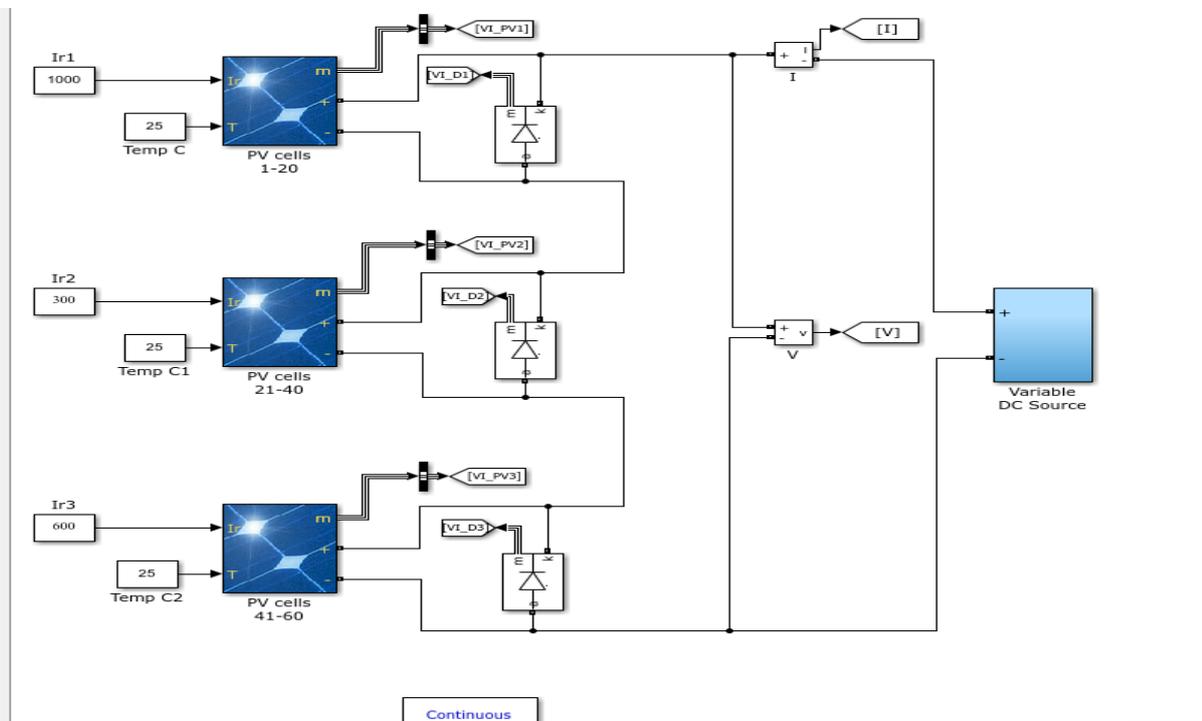


Figure IV.1 : Système PV utilisé.

Array data

Parallel strings

Series-connected modules per string

Module data

Module:

Maximum Power (W) Cells per module (Ncell)

Open circuit voltage Voc (V) Short-circuit current Isc (A)

Voltage at maximum power point Vmp (V) Current at maximum power point Imp (A)

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C) Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)

Tableau IV.1 Fiche signalétique du module PV

paramètre	Impp [A]	Vmpp [V]	Pmpp[W]	Icc[A]	Vco[V]
valeur	7.35	29	213.15	7.84	36.3

Tableau IV.2 : Les paramètres électriques du module PV 1soltech 1STH-215-P dans des conditions d'essai standard

IV.3. Simulation

IV.3.1. Le modèle par simulink du système photovoltaïque :

Les conditions idéales traditionnelles sont rarement remplies dans la pratique, et les changements de ces conditions sont aléatoires et imprévisibles. Les changements d'irradiation et de température affectent directement les caractéristiques courant-tension et puissance-tension. C'est pourquoi la commande MPPT est forcée d'être intégrée.

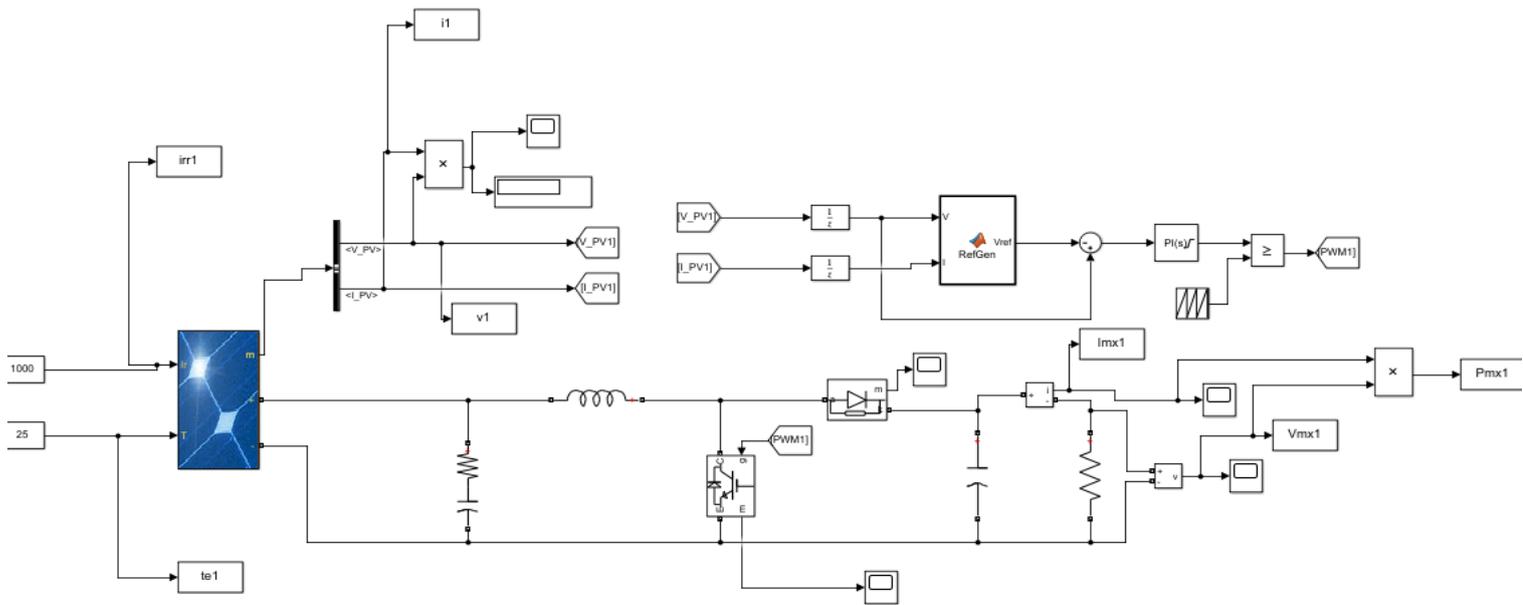


Figure. IV. 2 : Modèle Simulink avec MPPT du système PV.

IV.3.2 Caractéristiques électriques des modules photovoltaïques :

Il existe de nombreuses normes pour mesurer les performances des modules photovoltaïques. La puissance de crête (Wp) est l'une des mesures les plus importantes, elle représente la puissance électrique maximale que le panneau peut fournir dans des conditions de mesure standard, c'est-à-dire lorsqu'il est connecté à la charge optimale.

La caractéristique courant-tension ($I=f(V)$) décrit le courant de sortie en fonction de la tension de sortie. C'est aussi un indicateur et un indicateur important pour mesurer les performances des modules photovoltaïques. A partir de cette propriété, on peut tracer les caractéristiques de la tension d'alimentation ($P=f(V)$) et $I=f(v)$.

Il existe de nombreuses normes pour mesurer les performances des modules photovoltaïques. La puissance de crête (Wp) est l'une des mesures les plus importantes, elle représente la puissance électrique maximale que le panneau peut fournir dans des conditions de mesure standard, c'est-à-dire lorsqu'il est connecté à la charge optimale.

La caractéristique courant-tension ($I=f(V)$) décrit le courant de sortie en fonction de la tension de sortie. C'est aussi un indicateur et un indicateur important pour mesurer les performances des modules photovoltaïques. A partir de cette propriété, on peut tracer les caractéristiques de la tension d'alimentation ($P=f(V)$) et $I=f(v)$.

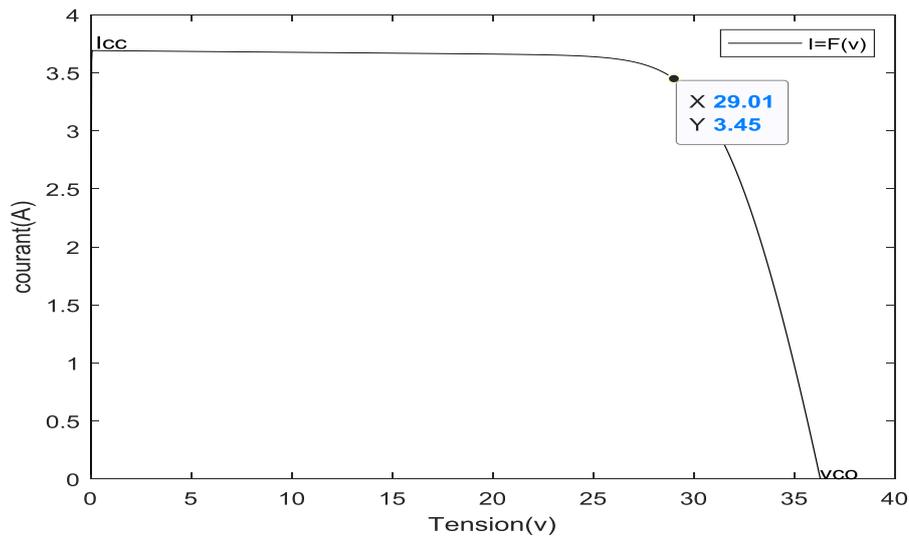


Figure IV. 3 : Allure du courant en fonction de la tension à ($T=25C^{\circ}$ $G=1000W/m^2$).

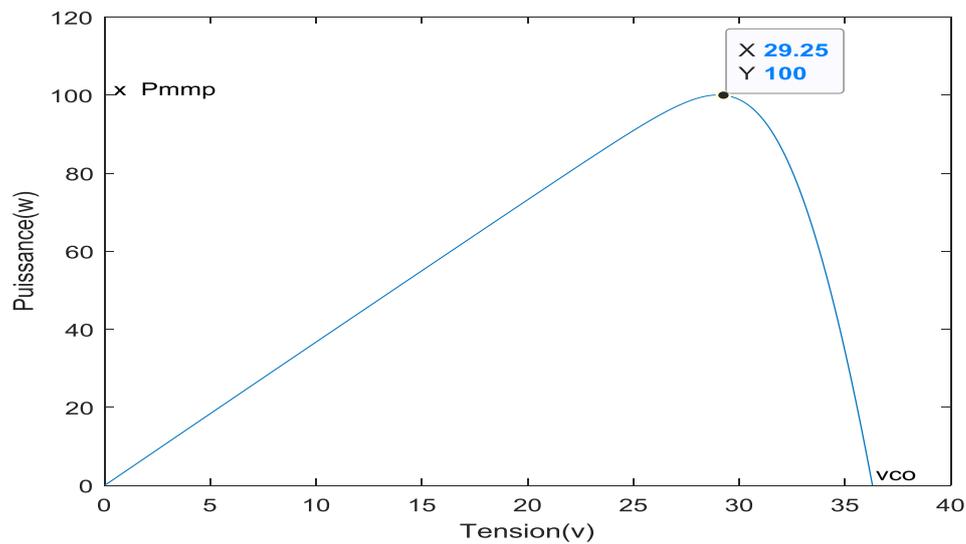


Figure IV. 4 : Allure de la puissance en fonction de la tension à ($T=25C^{\circ}$ $G=1000W/m^2$).

IV.3.3. Etude des trois paramètres de MPPT (I_{mpp} , V_{mpp} et P_{mpp}) par Simulink en fonction de temps.

Les résultats de simulation du système photovoltaïque de ces paramètres sont illustrées sur les figures suivantes.

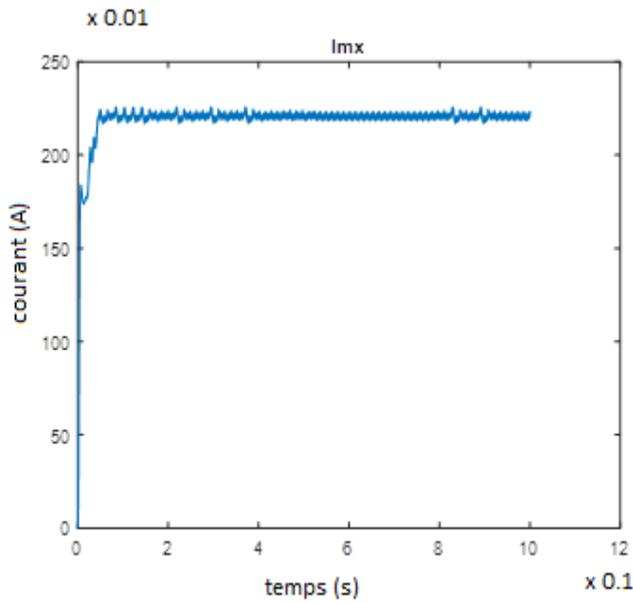


Figure IV. 5 .Evolution de I_{mpp} en fonction de temps.

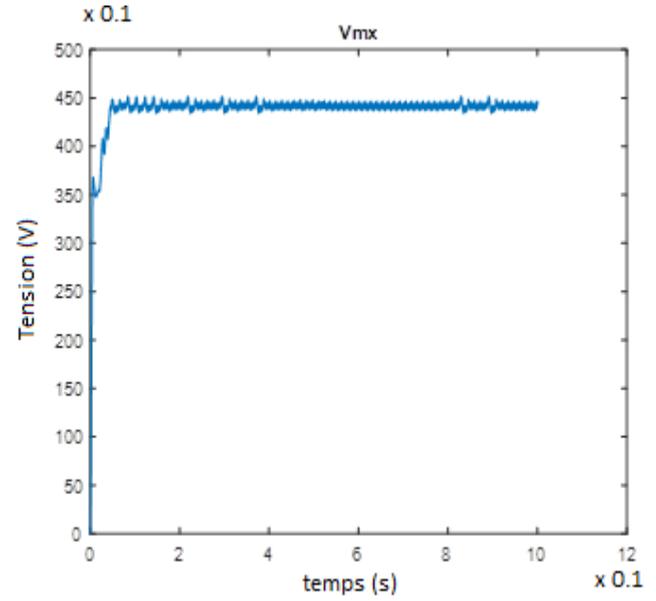


Figure IV. 6 .Evolution de V_{mpp} en fonction fonction de temps.

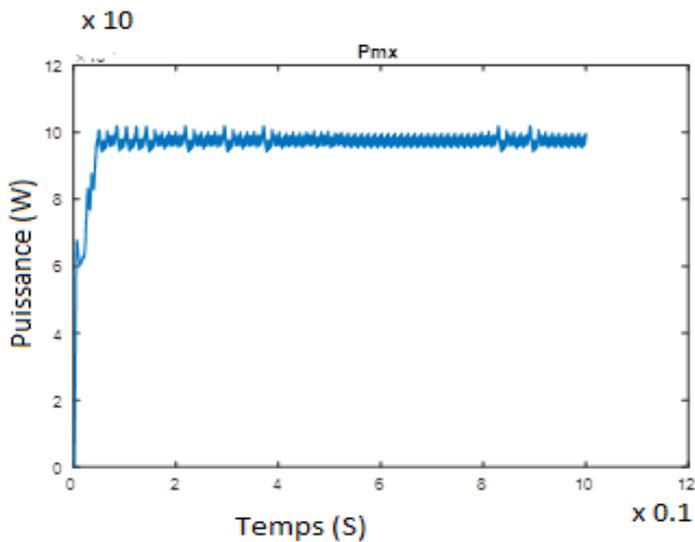


Figure IV. 7 .Evolution de P_{mpp} en fonction de temps

Interprétation :

De la figure (IV.5), nous remarquons que le courant met un temps d'oscillation de $(0.1 \cdot 10^5)$ échantillons pour se stabiliser à la valeur maximale du courant (2,25A).

De la figure (IV.6), nous remarquons que la tension met un temps d'oscillation de $(0.1 \cdot 10^5)$ échantillons pour se stabiliser à la valeur maximale de la tension (45,0V).

De la figure (IV.7), nous remarquons que la puissance met un temps d'oscillation de $(10 \wedge 6)$ échantillons pour se stabiliser à la valeur maximale de la tension (100W).

IV.3.4. Influence de l'éclairement et la température sur les caractéristiques électriques de PV :

a) Influence de l'éclairement :

Les résultats de la simulation du système photoélectrique dans les conditions de changement d'irradiation ($T=25^\circ$ fixe) sont représentés par les caractéristiques $i=f(v)$ et $P=f(v)$, nombres suivants. Ces chiffres représentent le courant et la puissance du générateur PV en fonction de tension.

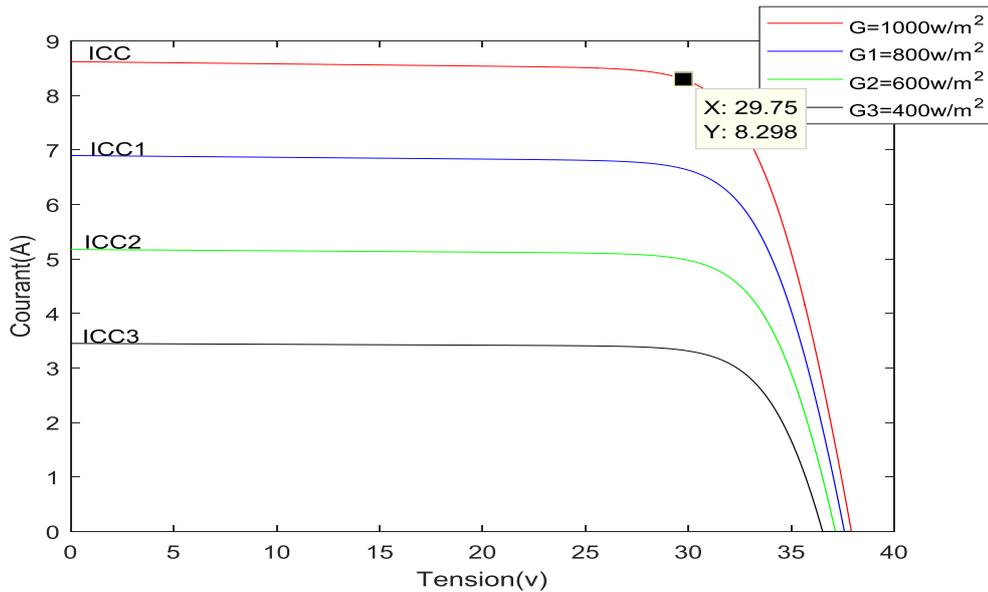


Figure .IV .8 : Caractéristique $I(v)$ pour différents niveaux de l'éclairement ($T=25^\circ C$).

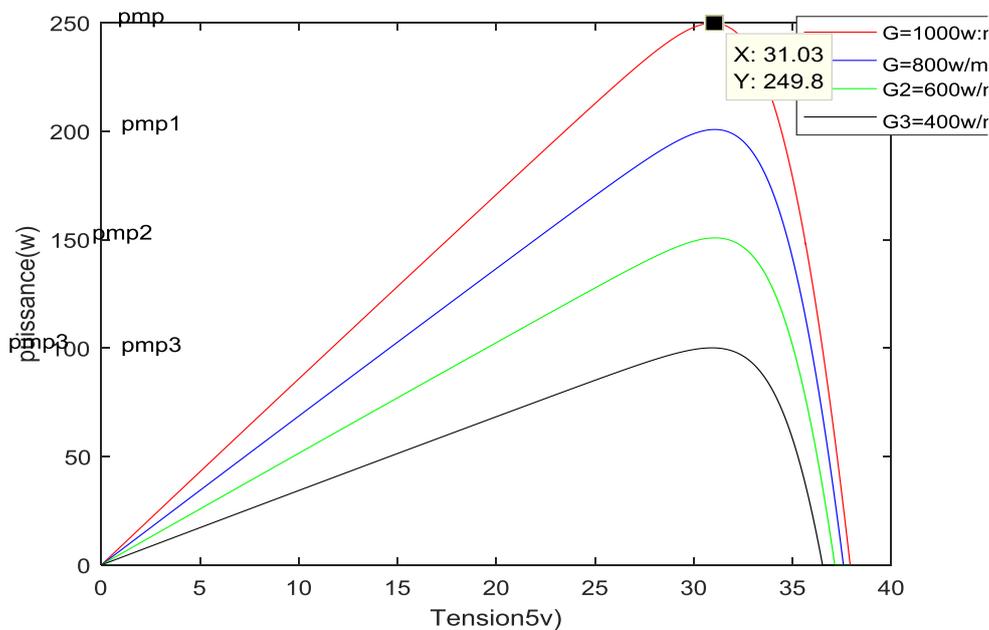


Figure. IV .9 : Caractéristique $p(v)$ pour différents niveaux de l'éclairement ($T=25^\circ C$).

Interprétation :

A noter que la valeur du courant de court-circuit I_{CC} est proportionnelle à l'intensité du rayonnement, alors que la tension en circuit ouvert V_{CO} ne change pratiquement pas même en cas de faible éclaircissement.

b) Influence de la température :

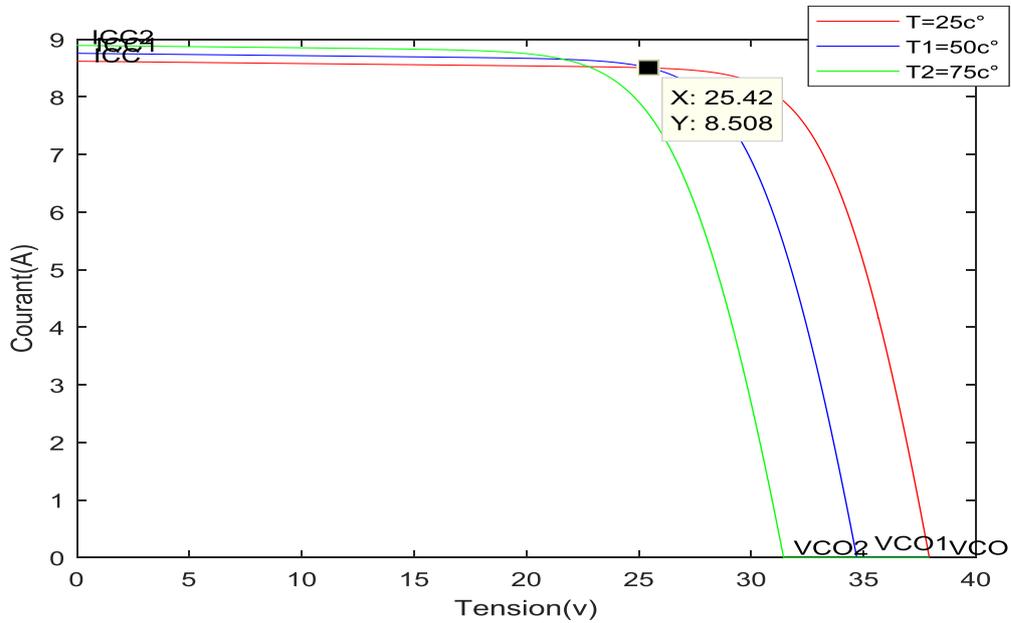


Figure. IV .10 : Caractéristique $I(v)$ pour différentes température ($G=1000W/m^2$).

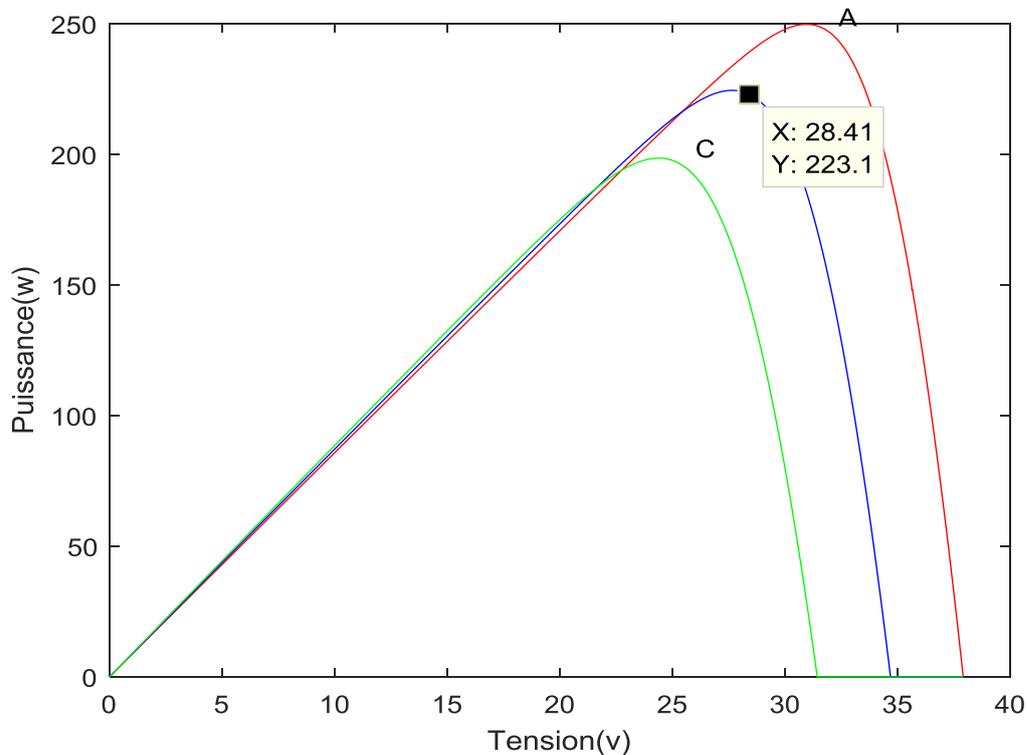


Figure. IV. 11 : Caractéristique $P(v)$ pour différentes température ($G=1000W/m^2$).

-Interprétation :

-D'après les Figure .IV .10 et Figure. IV .11, 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.

-Ces figures montrent clairement la dépendance du courant de sortie I et de la tension V de sortie de la température et de l'éclairement et traduisent une dépendance de la puissance de ces deux paramètres.

-La puissance de sortie est considérablement réduite pour une irradiation décroissante.

-La puissance de sortie est réduite par une augmentation de la température de panneau.

IV.3.5. Etude des défauts**IV.3.5.1. Défaut de l'ombrage :**

On distingue deux types d'ombrage : l'ombrage total et l'ombrage partiel. L'ombrage total empêche tout le rayonnement d'atteindre les cellules photovoltaïques, par contre l'ombrage partiel empêche seulement le rayonnement d'atteindre une partie de la cellule photovoltaïque (une cheminée, un arbre, poussière, Neige,).

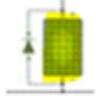
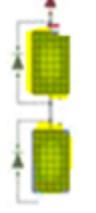
	code (d1) ; 1 panneau ombrée
	code (d2) ; 2 panneaux ombrées

Figure : IV.12 a) En haut un module PV ombré b) En bas deux modules PV ombrés

a) Schéma global du système utilisé ;

Notre système est constitué de 3 panneaux en série (**Figure IV.1**)

b) Les résultats :

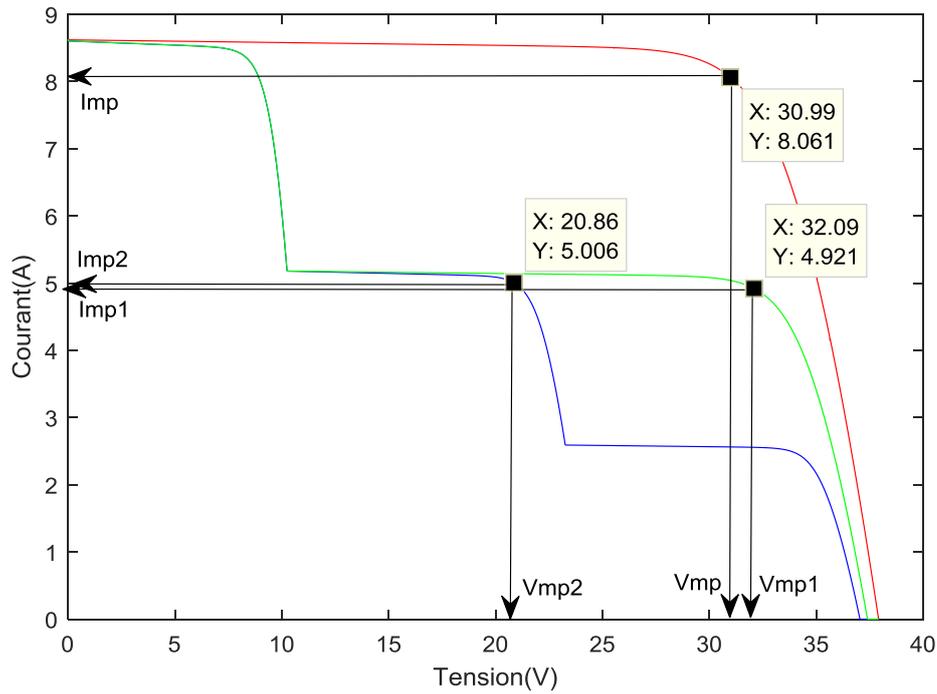


figure .IV .13: Caractéristiques (I-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage .

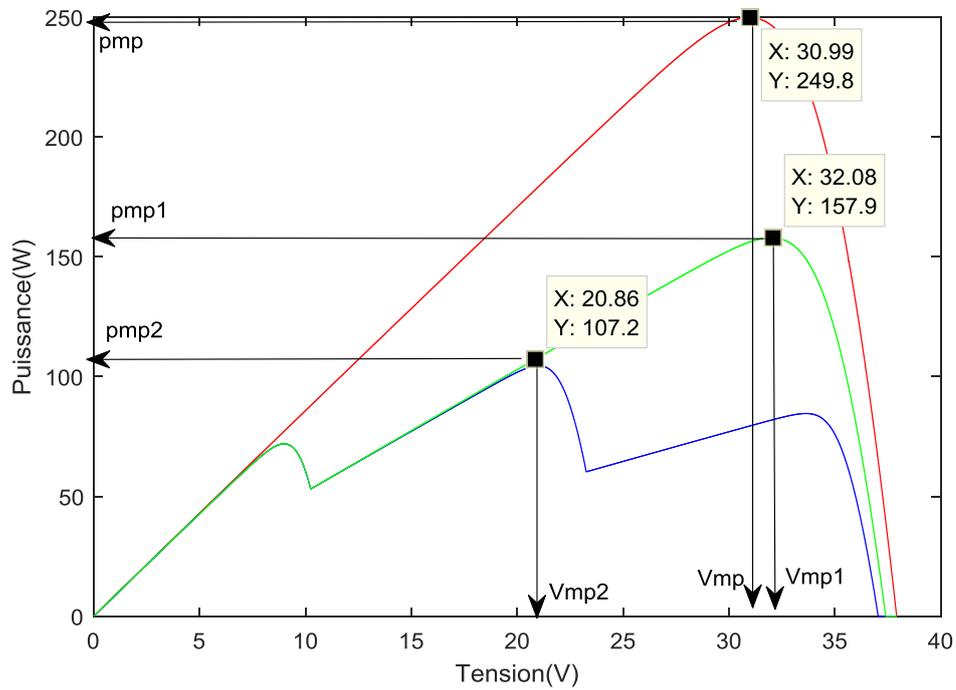


Figure IV .14 : Caractéristiques (P-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage .

En rouge ; Le système est sain (les 3 modules sans ombrage $I_{rr1} = I_{rr2} = I_{rr3}$).

En vert ; Le système est ombré partiellement (le 1^{er} non ombré, les 2^{ème} et 3^{ème} ombrés $I_{rr1} > I_{rr2}$ et $I_{rr2} = I_{rr3}$).

En bleu; Le système est ombré partiellement (le 1^{er} non ombré, les 2^{ème} et 3^{ème} ombrés $I_{rr1} > I_{rr2} > I_{rr3}$).

Interprétation :

- Le point de puissance P_{mpp} maximum est réduit.
 Pour des coefficients de transfert très faibles.
 la tension de circuit ouvert V_{co} va diminuer.
 Biais de pente.
 Point d'inflexion.
 La tension de circuit ouvert V_{co} et le courant de court-circuit I_{cc} demeurent inchangés.

IV.3.5.2. défaut de diode by pass en court-circuit

a) Court-circuit :

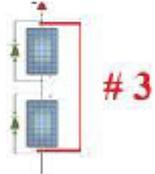
	<p>code (d1) ; 1 panneau court-circuitée</p>
	<p>code (d2) ; 2 panneaux court-circuitées</p>

Figure : IV.15 a) En haut un module PV court-circuité b) En bas deux modules PV court-circuités

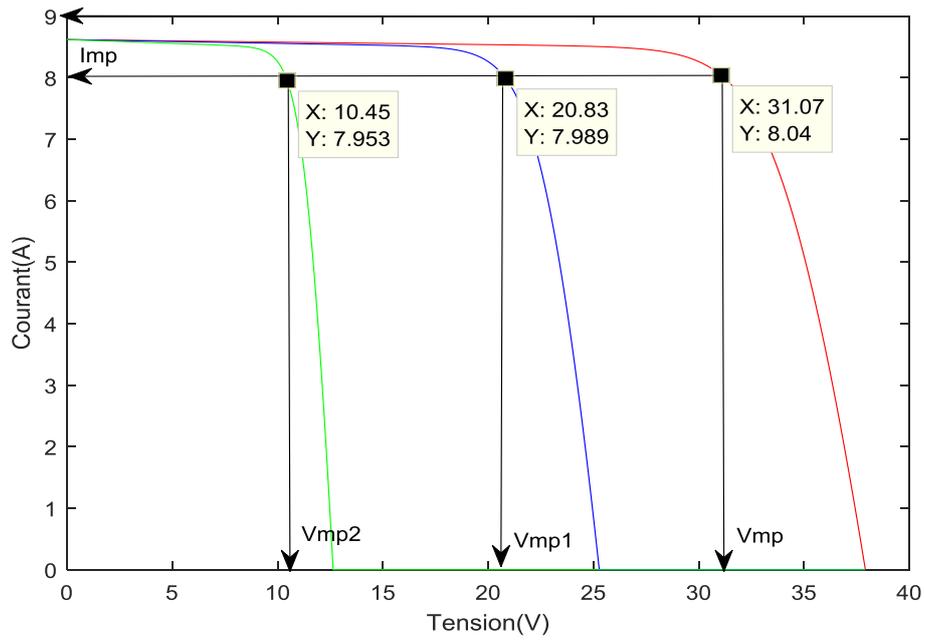


Figure. . IV.16 : Caractéristiques (I-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet des diodes by-passes

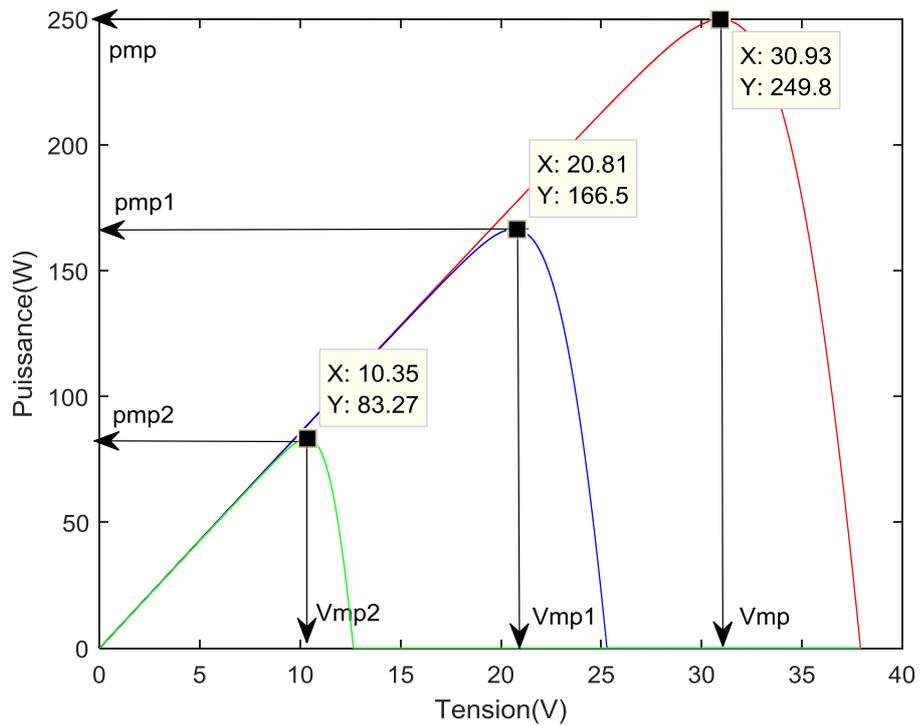


Figure. IV.17 : Caractéristiques (P-V) d'un générateur photovoltaïque sous l'effet des diodes by-passes.

Interprétation :

A partir de la figure Fig. IV.18 nous remarquons :

- une réduction de point de puissance maximale P_{mpp} .
- Le courant de court-circuit I_{cc} ne change pas.
- La tension de circuit ouvert V_{co} de GPV est diminuée en fonction du nombre de diodes court-circuitées.

IV.4. Classification des défauts**IV.4.1 Le classifieur utilisé :**

est un Réseau de neurones appelé le perceptron multicouche : (Multi layer perceptron)

Un seul perceptron en lui-même n'a aucune capacité de calcul remarquable. Si on crée une couche de neurones dans un réseau de neurones artificiels à action directe cependant, les capacités de calcul sont très amplifiées.

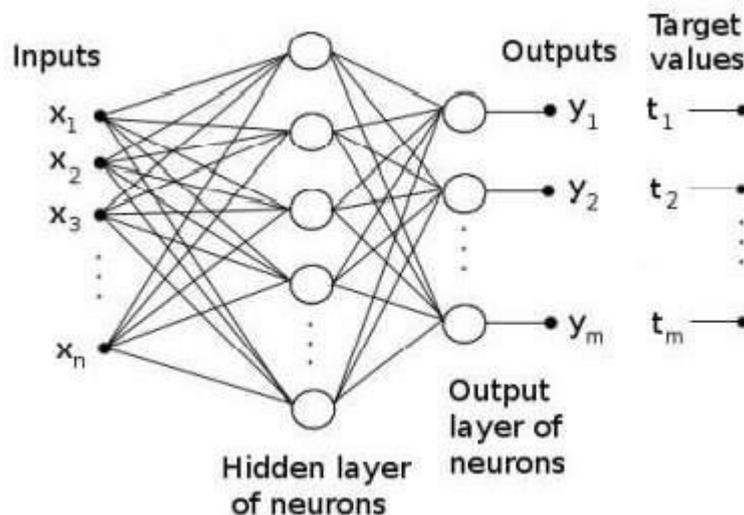


Figure IV.18: Un perceptron multicouche avec une couche cachée.[5]

IV.4.2 Stratégie de détection et de diagnostic :

L'objectif principal de cette partie est de concevoir une procédure efficace et fiable, basée sur le classificateur réseaux de neurones multicouches (MLP), pour détecter les défauts dans un système photovoltaïque et diagnostiquer leur origine. Cependant, l'utilisation de ce type de

méthode, pour traiter le problème de classification, nécessite la disponibilité d'une base de données qui décrit très bien le processus pour chaque classe.

IV.4.3 Elaboration de base de données :

le modèle de système photovoltaïque validé est utilisé pour générer des échantillons sains et défectueux, en introduisant intentionnellement les défauts souhaités, avec des profils réels de température et d'éclairement quotidiens. Les échantillons enregistrés, correspondant à chaque condition de fonctionnement, comprennent 6 attributs climatique et électrique: température du module "T", Irradiation "G", courant à MPP "Imp_p" et tension à MPP "Vm_{pp}" , Courant court-circuit " ICC", circuit ouvert" VCO" , facteur de forme "FF", chaque attribut contient 51 données pour chaque cas d'exploitation, ce qui signifie un total de 255 données pour les cinq cas .

IV.4.4 description de réseaux :

Dans notre étude, Le classificateur MLP exige 6 neurone à son entrée, chaque neurone correspond à un attribut (T, G, Imp_pet Vm_{pp},Icc,Vco,FF) et un neurone à sa sortie correspondant à diagnostiqué les cinq cas étudiant (état sain et quatre état défectueux. Ce neurone produit la classe qui correspond à la fonction de densité de probabilité la plus élevée dans les unités d'addition .

-La figure ci-dessous montre la simulation de classificateur MLP dans le MATLAB :

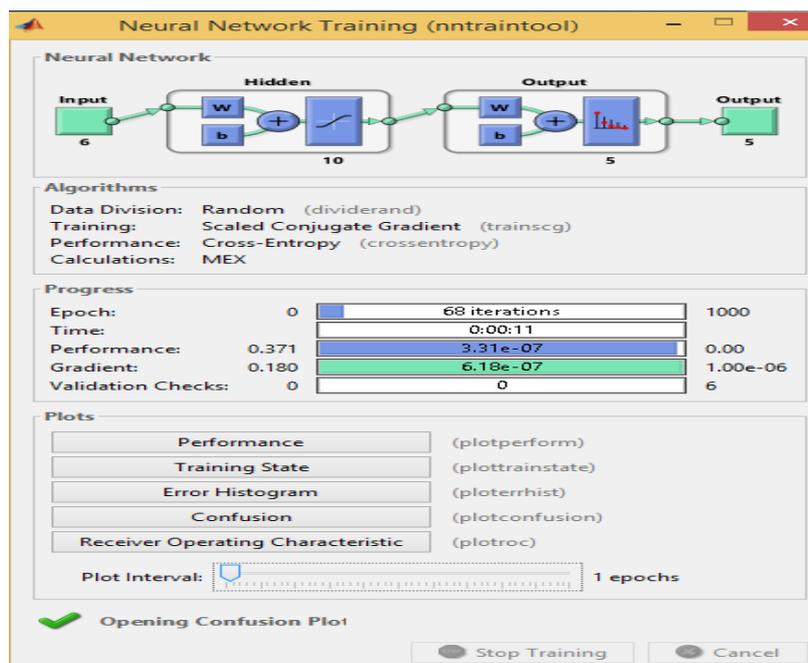


Figure IV.19: le MLP conçu par le Matlab.

Les neurones de motifs (neurones de la couche cachée) utilisent une fonction d'activation gaussienne (voir la Figure .6)

$$f(x) = e^{-\frac{(w_i - x_i)^2}{2\sigma^2}}$$

(IV.1)

Avec :

- Les w_i représentent les poids.
- Les x_i représentent les caractéristique du modèle.
- σ représente l'écart type

IV.4.5. Phase d'apprentissage :

le réseau de détection et de diagnostic est formé en utilisant l'apprentissage d'un ensemble de données obtenu et ne pas être traité dans la phase d'apprentissage. Il convient de noter ici que: D'une part, les données d'entrée (T, G, Impp et Vmpp ,Icc,Vco,FF), sont de type continu et directement injecté dans le MLP. Et d'un autre côté, les sorties (état sain, défaut # 1, défaut # 2, défaut # 3 et défaut # 4) sont variables nominales qui ne sont pas supportées par ce type de réseaux. Pour Cette raison, des codes particuliers, choisis arbitrairement, ont été assignés à les sorties MLP comme mentionné ci-dessous:

- Système sain: classe "1", et qui sera utilisé pour décrire le cas d'exploitation de bon état
- Défaut n ° 1: classe "2", l'ombrage d'un panneau .
- Défaut n ° 2: classe "3", l'ombrage de 2 panneaux.
- Défaut n ° 3: classe "4", 1 diode by pass court-circuit.
- Défaut n ° 4: classe "5", 2 diodes by pass court-circuit.

-Le tableau ci-dessous montre les cas opérationnel étudié ainsi que leurs codes :

Défaut	codage				
sain	1	0	0	0	0
Ombrage d'un panneau	0	1	0	0	0
Ombrage de 2 panneaux	0	0	1	0	0
1 diode bypass court-circuitée	0	0	0	1	0
2 diodes by- passe court-circuitées	0	0	0	0	1

IV.4.6. Etude de la performance du classifieur.

a) Influence du nombre de nœuds dans la couche cachée (M=10)

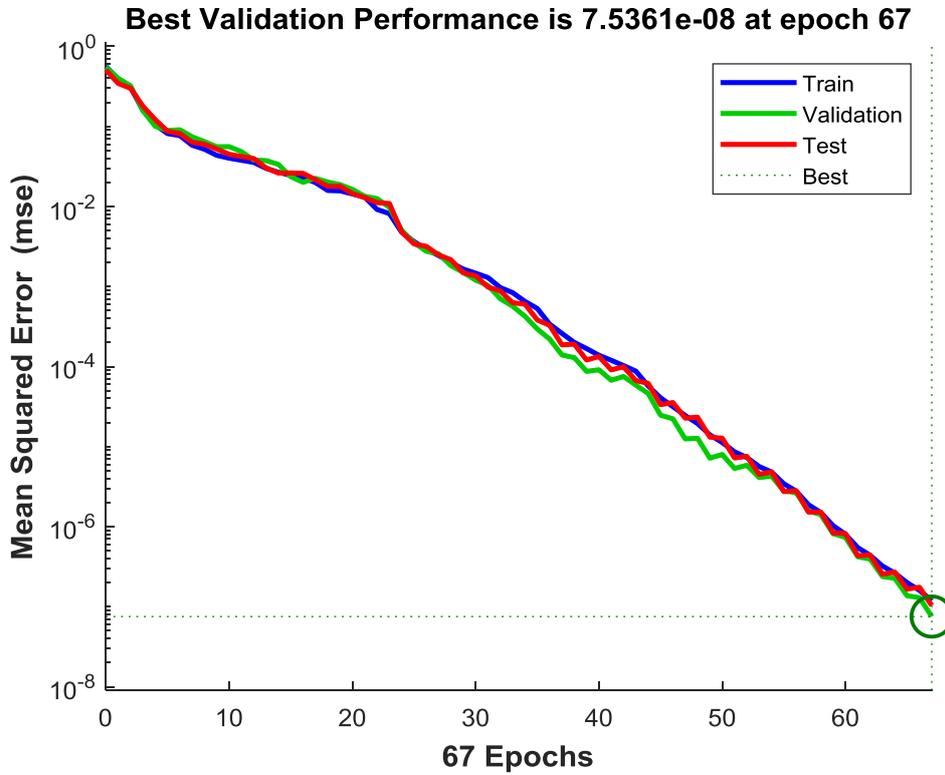


Figure IV.20.validation performance.

	1	2	3	4	5	
1	7 18.4%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
2	0 0.0%	9 23.7%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
3	0 0.0%	0 0.0%	6 15.8%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	8 21.1%	0 0.0%	100% 0.0%
5	1 2.6%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	7 18.4%	87.5% 12.5%
	87.5% 12.5%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	97.4% 2.6%
	1	2	3	4	5	
	Target Class					

Figure IV.21 Matrice confusion apprentissage(M=10).

-Dans le tableau ci-dessous, nous assemblons tous les résultats obtenus du classifieur MLP:

Résultat obtenir :

M=10	Accuracy de chaque classe	erreur de chaque classe
Classe 1	0,875	0,215
Classe 2	1	0
Classe 3	1	0
Classe 4	1	0
Classe 5	1	0
Globale	0,974	0,03

L' Accourcie du système est donnée par l'équation ci-dessous :

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{TP}+\text{TN}}{\text{TP}+\text{TN}+\text{FP}+\text{FN}}$$

Avec :

TN :true negative. et TP :true positive.

• **Les calculs :**

$$\text{Accourci(classé1)} = \frac{\text{TP}}{\text{TP}+\text{TN}} \quad \Longrightarrow \quad \frac{7}{7+1} = 0,875$$

Le pourcentage d'accuracy classe 1 est 87,5%.

Accuracy Globale :

$$\frac{\text{TP}+\text{TN}}{\text{TP}+\text{TN}+\text{FP}+\text{FN}} \quad \Longrightarrow \quad \frac{7+9+6+8+7}{7+9+6+8+7+1} = 0.974$$

Le pourcentage d'accuracy Globale est 97.4 %.

• Calcule d'erreur Mate(classé 1) :1-accuracy \Longrightarrow
 (1-0,875)=0,215.

b) Influence du nombre de nœuds dans la couche cachée (M=20)

Output Class	1	38 21.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	2	1 0.6%	34 19.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	97.1% 2.9%
	3	1 0.6%	0 0.0%	37 20.7%	0 0.0%	0 0.0%	97.4% 2.6%
	4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	33 18.4%	0 0.0%	100% 0.0%
	5	1 0.6%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	34 19.0%	97.1% 2.9%
			92.7% 7.3%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%
		1	2	3	4	5	
		Target Class					

Figure IV.22. matrice confusion apprentissage (M=20).

c) Influence du nombre de nœuds dans la couche cachée (M=30)

Output Class	1	39 21.8%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	2	0 0.0%	32 17.9%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	3	1 0.6%	0 0.0%	32 17.9%	0 0.0%	0 0.0%	97.0% 3.0%
	4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	38 21.2%	0 0.0%	100% 0.0%
	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	37 20.7%	100% 0.0%
			97.5% 2.5%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%
		1	2	3	4	5	
		Target Class					

Figure IV.23. matrice confusion apprentissage (M=30).

d) Influence du nombre de nœuds dans la couche cachée (M=40)

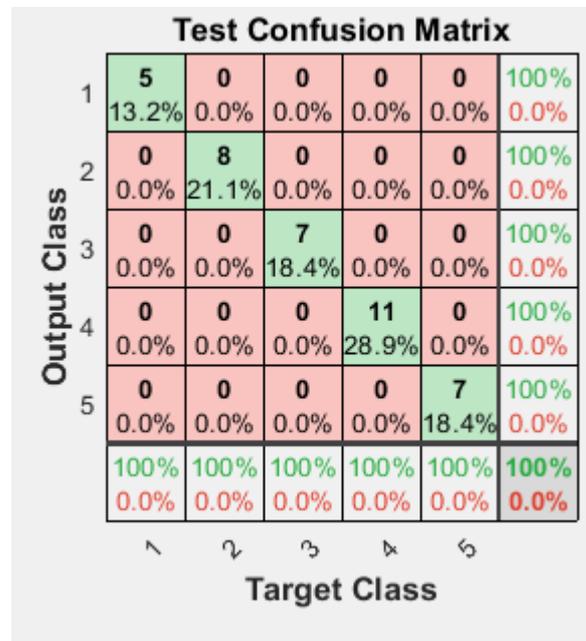


Figure IV.24. matrice confusion apprentissage (M=40).

e) Synthèse

M	global	Sain	défaut(d1)	défaut(d2)	défaut(d3)	défaut(d4)
M =10						
Accuracy	0.974	1	0,87	1	1	1
M=20						
Accuracy	0.983	1	0.972	1	1	1
M=30						
Accuracy	0.994	1	0.975	1	1	1
M=40						
Accuracy	1	1	1	1	1	1

Interprétation :

- On remarque que l'accuracy globale et de chaque cas différents dépendent la valeur de M .
- On remarque que la valeur maximum de cas sain c'est $M=40$.
- On remarque que la valeur maximum de cas défaut 1 est $M=40$.
- On remarque que la valeur maximum de cas défaut 2 est $M=40$.
- On remarque que la valeur maximum de cas défaut 3 est $M=40$.
- On remarque que la valeur maximum de cas défaut 4 est $M=40$.

IV.5. Conclusion:

Dans ce chapitre, a fait l'objet d'une étude en simulation concernant la mise en œuvre d'un technique d'apprentissage statistique MLP appliquée dans le domaine de la détection des défauts . Cette étude a permis la validation et l'évaluation des performances de chacune de ces méthodes présentées. Une étude comparative dans le but d'un choix décisif de la méthode la mieux adaptée à l'application a été effectuée.

Conclusion Générale et Perspectives :

L'énergie solaire photovoltaïque est récemment répandue à travers le monde, elle est en forte croissance depuis quelques années est reconnu comme étant une technologie moins chère

Pendant le fonctionnement du système de production d'énergie photovoltaïque (PV), le réseau PV peut présenter des dysfonctionnements, influençant la stabilisation du système.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons plus particulièrement à la détection et à l'identification des défauts du côté ombrage partiel et de court circuit du système photovoltaïque, c'est-à-dire du côté générateur photovoltaïque.

Le travail de ce mémoire porte principalement sur le réseau de neurones artificiels multicouches MLP appliqué à la détection des défauts de panneaux solaires.

Cela a fait l'objet d'une étude en simulation concernant la mise en œuvre d'un modèle d'apprentissage statistique appliqué dans le domaine de la détection et de la localisation des défauts avec réseau de neurones .

Pour ce faire, nous avons pris une base de données à partir de simulation utilisant le logiciel Matlab/Simulink.

Les réseaux de neurones artificiels MLP sont les réseaux choisis pour cette application. La classification supervisée est utilisée dans le domaine de la détection et de la localisation des différents défauts sur les panneaux photovoltaïques. La méthode utilisée lors de cette étude présente de bonnes performances en matière de taux de reconnaissance.

Le temps de de calcul à la phase d'apprentissage est très court, ce qui lui confère l'avantage d'une intégration dans un système de surveillance dynamique.

Perspectives :

- On peut utiliser autres classificateur et faire une étude comparative.
- Intégrer variables d'entrer pour augmenter la performance.

Références Bibliographiques :

- [1] Z. Bendjenoullouli , "Contribution a la modélisation d'une cellule solaire", Université de Bechar, 2009.
- [2]<https://www.lyceedadultes.fr/sitepedagogique/pages/PCTermSpe.html>ECOinfos, Documents Florian Poisson 2020..
- [3] <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/photovoltaique/comment-fonctionne-le-panneau-solaire-photovoltaique/fonctionnement-cellule-photovoltaique/>
- [4] Mr. Belaout Abdesslam, Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension, Thèse de magister Option : Instrumentation, UNIVERSITE – SETIF-1- U-S-1 (ALGERIE), 28/10/2014.
- [5] A. Zerga, "Optimisation du rendement d'une cellule solaire à base de silicium monocristallin de type n+p", Mémoire de Magistère Tlemcen-1998.
- [6] Y.Mebrak, "Contribution à l'étude et à la modélisation des éléments d'un système photovoltaïque", mémoire Magister, Département de Physique, Université Abou-BakrBelkaid, TlemcerL ,2011.
- [7] Mohammed .Telidjane, " Modélisation des panneaux photovoltaïques et adaptation de la cyclostationarité pour le diagnostic",Université de Jean Monnet Saint-Etienne,2017.
- [8] Site web : <https://nasrsolar.com/>
- [9] BelaoutAbdesslam," Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension", MEMOIRE MAGISTER , UNIVERSITE – SETIF-1- , ALGERIE , 2014.
- [10] S.messaoudiet A.gouga, "étude comparative de quelques techniques de poursuite du point de puissance maximale d'un générateur photovoltaïque", mémoire d'ingénieur d'état,département d' électrotechnique, Université Mohamed khider Biskra ,2007.
- [11] M-L. Louazene, "Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque su le site de Ouargla",mémoireMagister,département d'électrotechnique,Universitée el hadj Lakhdar,2008.
- [12] L.Bun, "Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV", thèse de doctorat, université de Grenoble, France, 2011.
- [13] R.KHENFER, "Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques", doctorat en sciences, université farehatabbas- setif 1,algerie 2015.
- [14]- Mallevalle J., Odendaal P.E., Wiesner M.R. « *The emergence of membranes in*

Références Bibliographiques

- water and waste water treatment* » In: Water Treatment Membrane Process, Chapitre 1, McGraw-Hill, 1996 10 p.
- [15]- L'eau dans les établissements de santé : guide technique du ministère des solidarités, de la sante et de la famille en France.
- [16]- M.LADJAL « *Contribution au développement de systèmes de surveillance innovants dédiés au contrôle de la qualité des eaux potables* » thèse de doctorat, université de m'sila 2013.
- [17]- A.SLIM ,» *contribution de l'analyse multivariée à l'étude de régression et la classification supervisée des données environnementales* », mémoire de master, université de m'sila 2012.
- [18]- Par Catherine Bossard. Hubert METAYER, «*Traitement d'eau* .
- [19] K.SARDI , « *Contrôle de la qualité de l'eau de la station d'hémodialyse De l'EHU 1er Novembre* » mémoire de master, université Mohamed Boudiaf de oran, 2014.
- [20] «http://colleges.planetetp.com/IMG/pdf/fiche_ressource_n03_cle889a33.pdf»
- [21]- S. Harley, « *L'analyse de la qualité de l'eau, Administration du rétablissement agricole*», TRE- 116-2002-03, Canada, Mars 2000.
- [22]- N. Valentin, T. Denoeux, F. Fotoohi, « *Modelling of coagulant dosage in a water treatment plant* », Proceedings of EANN'99, September 1999, Warsaw, Poland, pp. 165-170
- [23]- H. R. Hernández De León, « *Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable* », Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, CNRS, N° 06584, France, 2006.
- [24] Mats Leander Mathisen, «*Noise filtering from a nonlinear system by using AANN*, MASTER'S THESIS, Université de Stavanger, Norvège ,June 9th 2010.
- [25] Mohamed Hassan Alia, Abdelhamid Rabhi, AhmedEl hajjajiand GiuseppeM. Tina, « *Real Time Fault Detection in Photovoltaic Systems*, 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-16, 11-13 September 2016, Turin, ITALY. Energy Procedia 111, 2017..
- [26] P. Jenithaand A. Immanuel Selvakumar, «*Fault Detection in PV Systems*, Applied Solar Energy, 2017, Vol. 53, No. 3, pp. 229–237. Allerton Press, Inc., 2017.
- [27] A.E. ToubalMaamar, S. Ladjouzi, R. Taleb and Y. Kacemi, « *Détection et classification de défauts pour un GPV: Etudecomparative entre la méthode de seuillage et réseaux de neurones*, Revue des Energies Renouvelables Vol. 21 N°1 (2018) 45 – 53

Références Bibliographiques

- [28] <https://www.jade-technologie.com/composition-dun-panneau-solaire/>
- [29] Aziz TOULAIT. Rachid Aili, « Modélisation et simulation sous MATALAB/SIMULINK d' photovoltaïque adapté par une commande MPPT, Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, 29 septembre 2014.
- [30] <https://energieplus-lesite.be/theories/photovoltaique6/caracteristiques-electriques-des-cellules-et-des-modules-photovoltaiques/>
- [31] Abdelkarim GHEZAL, «ASPECTS TECHNIQUES DES PROJETS SOLAIRES PV RACCORDÉS AU RÉSEAU. FORMATION SUR LES ÉTUDES DE FAISABILITÉ TECHNICO- ÉCONOMIQUE DES PROJETS PHOTOVOLTAÏQUES RACCORDÉES AU RÉSEAU.
- [32] *HAMOUDI* Youness , «Résolution numérique de la caractéristique I(V) et étude des paramètres d'une cellule photovoltaïque, Présenté en vue d'obtenir le diplôme de MASTER, Université Abdelhamid Ben Badis – Mostaganem, 2017-2018.
- [33] Long BUN, «Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV, thèse Pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE, 04/11/2011.
- [34] KHENFER Amar, «Etude et conception d'une architecture en vue de la détection de défauts dans une installation photovoltaïque, Mémoire de Magister, UNIVERSITE SETIF 1, 09/12/2014.
- [35] Seif Eddine NAFFOUTI, «Dimensionnement et commande d'un hacheur parallèle alimenté par une source photovoltaïque, these pour obtenir le diplôme national d'ingénieur , Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir, 02/07/2012.
- [36] Dr. BELAID LALOUNI Sofia , « Cours Energie Solaire Photovoltaïque »Université A.MIRA de BEJAIA,2015.