

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira - Béjaïa
Faculté de Technologie

d'Automatique, Télécommunication et d'Electronique

Projet de Fin d'Étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electronique

Spécialité : Instrumentation

Thème

Méthodes de diagnostic des panneaux photovoltaïques

Préparé par :

Mr. BOUKEROUIS Adnane

Mr. FERKANE Toufik

Dirigé par :

Mr.TAFININE

M^{me}.IBAOUENE

Examiné par :

M^{me} IGDAREN.

M^{me} OUALI.

Année universitaire : 2021/2022

REMERCIEMENTS

Nous remerciant Allah le tout puissant de nous avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier vivement nos promoteurs :

Mr. TAFININE de nous avoir reçus à l'Université Bejaïa et pour ses précieux conseils et pour le suivi qu'il nous a assuré durant la conception et la rédaction de ce mémoire.

M^{eme}. IBAOUENE pour ses précieux conseils, ses encouragements, son professionnalisme et tout l'aide qu'elle nous a apporté peut un port les circonstances afin de réaliser ce mémoire.

Nous tenons également à remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger notre travail.

Enfin, nous n'oublions pas nos familles pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Merci

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de ma mère

A mon cher père en témoignage de reconnaissance,

d'encouragements et de soutiens.

A ma belle mère

A mes chers frères

A mes chères sœurs

A toute ma famille et mes amis

A ceux qui m'ont soutenu pendant toute la durée de mes études.

BOUKEROUIS Adnane

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents pour leurs encouragements, leurs aides et leurs Assistances.

A mes très chères sœurs

A tous mes proches A tous mes amis

A tous ceux qui ont contribué à notre réussite.

FERKANE Toufik

RESUME

Résumé :

Les énergies renouvelables sont le moteur de toute activité humaine d'actualités. On considère que cette énergie est inépuisable. Les systèmes d'énergies renouvelables sont exposés à des dysfonctionnements et des défaillances dans leurs installations. Ces systèmes succombent en se détériorent pendant la période d'exploitation. Ceci exige de développer un système de diagnostic dont le but principal est d'aligner des indicateurs pour détecter des défauts afin de préserver une excellente production d'énergie du système photovoltaïque. Une recherche approfondit est réalisée pour diagnostiquer des défauts dans le système photovoltaïque grâce à la technique de l'intelligence artificielle, Cette étude consiste à développer un algorithme basant sur la méthode des réseaux de neurones artificiels pour détecter les défauts dans un système photovoltaïque.

Liste des figures

Figure 1.1 : Schéma d'une cellule PV

Figure 1.2 : Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Figure 1.3: Les différentes couches constituant un module PV

Figure 1.4 : Schéma équivalent d'une cellule PV modèle à une diode

Figure 1.5: Schéma équivalent d'une cellule PV modèle à deux diodes

Figure 1.6 : Circuit équivalent simple de la cellule PV

Figure 1.7: Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle de Bishop

Figure 1.8: Fonctionnement de la cellule dans le 3^{ème} quadrant de la caractéristique I-V à cause de l'ombre

Figure 1.9: Module de 36 cellules protégé par deux diodes de by-pass

Figure 1.10: diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion

Figure 1.11: courbe courant / tension d'une cellule pour 2 valeurs irradiantes

Figure 1.12: courbe puissance / tension d'une cellule pour 2 valeurs irradiantes

Figure 1.13: Influence de l'éclairement sur la caractéristique I-V d'une cellule solaire.

Figure 1.14 : Influence de la température sur la caractéristique I-V d'une cellule solaire éclairée.

Figure 1.15: influence de la résistance série sur la caractéristique I-V d'une cellule solaire éclairée.

Figure 1.16: influence de la résistance shunt sur la caractéristique I-V d'une cellule solaire éclairée.

Figure 1.17: influence du courant de saturation sur la caractéristique I-V d'une cellule solaire éclairée.

Figure 1.18: influence du facteur d'idéalité sur la caractéristique I-V d'une cellule solaire éclairée.

Figure 1.19: Caractéristique de l'association en série de cellules solaires.

Figure 1.20: Association de cellules photovoltaïques identiques en parallèle.

Figure 3.1: Schéma simplifié d'un neurone biologique.

Figure 3.2 Modèle d'un neurone artificiel.

Figure 3.3 Représentation matricielle du modèle d'un neurone artificiel.

Figure 3.4 : Architecture d'un réseau de neurones

Figure 3.5 : Différents types de fonctions de transfert pour le neurone artificiel.

Figure 3.6 : Apprentissage supervisé

Figure 3.7 : Apprentissage non supervisé.

Figure 3.8 : courbe représentant la régression linière.

Figure 3.9 : Un exemple de sur apprentissage.

Figure 4.1:Simulation du système photovoltaïque sous Matlab.

Figure 4.2: Courbes I-V et P-V mesurées et simulées pour notre système.

Figure 4.3: Régression linière entre la sortie et le Target.

Figure 4.4: L'erreur quadratique.

Figure 4.5 : Schéma Simulink du modèle de détection de défaut.

Figure 4.6 : Entrée et sortie dans le modèle de détection de défaut (cas N).

Figure 4.7 : Entrée et sortie dans le modèle de détection de défaut (cas 1).

Figure 4.8 : Entrée et sortie dans le modèle de détection de défaut (cas 2).

Figure 4.9: Entrée et sortie dans le modèle de détection de défaut (cas 3).

Figure 4.10: Entrée et sortie dans le modèle de détection de défaut (cas 4).

Figure 4.11: Entrée et sortie dans le modèle de détection de défaut (cas 5).

Figure 4.12: Entrée et sortie dans le modèle de détection de défaut (cas aléatoire).

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

Tableau 4.1 : Données du panneau p-Si China Light Solar CLS220P

Tableau 4.2 : Calcul des cinq paramètres (paramètres caractéristiques) pour mode idéal, normal et défectueux pour $E = 1000 \text{ w / m}^2$.

Tableau 4.3 : les données recueillies pour différents niveaux d'irradiante.

Tableau 4.4 : Sortie correspondant au type de défaut.

Schéma : algorithme de diagnostic.

LISTE DES SYMBOLES

Liste des symboles

PV : photovoltaïque

GPV : générateur photovoltaïque

DC: Direct current

AC: Alternating current

PPM : Point de Puissance Maximale

MPPT: Maximum Power Point Tracking

Voc : Tension de circuit ouvert [V]

Icc : Courant de court-circuit [A]

E : Niveau d'éclairement (ou d'irradiation) [W/m²]

I_o : Courant de saturation de la diode [A]

n : Le facteur de non idéalité de la jonction de la diode

K : La constante de Boltzmann

T : La température effective de la cellule

[°K] q : La charge de l'électron

SOMMAIRE

Remerciement	
Dédiassse	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des symboles	
Introduction générale	1
Chapitre 01 :	
I-1Introduction :	3
I-2Historique :	3
I-3 L'effet photovoltaïque	4
I-4Principe générale d'une cellule photovoltaïque :	5
I-4-1 Cellules à base de silicium monocristallin :	5
I-4-2Cellule en silicium poly cristallin :	6
I-4-3Cellule silicium amorphe en couche mince :	6
I-4-4 Cellule sans silicium en couche mince CIS / CIGS :	7
I-4-5 Cellule multi jonction :	7
I-5 Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :	8
I-5-1 Interaction lumière-matière :	8
I-5-2 Transfère d'énergie des photons aux électrons :	9
I-5-3 Collecte des charges électriques :	9
I-6 L'énergie solaire photovoltaïque :	9
I-7 Les constituants d'un module PV :	10
I-8 Les modèles de la cellule PV :	10
I-8-1 Modèle à une diode :	11
I-8-2 Modèle à deux diodes :	11
I-8-3 Modèle empirique :	12
I-8-4 Modèle de Bishop :	12
I-9 Protection d'un générateur photovoltaïque :	13
I-9-1 Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surtensions :	
	13
I-9-2 Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités :	13
I-9-2-1 Ombrage d'un générateur :	13

I-9-2-2 Les courants inverses :	14
a) Diode de by-pass:	14
b) Diode anti-retour :	15
I-10 Influence des différents paramètres sur la caractéristique I-V :	15
I-10-1 Influence d'éclairement :	16
I-10-2 Influence de la température :	17
I-10-3 Influence de la résistance série et la conductance shunt :	18
I-10-4 Influence du courant de saturation et du facteur d'idéalité :	19
I-11 Association des cellules :	21
I-12 Conclusion :	22
Chapitre 02 :	
II-1 Introduction :	25
II-2 Défauts du système photovoltaïque	25
II-2-1 Défauts du module PV	25
II-2-1-1 Défaut d'encapsulation	25
II-2-1-2 Perte d'adhérence de back-sheet	25
II-2-1-3 Fissuration des cellules	25
II-2-1-4 Interconnexion endommagée :	26
II-2-1-5 Ombrage et des salissures :	26
II-2-2 Défauts au niveau de convertisseur DC/DC :	26
II-2-3 Pannes au niveau de la boîte de jonction :	27
II-2-4 Défauts de diodes by-pass :	27
II-2-5 Défaut de mismatching :	27
II-2-6 Défaut de terre :	27
II-2-7 Défaut d'arc :	27
II-3 Diagnostic des défauts dans un système photovoltaïque :	28
II-3-1 Etape de diagnostic :	28
II-3-2 Objectifs :	28
II-4 Méthodes de détection de défauts liés aux systèmes photovoltaïques :	29
II-4-1 Caractérisation électrique :	29
II-4-1-1 Méthode indépendante des données climatiques :	29
II-4-1-2 Mesure de tension/courant :	29
II-4-1-3 Comparaison des valeurs simulées et mesurées des signaux de sortie de système PV :	29

II-4-1-4 Analyse des pertes de puissance :	29
II-4-1-5 Modèles basés sur la température et échange de chaleur :	29
II-4-1-6 Technique d'intelligence artificielle :	30
II-5 Conclusion :	30
Chapitre 03 :	
III-1 Introduction :	32
III-2 Historique :	32
III-3 Neurone biologique :	32
III-4 Neurone formel :	34
III-5 Le perceptron :	35
III-6 Composition d'un réseau de neurones (RNA) :	36
III-7 Fonction d'activation :	37
III-8 Apprentissage d'un réseau de neurones :	38
III-9 Algorithmes d'apprentissage du perceptron multicouche :	39
III-9-1 L'Algorithme de la retro propagation du gradient :	39
III-10 Régression linière :	41
III-11 Conclusion :	43
Chapitre 04 :	
IV-1 Introduction :	45
IV-2 Détection et classification de défaut pour un GPV :	45
IV-2-1 Simulation du tableau PV sous MATLAB / SIMULINK :	46
IV-2-2 Simulation des défauts dans le générateur photovoltaïque :	47
IV-3 Application de la méthode des réseaux de neurones (ANN) :	49
IV-3-1 Collecte de données :	49
IV-3-2 Mécanismes des réseaux de neurones (ANN) pour détection des défauts du system PV :	51
IV-3-3 Détection des défauts :	54
IV-4 Résultats et discussions :	54
IV-5 Conclusions :	55
Conclusion générale	56
Liste bibliographiques	58



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Durant ces dernières décennies, l'utilisation des ressources énergétiques renouvelables pour la production d'énergie électrique a connu une évolution très remarquable. La cause principale de ce développement se cache derrière les pronostics d'épuisement des ressources énergétiques conventionnelles : fuel, gaz naturel, charbon etc. Pour ce fait, le développement des ressources énergétiques renouvelables est de plus en plus sollicité à la fois par les producteurs d'énergie et les pouvoirs publics.

Cependant le marché du photovoltaïque a connu une croissance très considérable. L'énergie photovoltaïque est une source d'énergie intéressante. Elle est renouvelable, inépuisable et non polluante. Son utilisation requière une large surface d'applications et pour satisfaire les contraintes du coût, le système devrait présenter une bonne exploitation des cellules photovoltaïques. Donc on peut dire que le Photovoltaïque a trouvé son utilité dans des applications à petites échelles.

Dans ce dernier cas, la conception, l'optimisation et la réalisation des systèmes photovoltaïque est devenue une technologie mature de l'énergie puisqu'ils conduisent sûrement à une meilleure exploitation de l'énergie solaire. Pour une installation photovoltaïque, Une bonne rentabilité du générateur photovoltaïque peut être réalisée si celui-ci travaille au maximum de puissance durant une longue durée, de plus ce dernier ne fonctionne plus dans les conditions optimums.

L'étude bibliographique est prolifique que sur le diagnostic des défauts par différentes approches et modèles qui peuvent être électriques ou non selon l'étude de ces phénomènes pour apercevoir le comportement des panneaux photovoltaïques.

Ce mémoire présenté est rédigé autour de quatre chapitres qu'on décrit comme suit:

Dans le premier chapitre, nous présentons une description détaillée des systèmes photovoltaïques. Puis nous exposons l'effet photovoltaïque et plus précisément le phénomène physique débité pour concevoir une énergie électrique tout en passant par le fonctionnement des cellules et du module photovoltaïque. Ensuite, la deuxième partie de ce chapitre est consacrée pour une approche de modélisation du système photovoltaïque pour s'informer du modèle de la cellule PV, du module PV.

INTRODUCTION GENERALE

Dans le deuxième chapitre, on expose les différents défauts liés au système photovoltaïque susceptible de se produire durant son utilisation, et par la suite, on liste les nombreuses méthodes qui vont nous permettre d'identifier ses derniers afin d'avoir une maximisation du rendement.

Dans le troisième chapitre, nous présentons une brève vue des réseaux de neurones puis nous expliquons le principe de l'apprentissage des RNA et le principe de la descente du gradient qui sert à minimiser l'erreur d'apprentissage.

Le quatrième et dernier chapitre est destiné à une démarche pragmatique de détection des défauts pour les systèmes photovoltaïques et aux résultats de la simulation des différents défauts photovoltaïques et leur discussion. Il s'agit ici de faire une comparaison basée sur le réseau de neurone et discriminer l'intégralité des défauts désignés dans notre étude.

Enfin, nous clôturons notre travail par une conclusion générale.



CHAPITRE I

Le système photovoltaïque

I-1 Introduction :

Avec la raréfaction des ressources naturelles constater durant ses dernières décennies, ajouté à ceux-là les enjeux écologiques et financiers observés. L'humanité à envisager de se tournée vers des énergies renouvelables, abondantes, faciles a exploité et plus important, saines écologiquement.

Ce chapitre est dédié à la présentation des généralités sur les énergies renouvelables et le photovoltaïque. Dans cette partie de notre étude, nous allons étudier la relation entre les énergies renouvelables et l'énergie solaire en se basant sur les méthodes de fabrications et de fonctionnements de cette dernière. Dans ce chapitre, nous aborderons les concepts généraux sur l'énergie solaire et le modèle équivalent d'une phot cellule et du générateur photovoltaïque et sans oublier les caractéristiques et les méthodes de fonctionnement les plus courantes.

I-2 Historique :

1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide.

C'est l'effet photovoltaïque.

1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatial naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie [1].

A. L'effet photovoltaïque en Algérie :

Depuis des décennies, l'Algérie est connue comme un pays producteur d'hydrocarbures liquides ou gazeux. Les besoins énergétiques du pays sont satisfaits à 99% par les hydrocarbures (pétrole et gaz). À long terme, la reconduction du modèle national de consommation énergétique actuel peut rendre problématique l'équilibre offre-demande. De même, la production d'électricité, produite en totalité à partir des hydrocarbures, devrait se situer entre 75 à 80 TWh en 2020 et entre 130 à 150 TWh en 2030. En ce sens et pour s'assurer de disposer d'approvisionnements énergétiques suffisants, l'intégration massive des énergies alternatives dans le mix énergétique constitue un enjeu majeur en vue de préserver les ressources fossiles, de diversifier les filières de production de l'électricité et de contribuer au développement durable. [2]

En effet, l'expert en transition énergétique, a estimé que l'Algérie a un « potentiel de production des EnR atteignant les 400 500 térawatts/heure (TWH)/an ». Il précise que « le potentiel solaire photovoltaïque est estimé à plus de 235 700 TWH/an et celui de l'éolien dépassera 12 940 TWH/an ». [3]

L'ancien président du GIC-Algeria a fait savoir à propos de la question de la production de l'électricité éolienne, qu'il y a « des zones en Algérie qui pourraient atteindre plus 5 500 heures de vent par an sur une étendue qui dépasse 145 000 km², notamment dans le sud du pays (Adrar et Tamanrasset), les hauts plateaux (Djelfa et Khenchela) et un peu dans le nord (la Kabylie et l'Oranie)qui sont très favorables à l'installation de l'éolien » souligne-t-il, en précisant que « 80 % de ce potentiel est sur 9 wilayas ». [3]

I-3 L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. [4]

Le principe de l'effet photovoltaïque est le suivant :

- a. Les "grains de lumière"- les photons - heurtent la surface du matériau photovoltaïque disposé en cellules ou en couche mince.
- b. Ils transfèrent leur énergie aux électrons présents dans la matière, qui se mettent alors en mouvement dans une direction particulière.

CHAPITRE I

c. Le courant électrique continu qui se crée est alors recueilli par des fils métalliques très fins connectés les uns aux autres et acheminé à la cellule suivante. [4]

La puissance du champ photovoltaïque est directement proportionnelle aux nombres de cellules employées dans une installation. Seulement, une exposition au rayonnement homogène de l'ensemble de la surface est exigée pour une meilleure rentabilité. Pailleurs, l'obtention de puissance maximale peut être assurée par observation des 3 critères : l'orientation, l'inclinaison et la température. Cette dernière doit être maintenue à un niveau minimal au sein du dispositif par une ventilation importante. [5]

I-4 Principe générale d'une cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est principalement constituée à partir de silicium dopé (semi-conducteur: jonction P-N). Lorsqu' une cellule est exposée au rayonnement électromagnétique solaire, les photons de la lumière transmettent leur énergie aux atomes de la jonction. Cette énergie permet aux électrons de libérer des atomes, générant ainsi des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ces charges sont alors maintenues séparées par un champ électrique qui constitue une \leq barrière de potentiel \geq . [1]

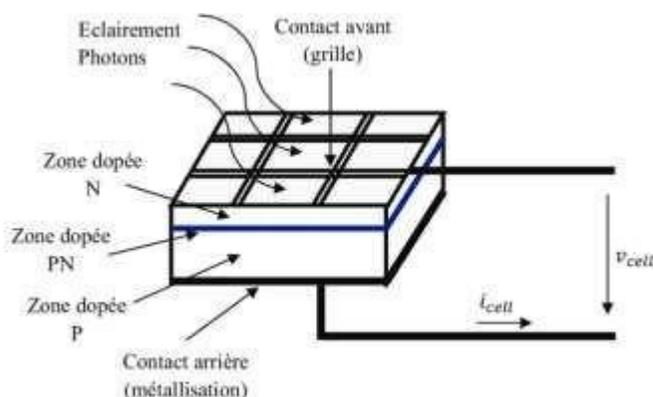


Figure 1.1 : Schéma d'une cellule PV [1]

Une fois les charges P et N isolées, il suffit de fermer le circuit entre ces 2 zones (P et N) pour mettre en mouvement les électrons et créer ainsi un courant électrique. [1]

Ci-dessous les différents types de cellules photovoltaïques les plus répandus :

I-4-1 Cellules à base de silicium monocristallin :

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme. [6]

- **Avantage :**

- Meilleur rendement que le poly cristallin (environ 150 Wc/m²)
- Durée de vie importante (+/- 30 ans)
- Rendement module commercial : 12 à 20%
- Rendement record en laboratoire : environ 25%

- **Inconvénient :**

- Plus cher que le poly cristallin
- Rendement faible sous un faible éclairement

I-4-2 Cellule en silicium poly cristallin :

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.

[6]

- **Avantage :**

- Bon rendement (environ 100 Wc/m²)
- Durée de vie importante (+/- 30 ans)
- Moins cher que le monocristallin
- Rendement module commercial : 11 à 15%
- Rendement record en laboratoire : environ 20%
- Ces cellules ont pour l'instant le meilleur rapport qualité / prix

- **Inconvénient :**

- Rendement faible sous un faible éclairement

I-4-3 Cellule silicium amorphe en couche mince :

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé ou marron. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires". [6]

- **Avantage :**

- Fonctionnent avec un éclairement faible
- Bon marché par rapport aux autres types de cellules
- Moins sensible aux températures élevées
- Souple
- Ces cellules à faible rendement peuvent fonctionner en intérieur, elles sont

CHAPITRE I

principalement utilisées pour des applications à faible puissance (ex : calculatrice)

- **Inconvénient :**

- Rendement faible en plein soleil (environ 60 Wc/m²), les cellules en couche mince nécessite une surface plus importante pour atteindre les mêmes rendements que les cellules épaisses
- Durée de vie courte (+/- 10 ans), performances qui diminuent sensiblement avec le temps
- Rendement faible : 5 à 9%
- Rendement record en laboratoire : environ 13,4%

I-4-4 Cellule sans silicium en couche mince CIS / CIGS :

Les cellules CIS représentent une nouvelle génération de cellules solaires sous forme de films minces, de type CIS (cuivre, indium, sélénium) ou CIGS (cuivre, indium, gallium et sélénium). Les matières premières nécessaires à la fabrication de ces cellules sont plus faciles à se procurer que le silicium utilisé dans les cellules photovoltaïques classiques (bien que ce dernier soit déjà très abondant sur terre). De plus, leur efficacité de conversion énergétique est la plus élevée à ce jour pour des cellules photovoltaïques en couche mince. [6]

- **Avantage :**

- Meilleurs rendements par rapport aux autres cellules photovoltaïques en couche mince
- La cellule peut être construite sur un substrat flexible
- Rendement module commercial : 9 à 11%
- Rendement record en laboratoire : environ 19,3%

- **Inconvénient :**

- Les cellules en couche mince ont un rendement plus faible que les cellules "épaisses"
- Suite aux investissements massifs dans les cellules "traditionnelles" (silicium) au début des années 2000 qui a entraîné une baisse importante des coûts de fabrication, les cellules sans silicium en couche mince ont perdu leur avantage concurrentiel

I-4-5 Cellule multi jonction :

Les cellules multi-jonction sont composées de différentes couches qui permettent de convertir différentes parties du spectre solaire et ainsi d'obtenir les meilleurs rendements de

conversion. [6]

- **Avantage :**
 - Rendement inégalé
 - Rendement record en laboratoire : environ 40% (sous une concentration de 240 soleils)
- **Inconvénient :**
 - Pas ou peu d'applications commerciales
 - Développé pour les applications spatiales, ce type de cellule n'est pas encore commercialisable

I-5 Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est le suivant :

Les « grains » de lumière qu'on appelle **photons**, en pénétrant très légèrement dans le **silicium**, déplacent quelques électrons du métal. Le métal semi-conducteur ne permettant le déplacement des électrons que dans un sens, les électrons déplacés par la lumière doivent passer par le circuit extérieur pour revenir à leur place, ce qui engendre un courant. [7]

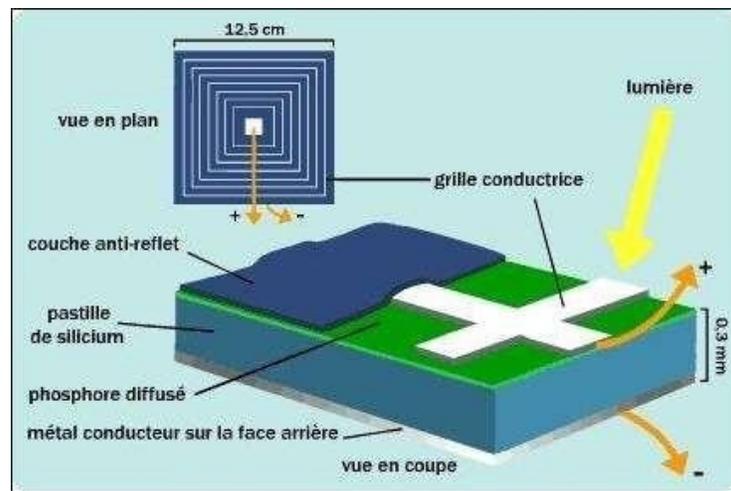


Figure 1.2 : Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [8]

I-5-1 Interaction lumière-matière :

Le rayonnement solaire est constitué de photons transportant chacun une énergie qui répond, elle-même, à la relation suivante :

Où elle représente la quantité d'énergie, λ la longueur d'onde, la constante de Planck et c la vitesse de la lumière. Les photons incidents sont absorbés par le silicium en fonction de leur longueur d'onde. Les photons de basse longueur d'onde est donc plus énergétiques (Ultra-violet)

CHAPITRE I

seront absorbés dans les premiers micromètres de la cellule tandis que les photons de plus grande longueur d'onde (Infra-rouge) peuvent atteindre la face arrière et être réfléchis par cette dernière. La largeur de la bande interdite E_g est un paramètre important car il détermine le seuil d'absorption. En effet, le photon interagit avec l'électron uniquement s'il peut fournir une énergie supérieur à la bande interdite E_g . [9]

I-5-2 Transfère d'énergie des photons aux électrons :

Les photons incidents apportent l'intégralité de leur énergie pour donner naissance à des paires électrons-trous, appelés plus couramment porteurs photo-générés. Les porteurs minoritaires, les électrons dans un matériau dopé p, les trous dans un matériau dopé n, diffusent sous l'effet de gradients de concentration vers l'interface. Ils sont ensuite entraînés par le champ électrique et atteignent la région dans laquelle ils sont majoritaires pour participer au photo-courant [9].

I-5-3 Collecte des charges électriques :

Pour que chaque photon puisse transférer la quantité d'énergie qu'il porte, il faut que le matériau qui reçoit cette lumière soit semi-conducteur, une situation intermédiaire entre l'isolant, où les électrons ne peuvent pas circuler, et le conducteur, où les électrons sont totalement libres de circuler.

Quand la lumière pénètre dans un semi-conducteur, ses photons apportent l'énergie permettant aux électrons de se déplacer et ainsi créer un courant électrique. [10]

I-6 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 où 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 contient de micro puissance calculé en watt crête (W_c) 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. [11]

I-7 Les constituants d'un module PV :

Fabrication d'un module photovoltaïque, l'encapsulation a pour but de regrouper les cellules en série ou en parallèle afin de permettre leur utilisation à des tensions et des courants Pratiques tout en assurant leur isolation électrique et leur protection contre les facteurs extérieurs. Cette protection doit permettre une durée de vie des modules photovoltaïques supérieure à 20 ans.

En pratique, l'encapsulation consiste à la mise en sandwich de l'ensemble constitué par les cellules et le matériau encapsulant (EVA) entre deux plaques de verre (procédé bi-verre) ou entre une plaque de verre et un ensemble constitué de couches minces de polymère (tedlar, mylar) et d'aluminium (procédé mono-verre). L'encapsulation des cellules photovoltaïques est illustrée entre deux couches de thermoplastique [12].

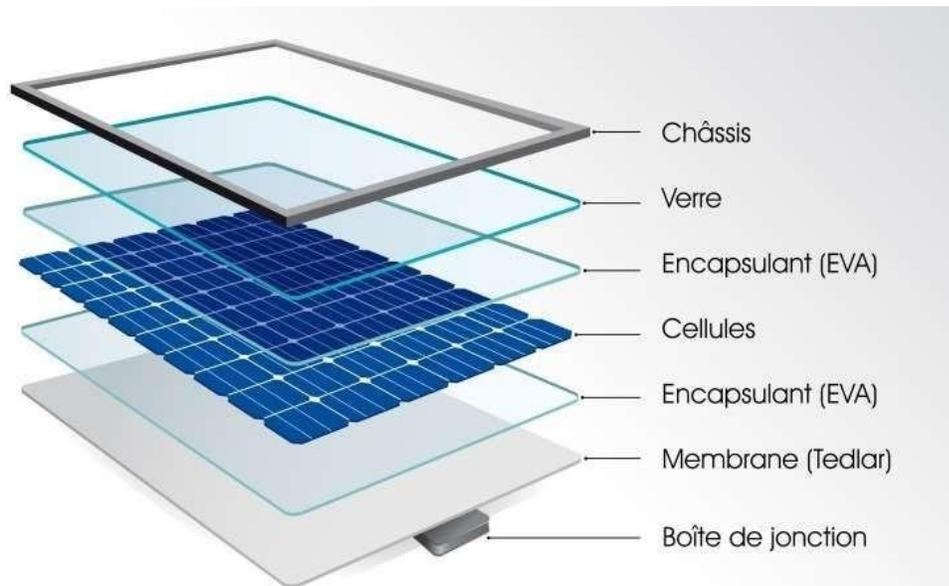


Figure 1.3: Les différentes couches constituant un module PV [13]

I-8 Les modèles de la cellule PV :

La partie modélisation du système photovoltaïque est réalisée dans le but de générer des indicateurs de défauts (symptômes) pour notre système de diagnostic. L'objectif du système de diagnostic étant de détecter et localiser des défauts dans le système PV, nous avons choisi d'arrêter l'analyse du système PV à la seule sous partie concernant le côté DC du générateur PV.

[9]

I-8-1 Modèle à une seule diode :

Le modèle à une seule diode donne une représentation simple de la réalité de la cellule solaire. Son circuit équivalent comprend, une source de courant d'intensité proportionnelle à l'irradiation incidente, en parallèle avec une diode, la résistance shunt R_{sh} représente le courant de fuite à la terre. Les pertes internes dues au flux de courant et interconnexion entre les cellules sont modulés par une résistance série R_s . [14]

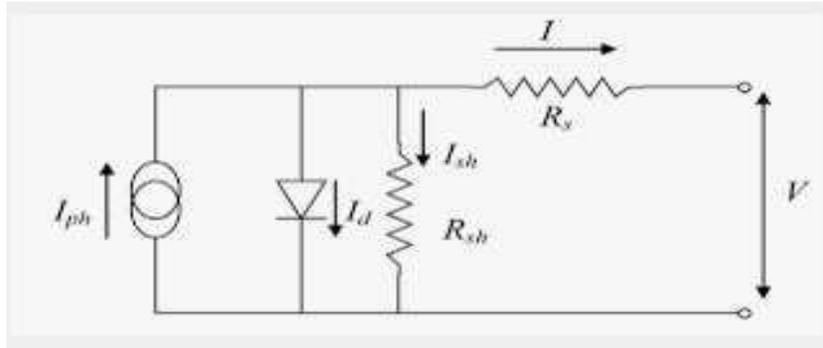


Figure 1.4 : Schéma équivalent d'une cellule PV modèle à une diode [12]

$$I = I_{PH} - I_0 \dot{\epsilon}$$

Les conditions de référence et ref : sont les conditions extérieures pour lesquelles sont spécifiées les données de base utilisées pour l'établissement du modèle (V_{co} , I_{co} , V_{max} , I_{max}), se sont, soient les spécifications du fabricant, toujours données aux STC (Standard Test Conditions, 1000 W/m^2 , 25°C , spectre AM1.5), soient des valeurs issues d'une mesure du module [9].

I-8-2 Modèle à deux diodes :

Actuellement le modèle électrique le plus proche d'une cellule photovoltaïque est celui à deux diodes (double exponentiel), où la cellule est bien sûr présentée comme un générateur de Courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant avec deux diodes en parallèle. Et pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, comme les modèles précédents, ce modèle est complété par les deux résistances série R_s et parallèle R_{sh} comme le montre le schéma électrique équivalent [12].

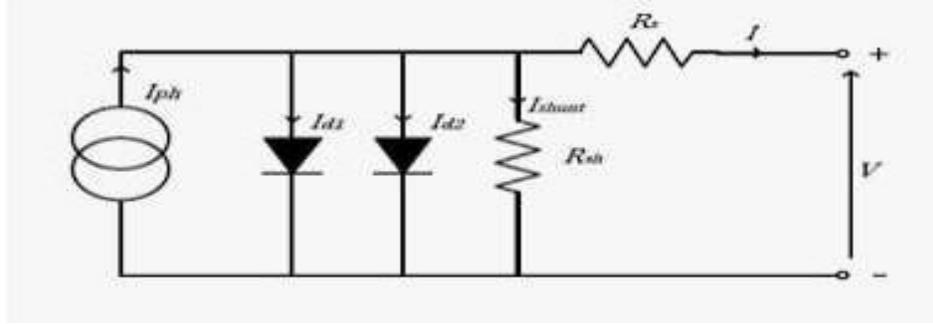


Figure 1.5: Schéma équivalent d'une cellule PV modèle à deux diodes [12]

$$I = I_{ph} - \frac{V - R_s I}{R_{sh}} - I_{s1} \left[\exp\left(\frac{q(V - R_s I)}{A_1 k T}\right) - 1 \right] - I_{s2} \left[\exp\left(\frac{q(V - R_s I)}{A_2 k T}\right) - 1 \right] \quad (\text{II-1})$$

I-8-3

Modèle empirique :

L'avantage majeur de ce modèle le nombre limité des paramètres qui peuvent être facilement trouvé dans les data-sheets des constructeurs.

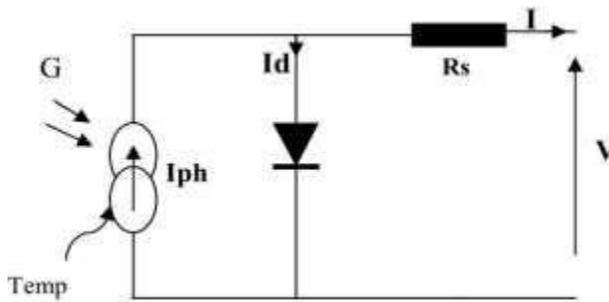


Figure 1.6 : Circuit équivalent simple de la cellule PV [9]

La relation entre le courant de sortie et la tension aux bornes de la cellule est dérivée de l'équation 2.1 en supposant que $R_{sh} = \infty$ [9]

I-8-4

Modèle de Bishop :

Le modèle de Bishop est un modèle qui prend en considération l'effet d'avalanche de la cellule, et cela en ajoutant au modèle à une diode un multiplicateur non linéaire $M(V_1)$ en série avec la résistance shunt. Ce multiplicateur correspond au dernier terme de l'équation (II-1) qui donne la relation entre le courant (I) et la tension (V) d'une cellule PV. [12]

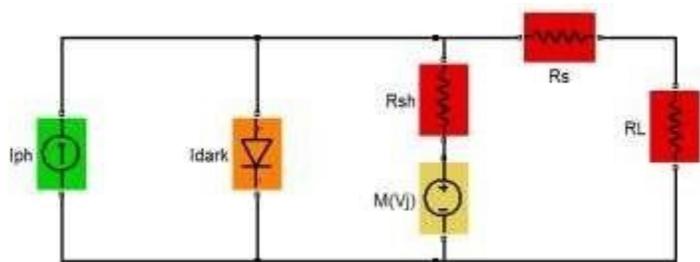


Figure 1.7: Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle de Bishop [9]

I-9 Protection d'un générateur photovoltaïque :

Comme pour les autres centrales électriques, il existe plusieurs sortes de protection pour une installation photovoltaïque :

I-9-1 Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surtensions :

Les surtensions sont présentées de plusieurs manières dans une installation PV. Elles peuvent être [15];

1. transmises par le réseau de distribution et être d'origine atmosphérique (foudre) et/ou dues à des manœuvres,
2. générées par des coups de foudre à proximité des bâtiments et des installations PV, ou sur les paratonnerres des bâtiments,
3. générées par les variations de champ électrique dues à la foudre.

En règle générale, un système de protection contre la foudre destiné à un générateur PV se compose des éléments suivants [15]:

1. Système extérieur de Protection contre la Foudre (SPF) ;
2. Installation de mise à la terre et équilibrage de potentiel ;
3. Blindage magnétique et câblage ;
4. Protection SPD (Surge Protection Device) coordonnée.

I-9-2 Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités :

Le générateur PV doit être protégé contre les surintensités, et autre types de problèmes :

I-9-2-1 Ombrage d'un générateur :

L'ombrage partiel d'une cellule va forcer cette dernière à travailler dans le quadrant Q3 (voir figure I-7), c'est-à-dire d'inverser la polarité de la tension de l'élément et de l'élever au

seuil tension inverse de la jonction ($UC \approx -15 \text{ V}$ a -25 V).

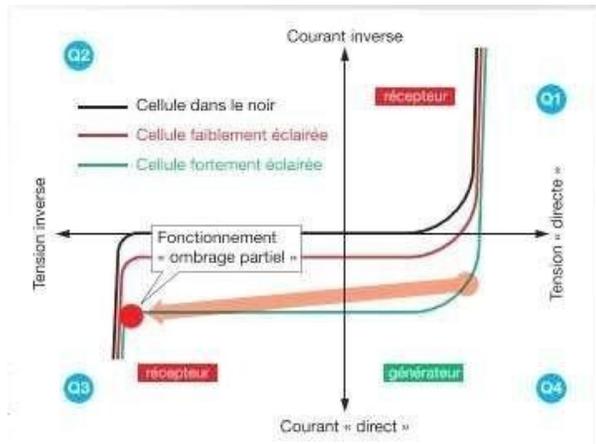


Figure 1.8: Fonctionnement de la cellule dans le 3^{ème} quadrant de la caractéristique I-V à cause de l'ombre [15]

La puissance absorbée par les cellules à l'ombre dépasse très nettement la puissance normalement dissipée et provoque des points chauds. [15]

I-9-2-2 Les courants inverses :

Le dimensionnement des câbles de chaînes dépend fortement des chutes de tension ; les notions de courants admissibles pour la protection des canalisations contre les surcharges sont généralement automatiquement satisfaites et ne nécessitent pas la mise en place de protection pour assurer cette fonction.

Le principal critère de sélection des fusibles est la valeur d'IRM (courant inverse maximum PV) que le module peut supporter temporairement jusqu'à ce que le fusible de protection choisi interrompe le courant de défaut généré suite à un défaut.

Du fait que notre travail porte uniquement sur des défauts conduisant à une baisse de production, nous nous intéressons donc qu'aux composants servant à la protection du générateur PV. [15]

a) Diode de by-pass :

Les constructeurs de modules implantent généralement entre 2 et 5 diodes by-pass par modules (dans le boîtier de connexion du module). Chacune des diodes by-pass est associée à un sous-réseau de cellules du module. Lorsqu'une des cellules du sous-réseau est ombragée, la diode by-pass devient passante, c'est-à-dire que le courant circule dans la diode en isolant ainsi du circuit électrique le sous-réseau de cellule associé. [16].

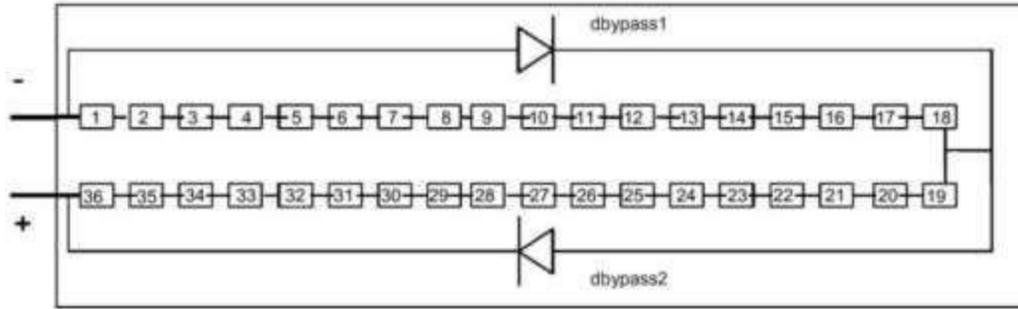


Figure 1.9: Module de 36 cellules protégé par deux diodes de by-pass [16]

b) Diode anti-retour :

Lorsque le soleil brille, la tension produite par les panneaux est supérieure à celle de la batterie, donc la charge a lieu. Cependant, dans la nuit, lorsqu'aucune tension n'est produite par les panneaux, la tension de la batterie ferait circuler un courant dans la direction opposée à travers les panneaux, déchargeant la batterie. Les diodes anti-retour seront nécessaire dans tel système pour charger la batterie .Les diodes d'anti-retour sont généralement incluses dans la construction des panneaux solaires. [12]

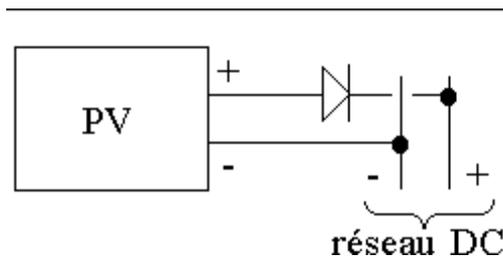


Figure 1.10: diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion [16].

I-10 Influence des différents paramètres sur la caractéristique I-V :

La cellule PV est influencée par des facteurs extérieurs tels que la température et le taux d'éclaircements, mais aussi des facteurs internes tels que les résistances et les courants. Ses derniers affectent le rendement et l'efficacité de la cellule, et modifie la caractéristiques I-V de cette dernière.

I-10-1 Influence d'éclairement :

A température constante, la caractéristique $I = f(U)$ dépend fortement de l'éclairement : sur la courbe suivante, on remarque que le courant de court-circuit augmente avec l'éclairement $G_1 > G_2$ alors que la tension à vide varie peu. [17]

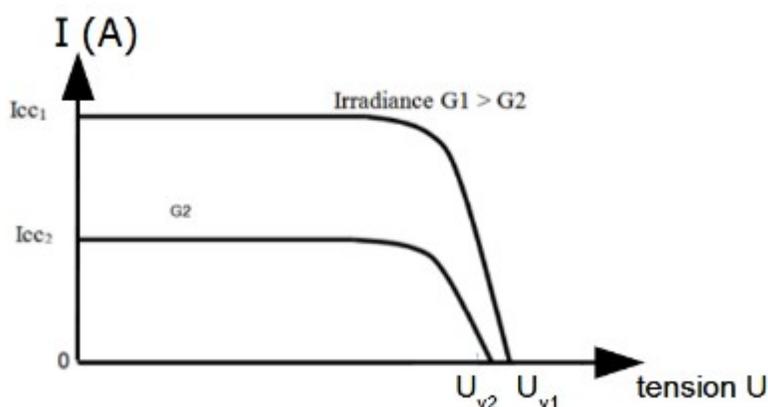


Figure 1.11: courbe courant / tension d'une cellule pour 2 valeurs irradiantes. [17]

A partir de la courbe précédente, on peut tracer les courbes de puissance $P = f(U)$ pour les 2 éclaircements. On remarque que la puissance maximum délivrée par la cellule augmente avec l'éclairement.

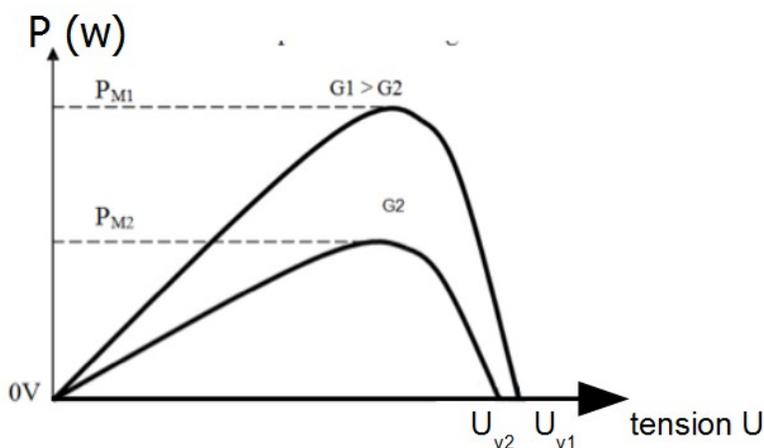


Figure 1.12: courbe puissance / tension d'une cellule pour 2 valeurs irradiantes. [17]

I-10-2 Influence de la température :

Les cellules photovoltaïques sont influencées par un paramètre très important dans le processus de production d'énergie solaire, qui est la température. Les figures ci-dessus montrent l'influence de la température sur le rendement, l'efficacité et la caractéristique I-V des cellules solaires. [17]

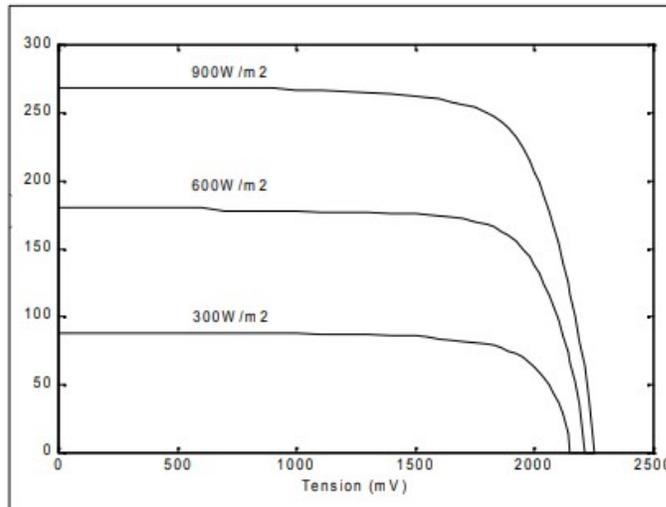


Figure 1.13: Influence de l'éclairement sur la caractéristique I-V d'une cellule solaire. [17]

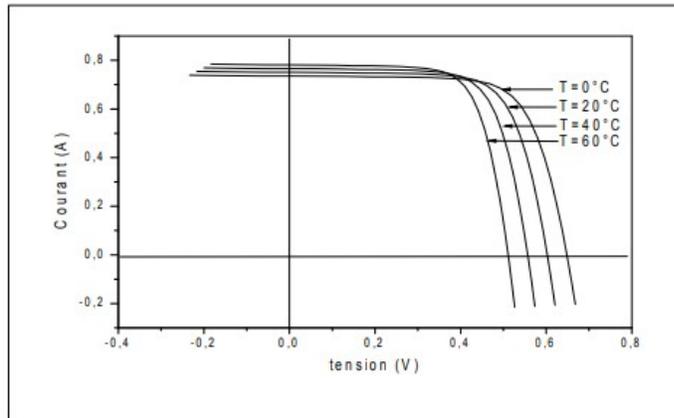


Figure 1.14 : Influence de la température sur la caractéristique I-V d'une cellule solaire éclairée. [17]

On observe que l'augmentation de la température provoque une augmentation du courant du court-circuit (I_{cc}), en même temps on assiste à une diminution nette de la tension en circuit ouvert (V_{co}). L'augmentation de la température entraîne une diminution de la tension (V_m) et un léger accroissement du courant (I_m) et par la suite une baisse relative de la puissance maximale (P_m)

I-10-3 Influence de la résistance série et la conductance shunt :

Les deux résistances R_s et R_{sh} , qui sont considéré comme des éléments parasites vis-à-vis de la cellule, vont affecter la caractéristique I-V de la cellule et la modifier plus particulièrement sous éclairement.

- **Influence de la résistance série :**

L'effet de la R_s sur la caractéristique I-V de la cellule photovoltaïque est illustré sur la figure ci-dessous :

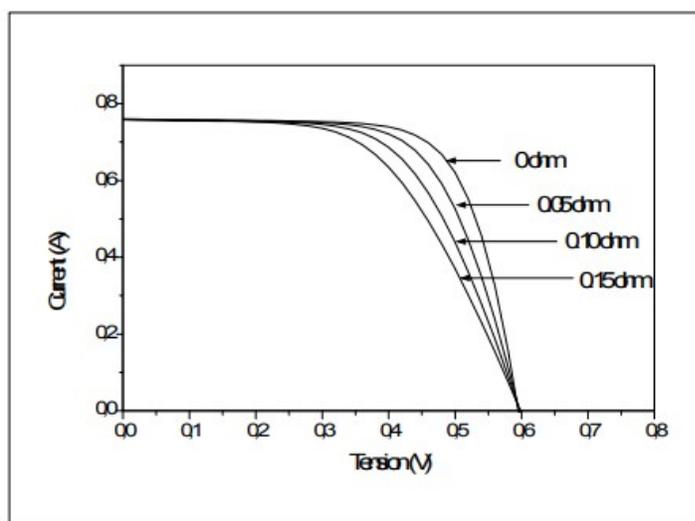


Figure 1.15: influence de la résistance série sur la caractéristique I-V d'une cellule solaire éclairée. [17]

On remarque que la tension de circuit ouvert (V_{co}) et le courant du court-circuit (I_{cc}) ne sont pas modifiés, mais la caractéristique se déforme très rapidement sous l'effet de R_s . Cette influence se traduit par une diminution de la pente de la caractéristique I-V dans la zone où la cellule fonctionne comme une source de tension lorsque R_s augmente. L'augmentation de la résistance série a un effet réductif considérable sur le point de fonctionnement et le facteur de forme (FF) de la cellule. [17]

- **Influence de la conductance shunt (parallèle) :**

La figure ci-dessous illustre l'effet de la résistance parallèle R_p (résistance shunt R_{sh}) sur la caractéristique I-V de la cellule solaire sous éclairement :

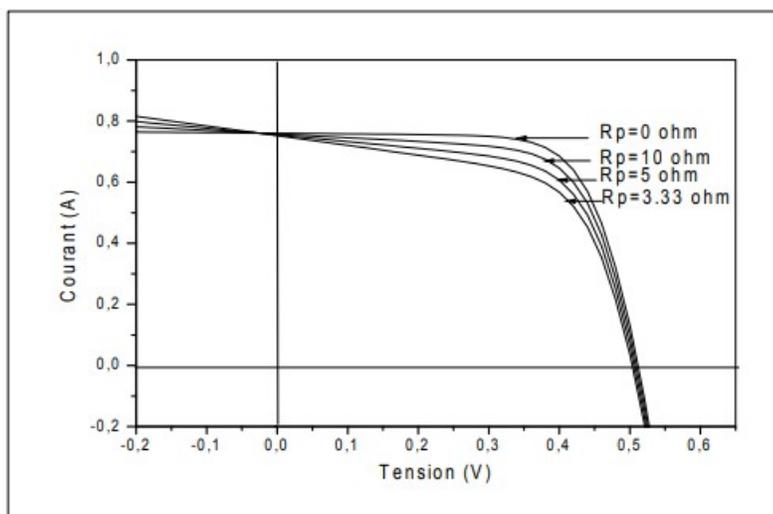


Figure 1.16: influence de la résistance shunt sur la caractéristique I-V d'une cellule solaire éclairée. [17]

On remarque que la tension de circuit ouvert (V_{co}) et le courant du court-circuit (I_{cc}) ne sont pas modifiés; mais la caractéristique se déforme très rapidement, cette influence se traduit par une augmentation de la pente de la caractéristique I-V de la cellule dans la zone correspondant à un fonctionnement comme une source de courant (basse tension). [17]

I-10-4 Influence du courant de saturation et du facteur d'idéalité :

Nous avons porté les courbes de la caractéristique I-V données par des différentes valeurs du courant de saturation et du facteur d'idéalité:

- **Influence du courant de saturation (I_s) :**

La figure ci-dessous illustre l'effet du courant de saturation I_s sur la caractéristique I-V de la cellule solaire sous éclairement :

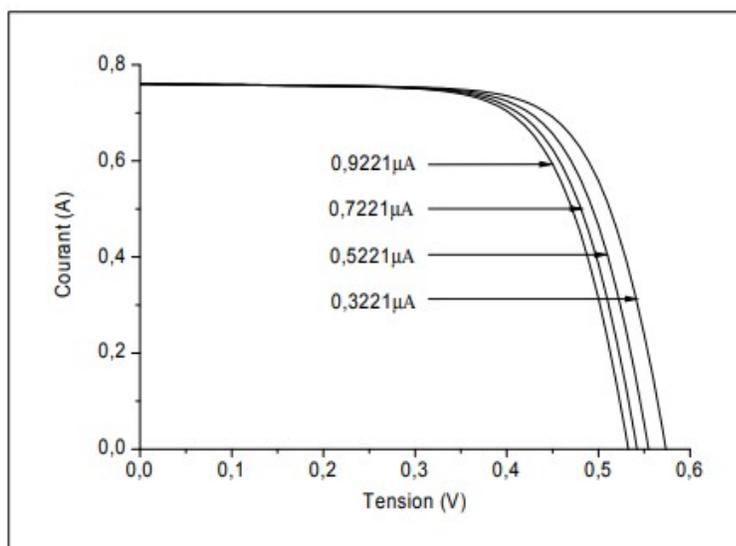


Figure 1.17: influence du courant de saturation sur la caractéristique I-V d'une cellule solaire éclairée.

On constate que l'augmentation du courant de saturation (I_s) de la diode provoque une réduction de la tension de circuit ouvert (V_{co}) par contre le courant de court-circuit (I_{cc}) reste constant.

- **Influence du facteur d'idéalité (n) :**

La figure ci-dessous illustre l'effet du facteur d'idéalité n sur la caractéristique I-V de la cellule solaire sous éclairement :

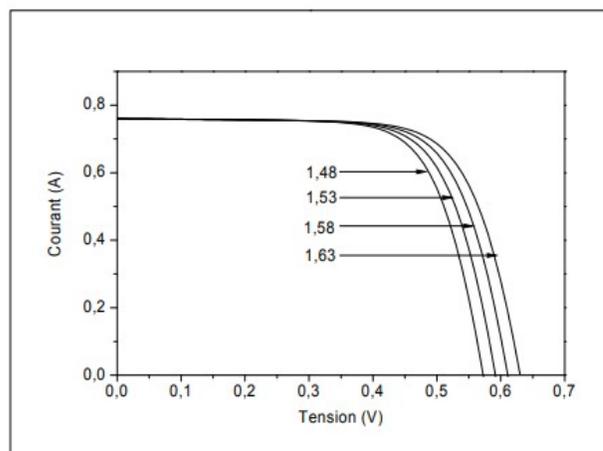


Figure 1.18: influence du facteur d'idéalité sur la caractéristique I-V d'une cellule solaire éclairée. [17]

CHAPITRE I

On constate que la diminution du facteur d'idéalité (n) provoque une réduction de la tension de circuit ouvert (V_{co}) par contre le courant de court-circuit (I_{cc}) reste constant.

I-11 Association des cellules :

- Association série :

En connectant des cellules ou des modules identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série.

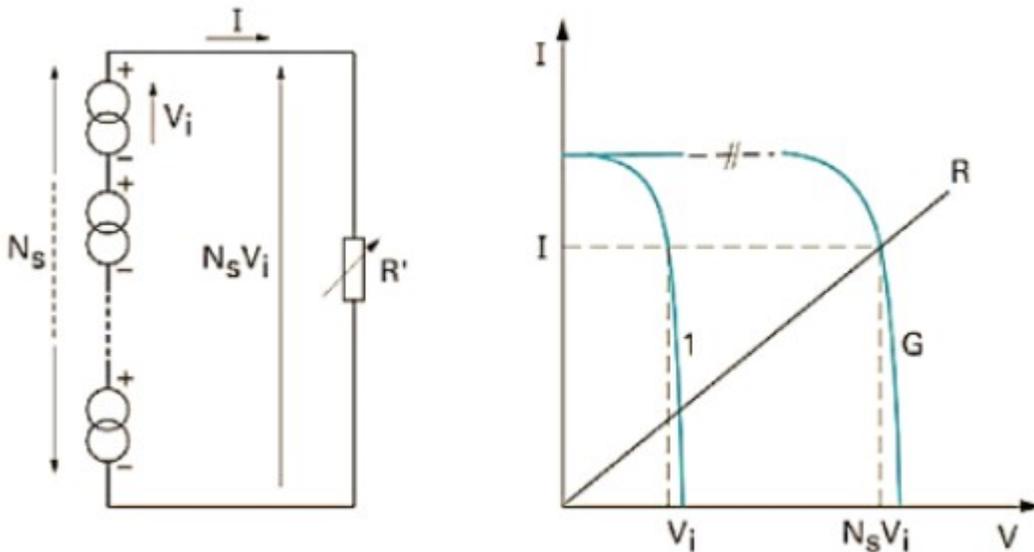


Figure 1.19: Caractéristique de l'association en série de cellules solaires.

- Association parallèle :

En connectant des cellules ou des modules identiques en parallèle, la tension totale est égale à la tension de chaque cellule ou module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de branches.

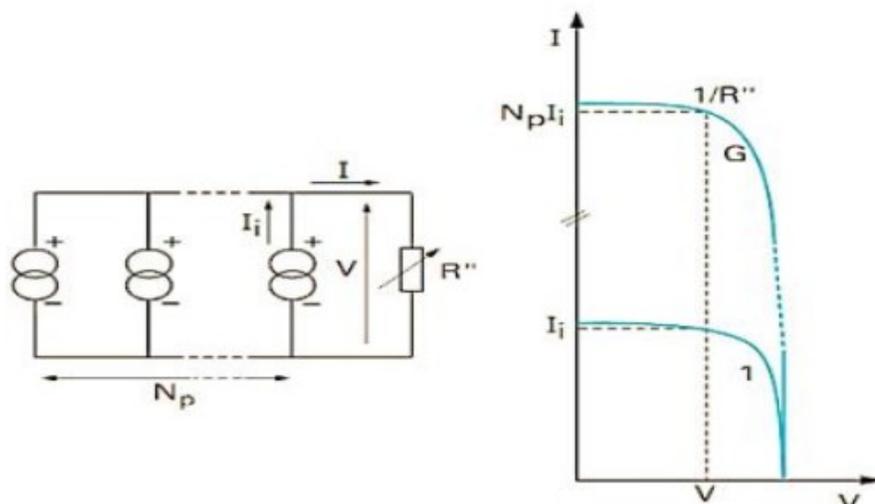


Figure 1.20: Association de cellules photovoltaïques identiques en parallèle.

I-12 Conclusion:

Dans ce premier chapitre nous avons exposé des généralités sur les systèmes photovoltaïques:

Nous avons également étudié les caractéristiques I-V et PV des cellules photovoltaïques dont les paramètres nous permettent de bien comprendre le principe de fonctionnement du système.

Enfin, une vue sur les différentes technologies utilisées, et sur les différentes applications de ce système a été présentée afin de mieux comprendre l'ensemble du mécanisme de conversion.

CHAPITRE II

Types et méthodes de diagnostic de défauts d'un module PV

II-1 Introduction:

L'objectif de ce chapitre est l'exposition des différents défauts, que ce soit, interne ou bien externe, qu'un système PV peut rencontrer durant la durée de son utilisation. Et aussi, les méthodes qui permettent de détecter ses défauts afin de trouver une solution adéquate pour but d'optimiser la rentabilité et minimiser le coup d'exploitation d'un système PV.

II-2 Défauts du système photovoltaïque :

II-2-1 Défauts du module PV :

Le générateur PV est le principal composant de l'installation PV. Toute rupture liée au module PV affectera les performances du système PV. Ces défauts sont classés selon leurs effets et leurs conséquences. Dans ce qui suit, on citera quelques défauts qui se produisent au niveau de générateur PV.

II-2-1-1 Défaut d'encapsulation :

Ce défaut est causé notamment par délamination et les taches qui apparaissent fréquemment dans des conditions humides et chaudes. Cette anomalie se trouve entre l'encapsulation et les cellules actives. Le défaut d'encapsulation peut se produire à cause de l'accumulation de sel, des contaminations, l'infiltration d'humidité ou d'autres facteurs externes.

Parmi les techniques recommandées pour la détection de la délamination, on peut citer, la thermographie, le scanner à ultrasons et la tomographie à rayons X.

L'irrégularité peut être quantifiée par un réflectomètre. Quant à la décoloration, c'est un autre défaut d'encapsulation qui engendre la corrosion la diminution de la résistance en série, ce problème est considéré comme le type de dégradation plus fréquent des panneaux PV. [18, 19]

II-2-1-2 Perte d'adhérence de back-sheet :

Une back-sheet d'un panneau est une protection des composants électroniques de facteurs externes et une sécurité de hautes tensions continues. Cette anomalie causée par la délamination. Si elle se produit, les composants électriques actifs seront exposés. Cela se traduirait par un défaut d'isolement qui présente des problèmes de sécurité. La forme et la composition des matériaux en de back-sheet peuvent être la cause de ce défaut. [22,20 ,21]

II-2-1-3 Fissuration des cellules :

La fissure peut survenir à n'importe quel moment. Elle peut être causée au cours de

CHAPITRE II

processus de fabrication ou au cours de l'emballage et le transport par une mauvaise manipulation et vibration. Processus d'installation est autre cause de ce défaut. [23]

II-2-1-4 Interconnexion endommagée :

Une mauvaise soudure entre ruban d'interconnexion de la branche avec celui de la cellule est la principale raison de ce débranchement. Les contraintes dues au transport, les points chauds, le cycle thermique ou les contraintes mécaniques répétées affaiblissent le ruban d'interconnexion jusqu'à la rupture. La courte distance entre les cellules développe ce type de défaillance. Il peut en résulter des cellules court-circuitées. [20, 21]

II-2-1-5 Ombrage et salissures :

Deux types d'ombrage existent. Le premier, c'est l'ombrage dur, qui se produit si les panneaux PV sont ombragés par un matériau solide, par exemple des bâtiments ou de la poussière. Le deuxième type est doux ombrage léger qui peut être causé par les nuages.

Le premier type entraîne une baisse de tension et le deuxième affecte le courant non pas la tension. Les deux influent négativement sur les performances du module PV.

Les performances et la perte de puissance sont liées aux surfaces très sales ou ombrées. En effet, les cellules ombrées se comportent comme une résistance au courant généré. Elles chauffent et le phénomène de hot spot se produit. [20, 24]

II-2-2 Défauts au niveau de convertisseur DC/DC :

Le convertisseur DC/DC est considéré comme un élément crucial dans le système PV.

Des études ont démontré qu'il est l'un des composants les plus vulnérables. Parmi les pannes qu'on peut trouver au niveau du hacheur DC/DC :

- Problèmes de conception et de fabrication : Le rendement du hacheur dépend des conditions de fonctionnement qui sont basées sur la gestion thermique et des mécanismes de dissipation de la chaleur due à la commutation des interrupteurs et des condensateurs.
- Problèmes de contrôle : Ils sont liés à l'interaction de l'onduleur avec la nature de la charge à alimenter.
- Les défaillances des composants électriques : Elles se produisent lorsque des composants du convertisseur sont exposés à des contraintes thermique et électrique lors de fonctionnement. Le cycle de vie du convertisseur PV dépend essentiellement de l'interrupteur de commutation. [24,25]

II-2-3 Pannes au niveau de la boîte de jonction :

Une boîte de jonction est une protection pour le câblage qui lie le module PV aux bornes extérieures des autres dispositifs de système PV. Ce défaut est causé par une mauvaise fixation de la boîte à la back-sheet, la pénétration de l'humidité, la corrosion des raccordements, le mauvais câblage menant à l'arc interne, le mauvais montage ou à cause de dégradation thermique. [25, 20]

II-2-4 Défauts de diodes by-pass :

Une diode by-pass compense les pertes de puissance et la réduction de performances qui résulte du phénomène de l'ombrage de module PV. Elle évite la polarisation inverse, le hot spot et destruction du module.

Leur détection est difficile car ils n'apparaissent que lorsque le problème de mismatching dans la courbe I–V de la cellule se produit. Ces défauts peuvent apparaître suite à la rupture de la connexion de la diode ou le montage inverse de la diode by-pass. [18,22]

II-2-5 Défaut de mismatching :

Ce défaut se produit lors du changement des paramètres électriques du module par rapport aux valeurs initiales. Il peut être temporaire, tel que l'ombrage des cellules qui conduit à un hot spot. Il peut être également permanent, en raison de la présence d'un circuit ouvert ou de cellule défectueuse réduisant le courant qui mène à une dissipation de puissance. [20,26]

II-2-6 Défaut de terre :

Il se produit accidentellement par un court-circuit électrique. La majorité des systèmes PV sont équipés de dispositif de détection de défaut de terre et d'interruption de courant de défaut. [27]

II-2-7 Défaut d'arc :

Il se produit en raison de la discontinuité et de rupture d'isolation en courants conducteurs ou adjacents. Les défauts d'arc produisent le bruit de haute fréquence dans le signal du courant continu de la branche PV. Ce type de rupture est très dangereux pour les plantes et peut produire des incendies. [22,27]

II.3 Diagnostic des défauts dans un système photovoltaïque :

II-3

II-3-1 Etape de diagnostic :

Tout système est susceptible de présenter des symptômes révélateurs de défauts. Le défi est de pouvoir détecter et localiser ces défauts d'une manière automatique. Le principe général de surveillance d'un système autonome peut être décrit par le schéma ci-dessous, [35]

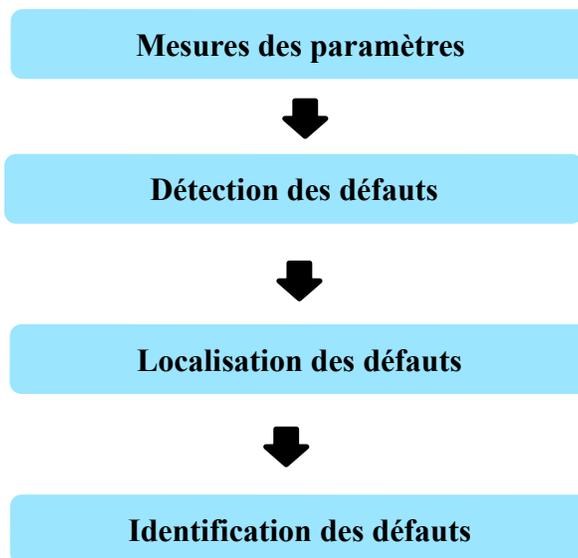


Schéma : algorithme de diagnostic

Les étapes sont détaillées comme suit :

-Prise de mesures : La mesure que l'on fait sur le système est la seule information pour connaître l'évolution du système. Elle se fait à l'aide d'un capteur approprié et nécessite souvent une étape de filtrage.

-Détection de défauts : Souvent, il s'agit d'un test statistique traitant un signal susceptible de contenir des informations sur l'état du système à surveiller.

-Localisation de défauts : C'est souvent une tâche liée aux caractéristiques du système. Il s'agit d'un test qui traite l'information sur l'origine de la provenance du défaut.

-Identification de défauts : Il s'agit de caractériser le défaut, d'estimer son importance et son comportement dans le temps.

-Décision : C'est une décision sur le type d'action à prendre pour rétablir le système.

CHAPITRE II

-Correction : C'est l'action d'arrêter le système et de procéder à une maintenance corrective.

-Adaptation : C'est l'action de reconfiguration et d'adaptation de la consigne à injecter dans le système.

II-3-2 Objectifs de diagnostic :

- Réduction des arrêts imprévus.
- Réduction des pertes de production.
- Eviter les graves dommages.
- Planification optimale des opérations de maintenance et limitation des coûts de réparation.

II-4 Méthodes de détection de défauts liés aux systèmes photovoltaïques :

Récemment, des efforts ont été déployés afin de comprendre les défauts et les contraintes des systèmes PV, ce qui permet le développement de nouvelles techniques de détection de défauts. Ces techniques contribuent à améliorer les performances des systèmes PV, ainsi que leur durée de vie.

II-4-1 Caractérisation électrique :

II-4-1-1 Méthode indépendante des données climatiques :

Ce type de méthodes ne demande pas de mesures des paramètres météorologiques pour la détection et la classification de défaut. Ces méthodes utilisent des appareils de mesure, tels que RLC-mètre et le générateur de signaux. Elles sont basées sur l'analyse de la réponse de système PV juste après l'injection de signal à traiter. [36,37]

II-4-1-2 Mesure de tension/courant :

Cette technique est basée sur les mesures des signaux électriques, qui sont la tension et le courant. Hirata *et al.* (2011) ont développé une fonction de diagnostic qui permet d'obtenir les courbes I (V) des PV modules de la même branche pour détecter automatiquement certain défaillances. [37]

II-4-1-3 Comparaison des valeurs simulées et mesurées des signaux de sortie de système PV :

Grâce à ce genre de technique, la comparaison entre les valeurs simulées et mesurées, des signaux de sortie du système PV, permet la détection des pannes. Afin de déterminer la

CHAPITRE II

puissance de sortie souhaitée du système PV, et divers modèles prédictifs ont été testés.

En général, ces techniques aident à déterminer les seuils théoriques, pour lesquels la variation de puissance de sortie des systèmes ne dépasse pas, sinon le système est considéré défectueux. [38,39]

II-4-1-4 Analyse des pertes de puissance :

L'analyse des pertes de puissance dans le PV système revient à déterminer les pertes de puissance qui sont calculées en comparant les données mesurées aux résultats simulés. [39]

II-4-1-5 Modèles basés sur la température et échange de chaleur :

Cette technique est basée sur le fait, que les défauts qui apparaissent dans le générateur PV provoquent un changement de la température du module PV. Hu *et al.*,(2013) et Vergura *et al.*, (2012) ont modélisé les défauts physiques de différents types de cellules PV à l'aide de la méthode d'élément limité. Elle est basée sur le comportement thermique des cellules PV résultant de pannes électriques. [40]

II-4-1-6 Technique d'intelligence artificielle :

Le diagnostic des systèmes physiques complexes contenant plusieurs types de descriptions et d'éléments, et celles basées sur des modèles purement mathématiques ne peuvent pas offrir une méthodologie adéquate avec la précision requise, pour résoudre les problèmes qui se posent dans ce domaine. Par conséquent, les méthodes de l'IA ont été développées pour imiter le raisonnement humain dans la prise de la décision. Elles ont pour objectif de simplifier et rendre la tâche du diagnostic plus simple et plus facile.

Au cours de la dernière décennie, les techniques d'intelligence artificielle ont prouvé leur capacité de modélisation, de contrôle, de prédiction et de prévision dans le système PV. [41]

II-5 Conclusion :

Durant ce chapitre, nous avons étudié les différents défauts liés au système PV et les méthodes de diagnostics permettant de les identifier.

On conclue qu'il existe plusieurs défauts liés à plusieurs aspect d'un panneau PV, pour cela nous avons présenté les différentes méthodes de diagnostic, celles industrialisées et celles qui sont dans la littérature comme les méthodes de l'intelligence artificielle qui sera détaillé dans la suite de ce mémoire.

Chapitre III

Réseaux de neurones

Réseaux de neurones

III-1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter une brève introduction à la théorie de base des réseaux de neurones artificiels et la théorie sur laquelle le programme informatique utilisé dans cette mission a été construit. Les détails mathématiques ne seront pas couverts, mais une tentative est plutôt faite pour donner une compréhension générale de ce qu'est un réseau de neurones. Nous avons également introduit la méthodologie utilisée lors des tests.

III-2 Historique :

- **1943** : Mc Culloch et Pitts présentent le premier neurone formel.
- **1949** : Hebb propose un mécanisme d'apprentissage (règle de Hebb).
- **1958** : Rosenblatt présente le premier réseau de neurones artificiels : le Perceptron. Il est inspiré du système visuel, et possède deux couches de neurones : perceptive et décisionnelle. Dans la même période, le modèle de l'ADALINE (ADaptive LINear Element) est présenté par Widrow. Ce sera le modèle de base des réseaux multicouches.
- **1969** : Minsky et Papert publient une critique des perceptrons en montrant leurs limites, ce qui va faire diminuer la recherche sur le sujet.
- **1972** : Kohonen présente ses travaux sur les mémoires associatives.
- **1982** : Hopfield démontre l'intérêt d'utiliser les réseaux récurrents pour la compréhension et la modélisation des fonctions de mémorisation.
- **1986** : Rumelhart popularise l'algorithme de rétropropagation du gradient, conçu par Werbos, qui permet d'entraîner les couches cachées des réseaux multicouches. Les réseaux neuronaux ont été depuis beaucoup étudiés, et ont trouvé énormément d'applications. [28]

III-3 Neurone biologique:

Un neurone est une cellule nerveuse qui est un élément de base du système nerveux central, il se compose essentiellement de [28]:

Chapitre III

- Corps cellulaire (soma): il est centré par un noyau, toutes les informations recueillies par les synapses sont acheminées vers le corps cellulaire
- Synapse: une synapse est une jonction entre deux neurones ; et généralement entre l'axone d'un neurone et une dendrite d'un autre neurone.
- Dendrites: ce sont de fines extensions tubulaires qui se ramifient autour du neurone et forment une sorte de vaste arborescence. Elles captent les signaux envoyés au neurone.
- L'axone: qui est la partie qui s'occupe de la transmission de l'information issue du corps cellulaire ; conduisant des signaux électriques de la sortie d'un neurone vers l'entrée d'un autre neurone.

Un neurone stimulé envoie des impulsions électriques ou potentielles d'action à d'autres neurones. Ces impulsions se propagent le long de l'axone unique de la cellule. Au point de contact entre neurones, les synapses, ces impulsions sont converties en signaux chimiques. Quand l'accumulation des excitations atteint un certain seuil, le neurone engendre un potentiel d'action, d'une amplitude d'environ 100 mV et pendant une durée de 1 ms [29].

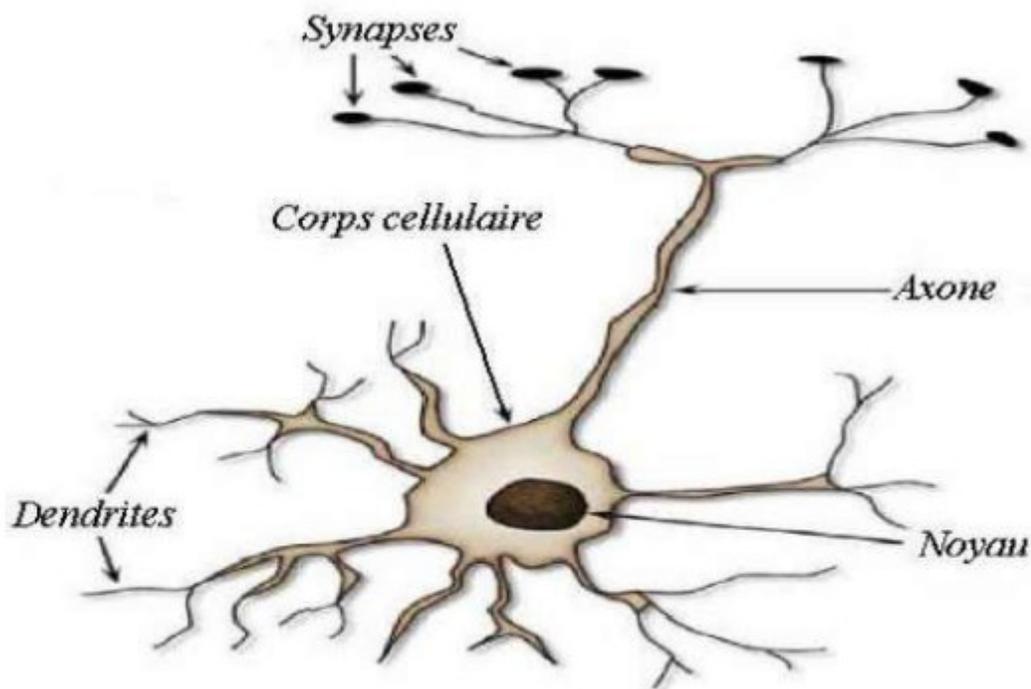


Figure 3.1: Schéma simplifié d'un neurone biologique.

III-4 Neurone formel:

Le neurone formel est un modèle mathématique simplifié du neurone biologique comme illustré à la figure(3.2). Un neurone est essentiellement constitué d'un intégrateur qui effectue la somme pondérée de ses entrées. Le résultat n de cette somme est ensuite transformé par une fonction de transfert f qui produit la sortie a du neurone. Les R entrées du neurone correspondent au vecteur $p=[p_1 p_2 \dots p_R]^T$ alors que $W=[w_{1,1} w_{1,2} \dots w_{1,R}]^T$ représente le vecteur des poids du neurone [30].

La sortie n de l'intégrateur est donnée par l'équation suivante :

$$n = \sum_{j=1}^R w_{1,j} p_j - b \tag{III.1}$$

Que l'on peut aussi écrire sous forme matricielle :

$$n = w^T p - b \tag{III.2}$$

Cette sortie correspond à une somme pondérée des poids et des entrées moins le biais b du neurone. Le biais b s'appelle aussi le seuil d'activation. Lorsque le niveau d'activation atteint ou dépasse le seuil, alors l'argument de f devient positif (ou nul). Sinon, il est négatif.

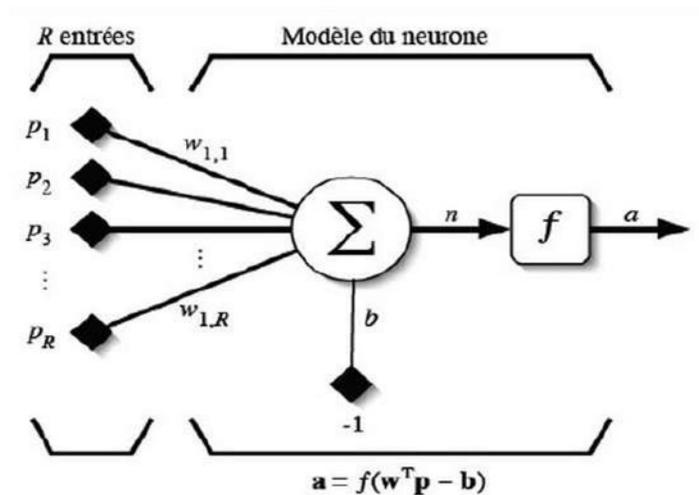


Figure 3.2 Modèle d'un neurone artificiel.

Un autre facteur limitatif dans le modèle que nous nous sommes donnés concerne son caractère discret. En effet, pour pouvoir simuler un réseau de neurones, nous allons supposer que tous les neurones sont synchrones, c'est-à-dire qu'à chaque temps ils vont simultanément calculer leur somme pondérée et produire une sortie $(t) = f((t))$.

On ajoutant la fonction d'activation f pour obtenir la sortie du neurone :

$$a = f(w^t p - b) \quad (\text{III.3})$$

En remplaçant wT par une matrice $W = wT$ d'une seule ligne, on obtient une forme générale

$$a = f(Wp - b) \quad (\text{III.4})$$

L'équation (III.4) nous amène à introduire un schéma du modèle plus compact que celui de la figure (3.2). La figure (3.3) illustre celui-ci. On y représente les R entrées comme un rectangle. De ce rectangle sort de vecteur p . Ce vecteur est multiplié par une matrice W qui contient les poids synaptique. Finalement, la sortie du neurone est calculée par la fonction d'activation f .

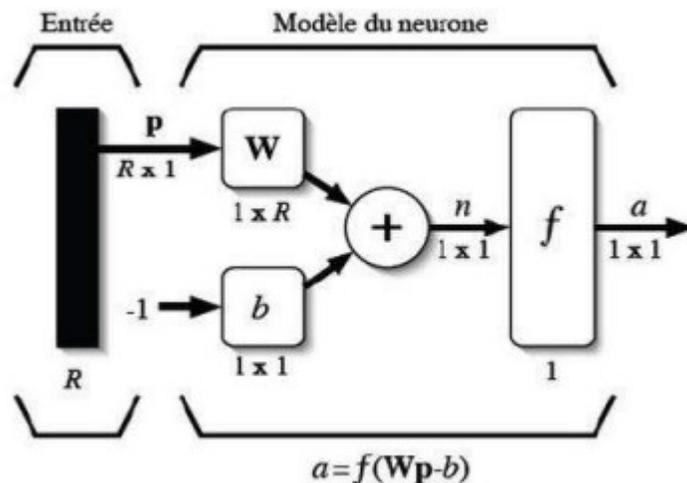


Figure 3.3 Représentation matricielle du modèle d'un neurone artificiel.

III-5 Le perceptron :

À l'origine, le neurone artificiel a été modélisé pour fonctionner un peu comme l'on savait qu'une fonction neurone biologique. Il s'agissait d'une série d'entrées qui ont été soit 1 (excitateurs) ou -1 (inhibiteurs). Selon la somme de ces entrées dépassait une certaine valeur de seuil, une sortie de 1 ou -1 a été activée. En 1949, Hebb a introduit l'idée que les connexions entre les neurones (synapses) pourraient être renforcés ou alors affaibli à mesure que les neurones stimulaient. De ses théories est venu l'idée de poids synaptiques ajustables, renforcer ou affaiblir les entrées. Ces poids synaptiques sont ajustés différemment par différents algorithmes d'apprentissage.

Ignorer le biais, b , pour l'instant (supposons $b = 0$), le vecteur d'entrée x et le vecteur de poids w , ensemble devient l'argument.

III-6 Composition d'un réseau de neurones (RNA) :

Un RNA est constitué généralement de trois couches [28]:

- **Couche d'entrée** : Elle est constituée de d'ensemble neurones du réseau qui reçoivent les données du problème. Sa taille est donc déterminée directement par le nombre de variables d'entrée.
- **Couche de sortie** : Elle est constituée de l'ensemble des neurones de sortie du réseau. C'est cette couche-là qui fournit les résultats du problème.
- **Une ou plusieurs couches cachées** : Ce sont les couches qui se trouvent entre la couche d'entrée et la couche de sortie. Elles définissent l'activité interne du réseau. En général, les fonctions d'activations sont non linéaires sur ces couches.

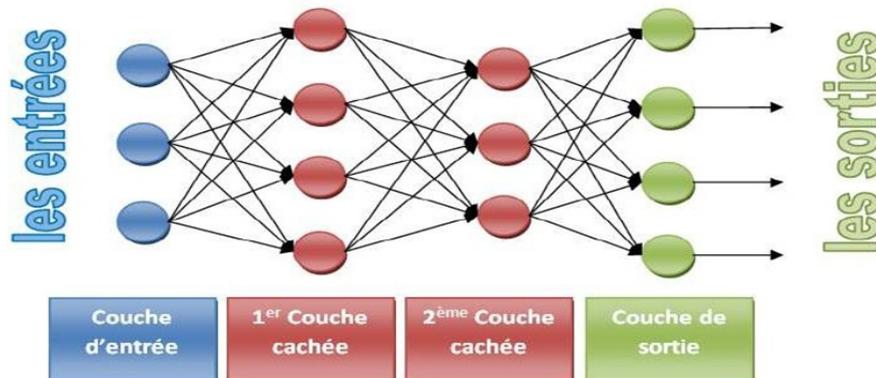


Figure 3.4 : Architecture d'un réseau de neurones

III-7 Fonction d'activation :

Différentes fonctions de transfert pouvant être utilisées comme fonction d'activation du neurone sont énumérées ci-contre. Les trois les plus utilisées sont les fonctions «seuil» (en anglais «hard limite»), «linéaire» et «sigmoïde» [31]

CHAPITRE III

Nom de la fonction	Relation d'entrée/sortie	Icône	Nom Matlab
seuil	$a = 0$ si $n < 0$ $a = 1$ si $n \geq 0$		hardlim
seuil symétrique	$a = -1$ si $n < 0$ $a = 1$ si $n \geq 0$		hardlims
linéaire	$a = n$		purelin
linéaire saturée	$a = 0$ si $n < 0$ $a = n$ si $0 \leq n \leq 1$ $a = 1$ si $n > 1$		satlin
linéaire saturée symétrique	$a = -1$ si $n < -1$ $a = n$ si $-1 \leq n \leq 1$ $a = 1$ si $n > 1$		satlins
linéaire positive	$a = 0$ si $n < 0$ $a = n$ si $n \geq 0$		poslin
sigmoïde	$a = \frac{1}{1+\exp^{-n}}$		logsig
tangente hyperbolique	$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$		tansig
compétitive	$a = 1$ si n maximum $a = 0$ autrement		compet

Figure 3.5 : Différents types de fonctions de transfert pour le neurone artificiel.

III-8 Apprentissage d'un réseau de neurones :

Une fois l'architecture est choisie, elle doit subir une phase d'apprentissage qui correspond à la phase du développement du réseau durant laquelle il réalise des modifications des poids de connexions du réseau, généralement par des algorithmes spécifiques, afin d'obtenir des valeurs optimales de ces poids. A la fin de cette opération, le réseau converge vers un fonctionnement adapté au problème qu'on désire résoudre, tout en fournissant, au préalable, des exemples d'apprentissage. Ces derniers doivent être suffisamment représentatifs ; autrement dit, il faudra qu'ils couvrent aussi complètement que possible le domaine de fonctionnement désiré pour le réseau. Il existe essentiellement deux types d'apprentissage, l'apprentissage supervisé et non supervisé [28, 31,32]:

- **Apprentissage Supervisé :**

Pour ce type d'apprentissage, un superviseur (professeur) fournit au réseau les entrées, et au même temps les sorties désirées. Le réseau doit ajuster ses poids de façon à réduire l'écart entre la sortie désirée et sa sortie, cette procédure est répétée jusqu'à ce qu'un critère de

performance soit satisfait.

L'algorithme d'apprentissage utilisé dans notre travail est celui de la rétro-propagation de l'erreur car ce dernier est le mieux adapté à l'apprentissage des réseaux de neurones de type MLP.

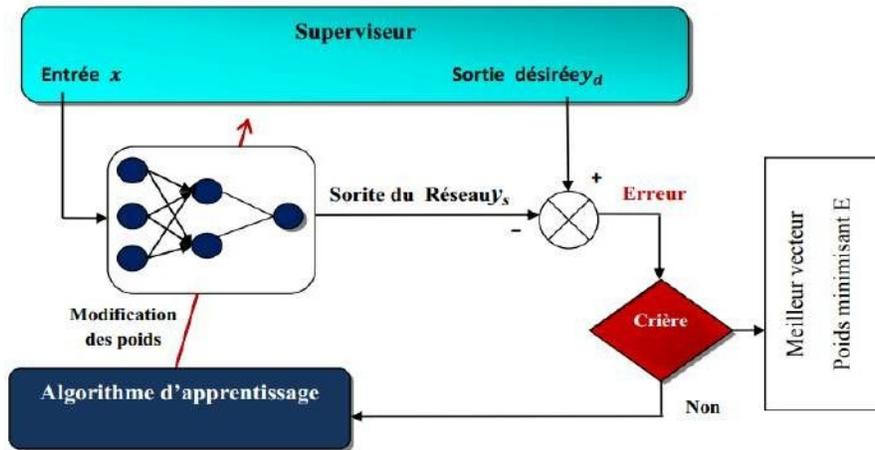


Figure 3.6 : Apprentissage supervisé.

- **Apprentissage non supervisé**

Dans l'apprentissage non supervisé, aucune information sur la sortie désirée n'est fournie au réseau. On présente une entrée au réseau et on le laisse évoluer librement jusqu'à ce qu'il se stabilise, ce comportement est connu sous le nom "auto organisation. Le réseau de neurones dans ce cas-là détecte automatiquement les régularités qui figurent dans les exemples présentés et il modifie les poids des connexions pour que les exemples ayant les mêmes caractéristiques de régularité provoquent la même sortie. Ce mode d'apprentissage est aussi appelé « apprentissage par compétition ».

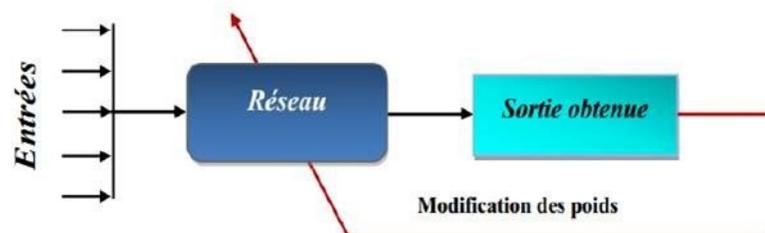


Figure 3.7 : Apprentissage non supervisé.

Pour ces deux types d'apprentissage, il y a également un choix traditionnel entre

- **L'apprentissage Off-line:** toutes les données sont dans une base d'exemples d'apprentissage qui sont traités simultanément.
- **L'apprentissage On-Line :** les exemples sont présentés les uns après les autres au fur et à mesure de leur disponibilité.

III-9 Algorithmes d'apprentissage du perceptron multicouche :

Il existe plusieurs algorithmes d'apprentissage du PMC, le plus utilisé est [28,32]:

III-9-1 L'algorithme de la rétro propagation du gradient :

- **Erreur de rétro propagation :**

Sans entrer trop profondément dans les mathématiques impliquées, on va maintenant tenter d'expliquer comment le réseau peut être formé.

Considérons le perceptron multicouche dans la précédente section. Il y a des entrées, des poids synaptiques, couches de neurones, sorties, et les valeurs cibles. La différence entre les sorties réseau, y , et les valeurs cibles, t , sont appelé l'erreur, e ($e = y - t$). L'objectif de former le réseau devient alors pour minimiser l'erreur ($e \rightarrow 0$).

Si l'on prenait la moyenne de toutes les erreurs au carré, on aurait le critère de performance largement utilisé MSE (erreur quadratique moyenne). Le but est alors de trouver le MSE minimale. [31]

Puisque l'erreur est la fonction des poids synaptiques, nous pouvons supposer que la MSE est égale à la fonction du poids synaptiques ; $MSE = MSE(w)$. Trouver le minimum MSE peut alors être fait en prenant la dérivée partielle du MSE en ce qui concerne les poids synaptiques, il est égal à zéro. [31]

L'algorithme de la rétro propagation du gradient est un algorithme itératif conçu pour minimiser le critère MSE. En effet.

L'algorithme de rétro propagation du gradient de l'erreur se résume aux étapes suivantes :

- 1- Initialisation des poids de connexions à des valeurs aléatoires de faible grandeur.
- 2- Présentation d'un couple (entrée, sortie désirée) de la base d'apprentissage.
- 3- Présentation de la forme d'entrée sur la couche d'entrée du réseau.
- 4- Calcul par propagation de la sortie.
- 5- Calcul des différents signaux d'erreur des différentes couches.

6- Mise à jour des matrices de connexions.

7- Tant que l'erreur est trop importante, retourner à l'étape 2.

$$E_m = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N e(k)^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (t(k) - a(k))^2 \quad (\text{III.5})$$

Avec :

E_m : représente l'erreur quadratique commise au niveau de la couche de sortie du réseau.

N : Le nombre d'exemple dans la base d'apprentissage.

$e(k)$: L'erreur quadratique commise à la sortie du réseau.

$t(k)$: Le vecteur cible (sortie désirée).

$a(k)$: Le vecteur de sortie élaboré par le réseau.

Le mécanisme de recherche des poids optimaux du réseau est basé sur la minimisation de l'erreur E dans l'espace des poids synaptiques du réseau de neurones.

III-10 Régression linière :

Étant donné un ensemble de données à deux dimensions, on peut tracer la ligne du meilleur ajustement continue approximative qui la traverse. Comme vu dans la figure 3.9, ce meilleur ajustement peut être à la fois linéaire et non linéaire.

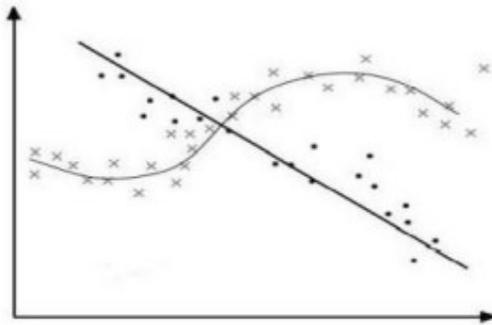


Figure 3.8 : courbe représentant la régression linière.

Lors de la formation d'un réseau, c'est parfois ce que nous sommes après. Un meilleur ajustement entre les données d'entrée et de sortie. Qu'il s'agisse d'un bidimensionnel ou d'un ensemble de données dimensionnel qui n'a pas d'importance, mais deux ensembles de données dimensionnelles est plus facile à visualiser.

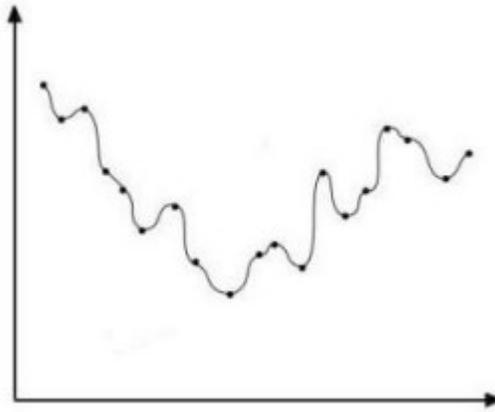


Figure 3.9 : Un exemple de sur apprentissage.

Dans ce cas, le réseau a été surentraîné. Une solution a été trouvée, mais ce n'est pas la solution générale que nous étions à la recherche. Le même scénario s'applique aux niveaux supérieurs des ensembles de données dimensionnelles, bien que ce soit, encore une fois, difficile à visualiser. Le fait qu'un sur apprentissage se produise ou non dépend en grande partie des données d'entraînement et l'algorithme d'entraînement. Eviter le sur apprentissage est le résultat de la capacité de l'algorithme d'apprentissage sépare les informations pertinentes du bruit trouvé dans les données. Et cette généralisation est finalement le but lors de la formation d'un réseau de neurones artificiels.

III-11 Conclusion :

Durant ce chapitre, nous avons vu un aspect global des réseaux de neurones, les définitions ainsi que les modes de fonctionnements.

Un réseau de neurones peut effectuer des tâches complexes automatiquement, grâce à l'apprentissage, avec les données qui reçoit comme entrées et avec le système de calcul interne. Ce dernier peut nous donner des résultats autant précise que concluant selon les nombres de données en entrées.

Chapitre IV

Détection des défauts dans les systèmes photovoltaïques

Détection des défauts dans les systèmes photovoltaïques

IV-1 Introduction :

Une approche pratique de détection des défauts pour les systèmes PV destinés à une mise en œuvre en ligne sera développée dans ce chapitre. Le modèle de détection de défaut ici est construit à l'aide d'un réseau neurone artificiels.

D'abord les données sont collectées dans des conditions de fonctionnement normales, puis cinq types de défauts sont simulés et les données sont collectées pour des conditions de défauts. Ces données sont ensuite utilisées pour entraîner le réseau de neurones et pour aussi développer le modèle de détection des défauts.

Ensuite le modèle de détection de défaut prend l'irradiante, la puissance du point maximale, le courant du point maximal, la tension du point maximal, le courant de saturation comme entrée et donne avec précision le type de défaut dans le système PV comme sortie.

IV-2 Détection et classification de défaut pour un GPV :

Nous proposons de définir différentes signatures électriques spécifiques à plusieurs défauts. Plus précisément dans ce mémoire, nous nous concentrons sur le défaut d'ombrage et le défaut de résistance d'interconnexion.

Comme la méthode suivante nous suggérons de considérer cinq variables. Nous pourrons donc évaluer l'impact de l'arrivée d'une faille sur cinq variables à travers la déformation et observée des courbes I-V et P-V et lui associer une signature.

Pour valider notre démarche, nous avons utilisé des données obtenue par simulation de générateur photovoltaïque constituer d'une chaine former de 6 module PV, chaque 3 modules sont connectés en série, connectés entre eux en parallèle . Chaque module est constitué de 18 cellules connectées en série.

IV-2-1 Simulation du tableau PV sous MATLAB / SIMULINK :

Nous avons pris des panneaux prédéfinis sur SIMULINK MATLAB. La figure ci-dessous montre le schéma de montage du générateur PV

Lumière solaire modèle CCLS 220P chine	Données électrique
Puissance nominale P_{MAX} [W]	220
tension maximale V_{MPP} [W]	28.9
Courant maximale I_{MPP} [A]	7.61
Tension en circuit ouvert V_{OC} [V]	6.8
courant circuit ouvert I_{SC} [A]	8.24
puissance minimale garantie P_{MIN} [W]	220
efficacité de sortie [%]	13.5
tension maximale du système [V_{DC}]	1000
facteur de température de P_N [%/°C]	-0.0044
facteur de température de V_{DC} [V/°C]	-0.0032
facteur de température de I_{SC} [Ma/°C]	0.0004
T_{NOCT} [°C]	47
nombre de cellules	60

Tableaux 4.1 : Données du panneau p-Si China Light Solar CLS220P

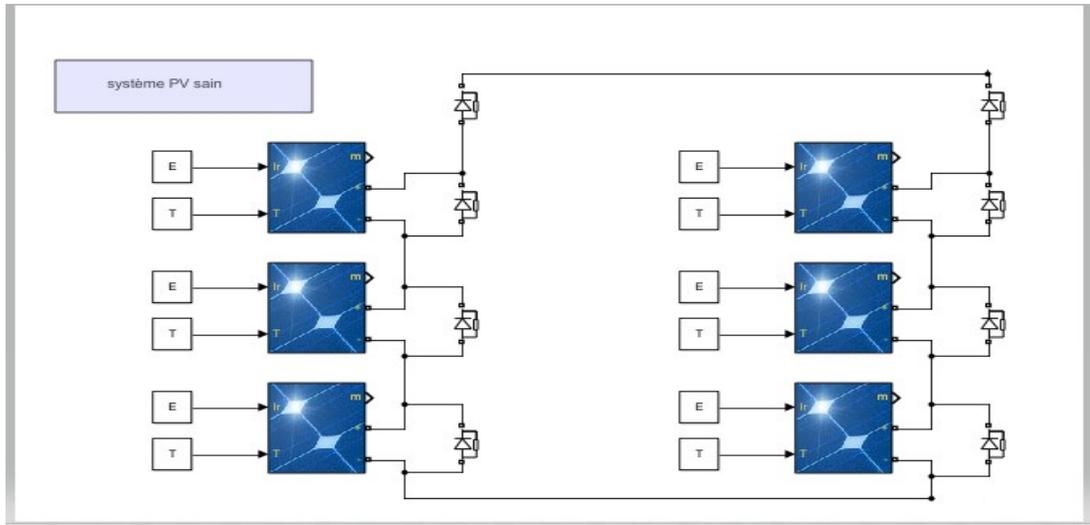


Figure 4.1 : Simulation du système photovoltaïque sous Matlab.

IV-2-2 Simulation des défauts dans le générateur photovoltaïque :

Étant donné que le générateur photovoltaïque est la seule source de courant de défaut, cinq types différents de défauts sont simulés dans le générateur photovoltaïque.

Il existe une grande variété de défauts qui peuvent modifier la puissance instantanée d'un module photovoltaïque.

L'ombrage est l'un des défauts les plus récurrents et les plus redoutables. Avec les défauts résistifs sur l'interconnexion entre les sous-chaînes d'un même module ou entre les modules.

Dans notre étude, nous présentons cinq scénarios de défauts différents:

- **Défaut1** : Condition où un quart des modules 1 et 2 sont uniquement ombrés à 25% (cas 1),
- **Défaut2** : Condition dans laquelle toutes les cellules de quatre modules (1,2,4 et 5) sont ombrées à 25% (cas 2),
- **Défaut3** : Condition où quatre modules sont ombrés à 50% (cas 3),
- **Défaut4** : une résistance de ligne connectée ayant une valeur $RC = 3\Omega$, qui représente des pertes résistives sur les connexions (cas 4).
- **Défaut5** : une résistance de ligne connectée ayant une valeur $RC = 10\Omega$, qui représente des pertes résistives sur les connexions (cas 5).

Cette méthode consiste à diagnostiquer cinq types de défauts en comparant les

paramètres caractéristiques entre la puissance modélisée idéale en condition normale d'une part et la condition de défaut d'autre part. Pour illustrer la méthode de diagnostic proposée, nous avons mesuré séparément la puissance instantanée produite par le système photovoltaïque dans des conditions normales et défectueuses pour chacun des cinq défauts considérés. Les valeurs des paramètres caractéristiques nous sont fournies par le modèle Simulink. Les figures suivantes illustrent l'influence des différents types de défauts sur les caractéristiques P-V et I-V respectivement.

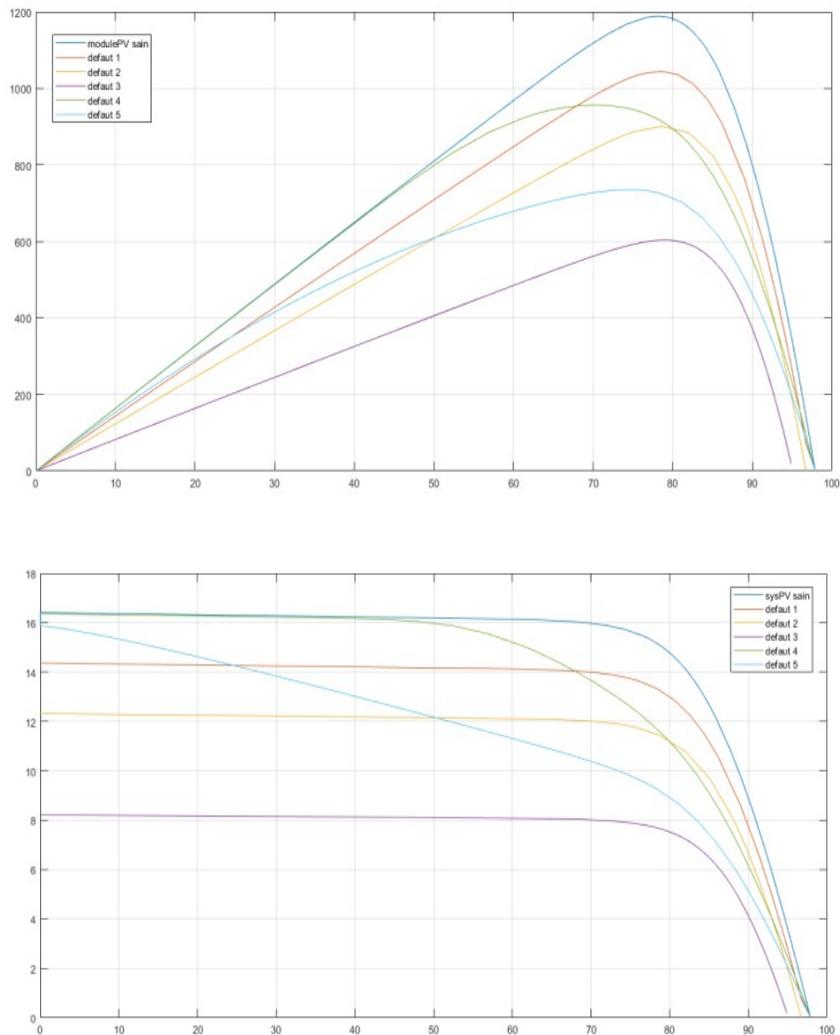


Figure 4.2: Courbes I-V et P-V mesurées et simulées pour notre système.

CHAPITRE IV

La signature électrique des défauts est définie par la déformation observée dans les courbes. C'est pourquoi nous avons considéré quatre grandeurs particulières : PMPP, IMPP, VMPP, ISC

Paramètres	condition Normal	cas 1	cas 2	cas 3	cas 4	cas 5
I_{SC} [A]	16.45	14.4	12.34	8.227	16.44	16.39
V_{MPP} [V]	78.11	78.53	78.67	78.67	70.12	73.85
P_{MPP} [A]	1189	1044	900.7	603.2	956.5	735
I_{MPP} [V]	15.22	13.3	11.45	7.667	13.64	9.953

Tableau 4.2 : Calcul des cinq paramètres (paramètres caractéristiques) pour mode idéal, normal et défectueux pour $E = 1000 \text{ w / m}^2$.

IV-3 Application de la méthode des réseaux de neurones (ANN) :

IV-3-1 Collecte de données :

Une fois le générateur photovoltaïque et les différents types de défauts sont simulés, la prochaine étape est la collecte de données. Une simulation est exécutée pour différentes valeurs d'irradiantes pour un générateur photovoltaïque sans défaut ainsi que pour les cinq types de défauts. Les valeurs de tension, de courant et de puissance sont présentées sous forme de tableaux pour différentes combinaisons d'entrées d'irradiante. Ici, pour un échantillon, les données collectées pour une irradiante de 1000 W / m^2 sont présentées dans le tableau ci-dessus.

Le tableau ci-dessous présente des données collectées pour différentes gammes d'irradiante, pour une température de 25°C . De même, la simulation a été exécutée au total 66 fois pour obtenir 264 valeurs de tension, courant et puissance pour 11 niveaux d'irradiation allant de 1000 à 500 W / m^2 avec une différence de 50 W / m^2 .

Ainsi, pour le développement du modèle de détection des défauts, les valeurs obtenues pour un rayonnement de 500 à 1000 W / m^2 , sont prises et le modèle de détection des défauts a été développé.

CHAPITRE IV

E	PMPP	IMPP	VMPP	ISC	CAS
1000	1189	15,22	78,11	16,45	N
1000	1044	13,3	78,53	14,4	1
1000	900,7	11,45	78,67	12,34	2
1000	603,2	7,667	78,67	8,227	3
1000	956,5	13,64	70,12	16,44	4
1000	735	9,953	73,85	16,39	5
950	1132	14,5	78,03	15,63	N
950	994	12,72	78,17	13,68	1
950	856,4	10,79	79,37	11,72	2
950	570,3	7,396	77,11	7,815	3
950	919,6	13,26	69,36	15,61	4
950	704,9	9,458	74,53	15,57	5
900	1075	13,65	78,75	14,81	N
900	942,5	11,86	79,47	12,96	1
900	811,7	10,4	78,07	11,11	2
900	542,8	6,751	80,18	7,404	3
900	882,6	12,65	69,75	14,79	4
900	674,3	9,04	74,58	14,75	5
850	1017	12,92	78,7	13,99	N
850	892,4	11,38	78,43	12,24	1
850	765,8	9,88	77,5	10,49	2
850	511,9	6,458	79	6,992	3
850	844,5	12,01	70,31	13,97	4
850	643,4	8,623	74,61	13,93	5
800	959,1	12,16	78,86	13,16	N
800	841	10,73	78,37	11,52	1
800	723,3	9,128	79,23	9,872	2
800	482	6,18	77,89	6,581	3
800	805,2	11,28	71,36	13,15	4
800	612,4	8,289	73,88	13,11	5
750	900,7	11,47	78,54	12,34	N
750	789,4	9,955	79,3	10,8	1
750	678,4	8,621	78,69	9,255	2
750	451,5	5,71	79,05	6,17	3
750	765	10,75	71,19	12,33	4
750	581,2	7,878	73,77	12,29	5
700	841,4	10,57	79,58	11,52	N
700	737,6	9,318	79,16	10,08	1
700	633,4	7,998	79,19	8,638	2
700	421	5,372	78,36	5,758	3
700	723,5	10,12	71,52	11,5	4
700	549,7	7,493	73,37	11,47	5
650	782,8	9,897	79,1	10,7	N
650	684,4	8,789	77,87	9,358	1
650	588,2	7,442	79,03	8,021	2
650	390,5	4,968	78,6	5,347	3
650	680,6	9,532	71,4	10,68	4
650	518	7,11	72,86	10,65	5
600	722,9	9,224	78,38	9,872	N
600	633	8,009	79,04	8,638	1
600	542,7	6,85	79,22	7,404	2
600	359,8	4,592	78,36	4,935	3
600	636,4	8,789	72,41	9,861	4
600	486,1	6,667	72,91	9,834	5

CHAPITRE IV

550	663,2	8,45	78,48	9,049	N
550	580,3	7,394	78,44	7,918	1
550	497,1	6,267	79,3	6,787	2
550	329,2	4,216	78,09	4,524	3
550	589,6	8,29	71,12	9,039	4
550	454	6,299	72,08	9,015	5
500	603,3	7,646	60,33	8,227	N
500	526,5	6,736	78,07	7,198	1
500	451,4	5,705	78	6,17	2
500	298,6	3,833	77,89	4,113	3
500	543,7	7,425	73,19	8,217	4
500	421,6	5,197	71,27	8,195	5

Tableau 4.3 : les données recueillies pour différents niveaux d'irradiante.

IV-3-2 Mécanismes des réseaux de neurones (ANN) pour détection des défauts du system PV :

Le processus de mise au point du réseau comporte trois étapes,

La première étape est la collection des mesures précédentes qui est réalisée à l'aide d'un fichier pour réaliser la base des données qui contient les informations nécessaires de chaque défaut et qui permette de classifier ces défauts.

La deuxième étape est la construction du réseau de neurones qui est un réseau multicouche (5-19-1), cinq (05) entrées dans la couche d'entrée, dix-neuf (19) couches cachées et un (01) neurone dans la couche de sortie. L'algorithme d'apprentissage utilisé est l'algorithme de rétro propagation.

La dernière étape est l'apprentissage du réseau de neurones. Pour cela nous avons utilisé la base de données qui représente 66 échantillons.

Le modèle de détection des défauts est développé à l'aide d'un réseau neuronal. Pour cela, les données prises en compte sont décomposées en données d'entraînement et données de test. Le modèle se compose de cinq entrées: irradiante, PMPP, VMPP, IMPP, Isc. Il a une sortie: numéro de défaut. La sortie est un seul nombre entier et chaque nombre indique l'état du défaut.

Un exemple de jeu de données utilisé pour la formation du réseau neuronal, 70% du total des données collectées sont utilisées pour entraîner le réseau neuronal.

Le réseau neuronal est formé à l'aide des données d'apprentissage et le modèle de liaison

{ }

CHAPITRE IV

simule est généré par le modèle de détection de défaut.

Pour la détection de défaut générée ci-dessus, l'entrée du modèle Simulink est donnée à partir des données de l'ensemble de données de test.

Type de défaut	Numéro
Sans faute (condition de travail normal)	N
Défaut de dégradation 1 (cas 1)	1
Défaut de dégradation 2 (cas 2)	2
Défaut de dégradation 3 (cas 3)	3
Défaut de résistance de ligne 1 (cas 4)	4
Défaut de résistance de ligne 2 (cas 5)	5

Tableau 4.4 : Sortie correspondant au type de défaut.

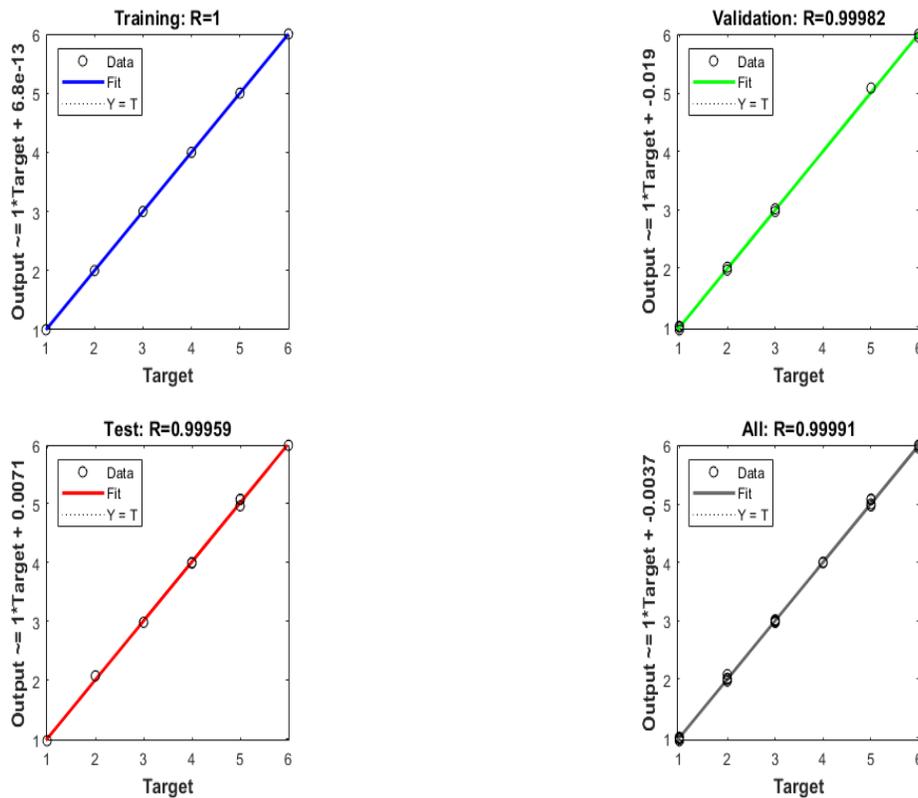


Figure 4.3: Régression linéaire entre la sortie et le Target.

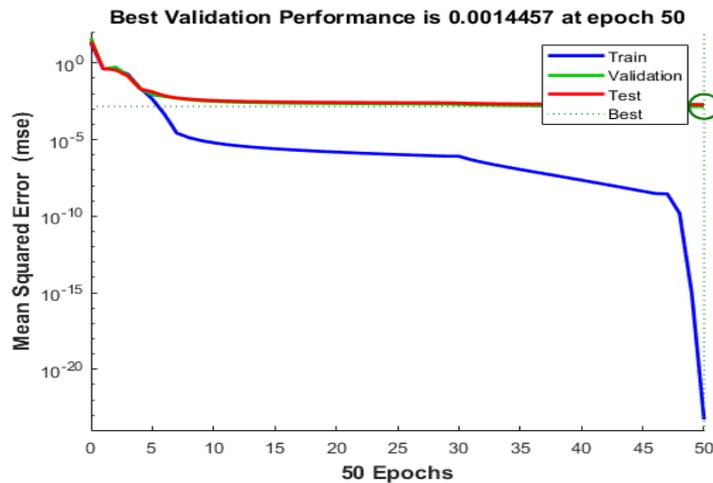


Figure 4.4: L'erreur quadratique.

- **Interprétation des résultats**

- La figure 4.3 représente la régression des valeurs de sortie calculées par notre RNA et ceux désirées, où nous remarquons les points sont positionné sur la droite $Y=T$, cela signifie que la sortie calculée par RNA égale celle désirée. Donc le rapport entre ces deux sorties (calculée et désirée) est proche de 1. Cela démontre un bon apprentissage de notre RNA.
- La figure 4.4 indique l'évolution des erreurs de l'entraînement, test et la validation qui procèdent en parallèle, Ils commencent par une valeur d'erreur élevée, puis diminuent rapidement jusqu'à atteindre la courbe de validation à la valeur meilleure de l'erreur qui est 0.0014457 à 50ième l'itération, en suit l'arrêt d'apprentissage après 6 itérations.

IV-3-3 Détection des défauts :

L'entrée du modèle de détection de défaut est un ensemble de cinq entrées : irradiante, PMPP, VMPP, IMPP, ICS. Tout ensemble d'entrées peut être donné à partir de l'ensemble de données de test encadré à partir des 30 % restants des données collectées, simulé et le résultat peut être validé pour la valeur correcte de la sortie indiquant l'état de défaut.

Une fois que l'ensemble de données d'entrée est donné, la simulation est lancée. Lorsque le modèle de simulation de détection de défaut est exécuté, un nombre entier est affiché en sortie. Cette sortie est arrondie en donnée comme entrée de la fonction Matlab. Donc cette fonction reçoit le numéro de l'entrée et affiche l'état du défaut correspondant en sortie à l'aide de l'instruction (if- ifelse). Ainsi le type de défaut est affiché dans une fenêtre, basé sur la sortie du modèle de détection de défaut.

CHAPITRE IV

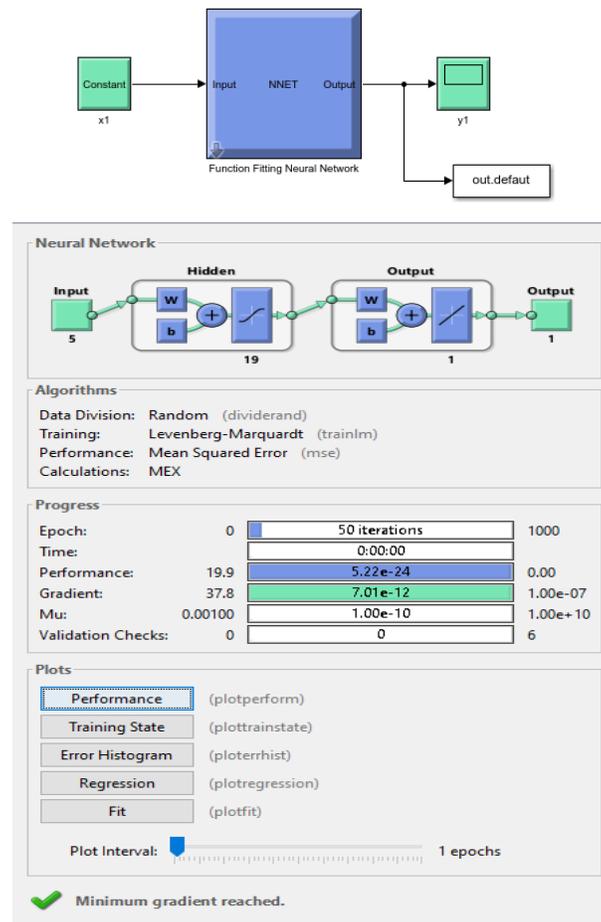


Figure 4.5 : Schéma Simulink du modèle de détection de défaut.

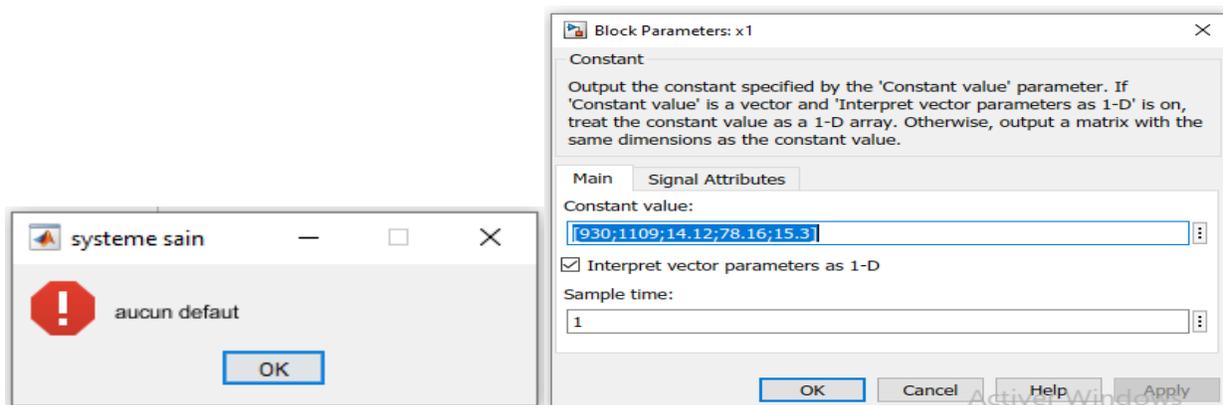


Figure 4.6 : Entrée et sortie dans le modèle de détection de défaut (cas 1).

CHAPITRE IV

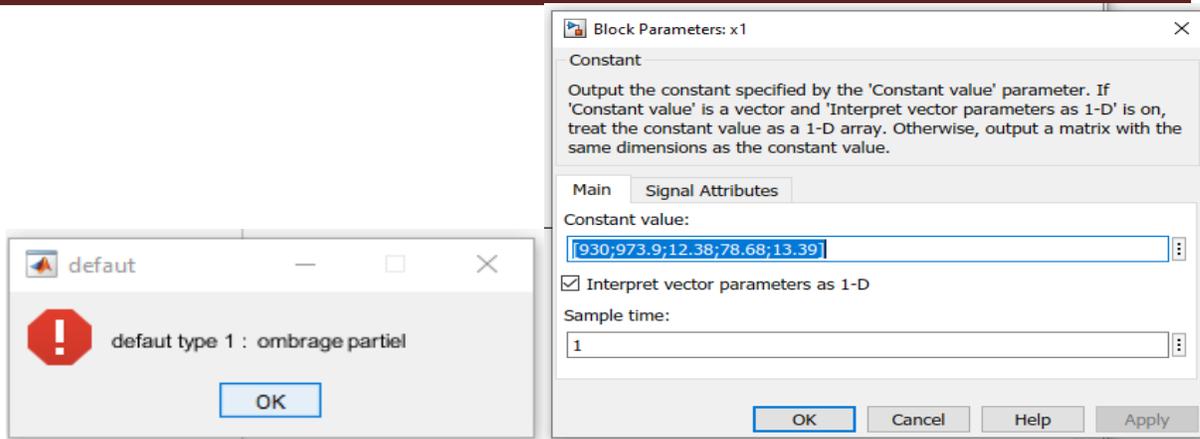


Figure 4.7 : Entrée et sortie dans le modèle de détection de défaut (cas 2).

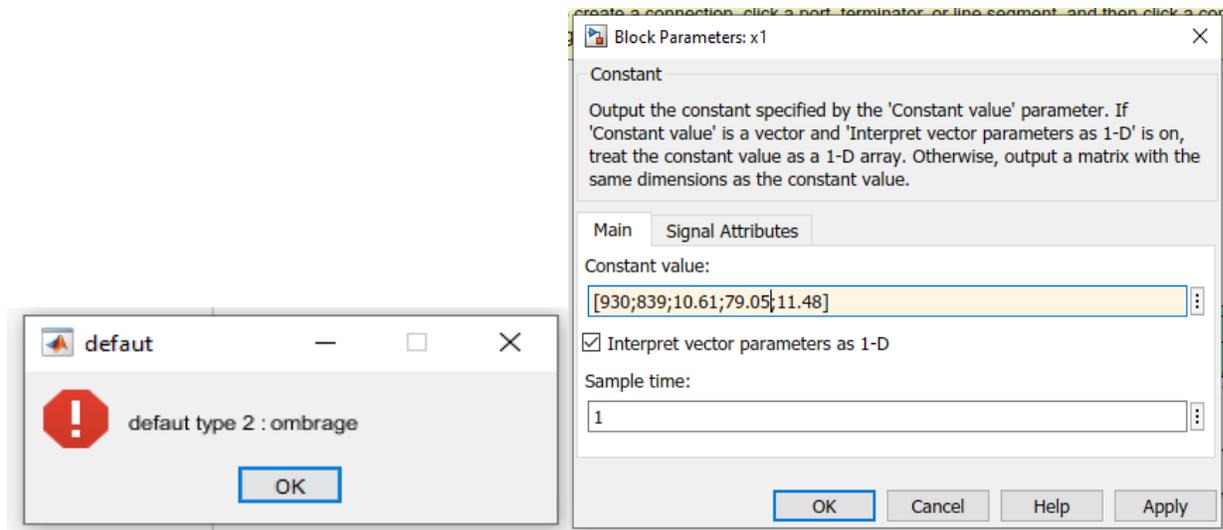


Figure 4.8 : Entrée et sortie dans le modèle de détection de défaut (cas 3).

CHAPITRE IV

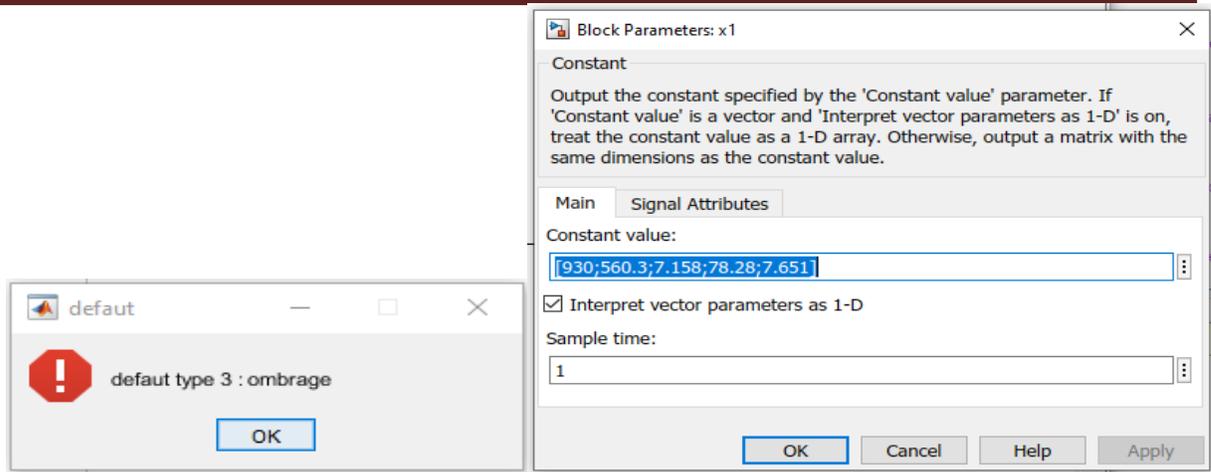


Figure 4.9: Entrée et sortie dans le modèle de détection de défaut (cas 4).

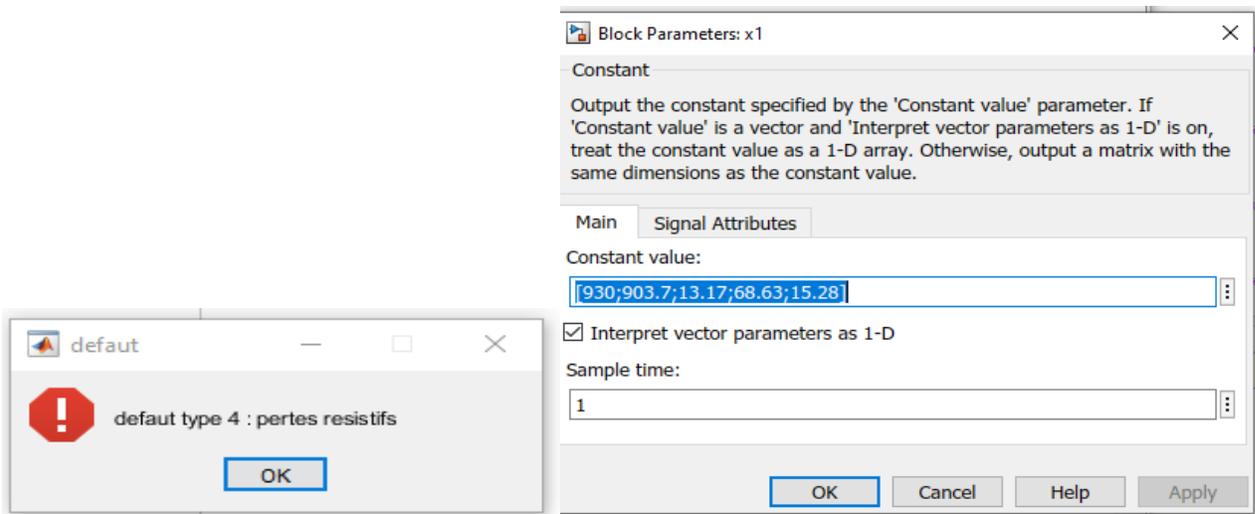


Figure 4.10: Entrée et sortie dans le modèle de détection de défaut (cas 5).

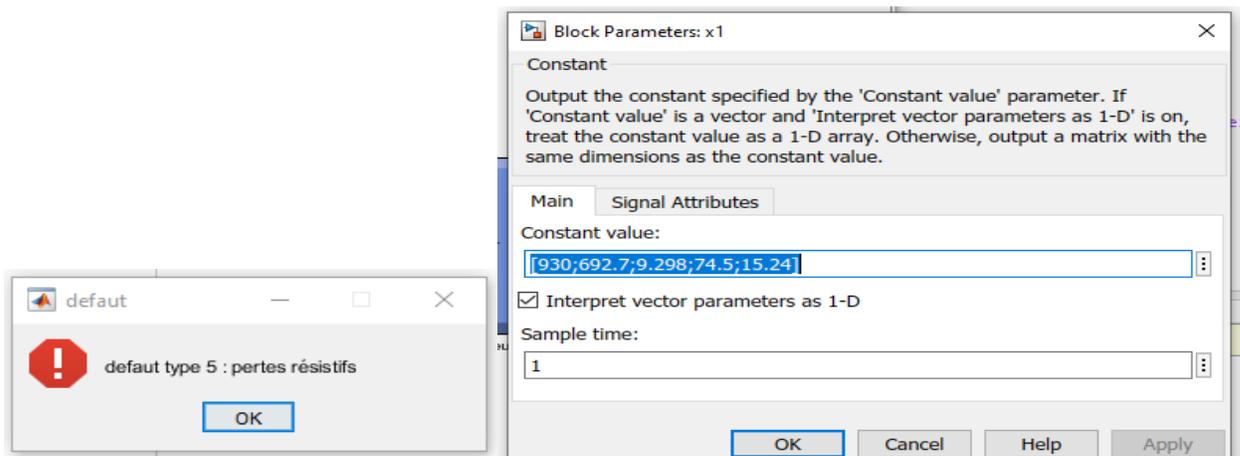


Figure 4.11: Entrée et sortie dans le modèle de détection de défaut (cas 6).

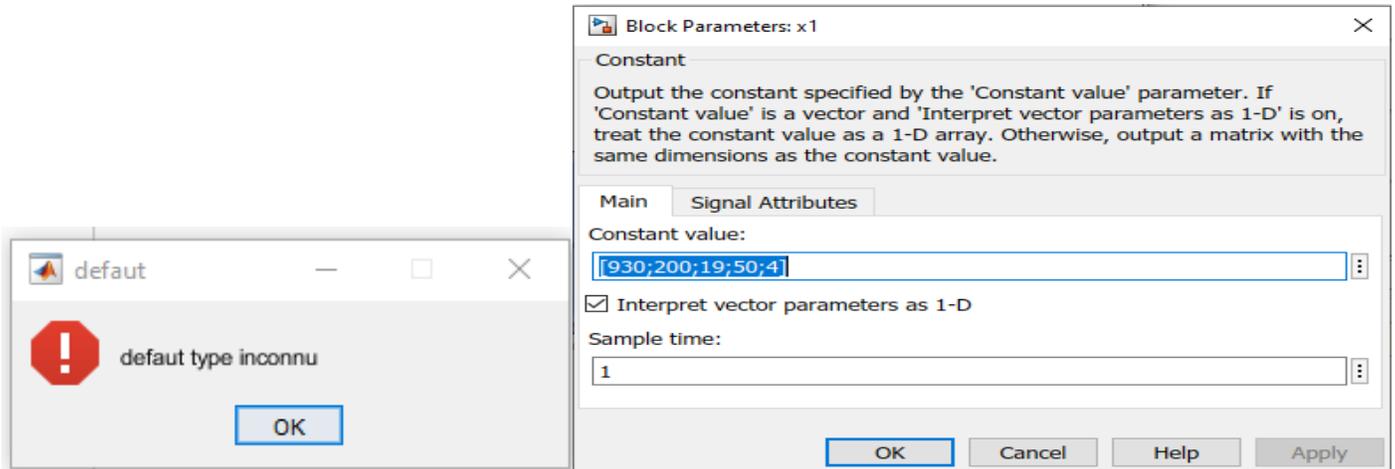


Figure 4.12: Entrée et sortie dans le modèle de détection de défaut (cas non considéré).

IV-4 Résultats et discussions :

Sur la base des données d'entrée fournies au modèle de détection de défauts, la sortie obtenue est affichée comme type de défaut dans la fenêtre de commande.

Pour vérifier que notre modèle de détection fonctionne très bien, nous avons pris les valeurs des cinq paramètres d'entrées pour le système sain comme pour le système avec les cinq types de défauts pour des valeurs d'irradiante non comprises dans le tableau de données avec lequel nous avons construit le modèle ($E=930$, $E=870$, $E=400$...etc.), ensuite nous avons donné les vecteurs d'entrée au système en sachant le cas correspondant.

Les figures (4-6) à (4-12) montrent les entrées fournies au modèle obtenu par réseaux de neurones pour une valeur d'irradiante $E=930$ et les sorties correspondantes.

D'après les résultats de simulation et les figures ci-dessus, nous constatons que le modèle détecte les défauts sans erreurs, ce qui confirme le bon fonctionnement de modèle obtenu dans la détection et l'identification des défauts.

IV-5 Conclusions :

Ainsi, à partir des résultats de simulation obtenus, il peut être conclu que les défauts dans les systèmes PV peuvent être clairement identifiés par un développement approprié du modèle de détection des défauts. Une collecte de données appropriée est nécessaire pour détecter les défauts avec précision.

Le système de détection de défaut développé peut être mis en œuvre en ligne , en développant d'abord le modèle de détection des défauts en collectant des données pour différentes valeurs d'irradiante et de puissance ,puis connectez le système PV au système d'acquisition de données (DAQ).

Le DAQ récupère les données du système PV et les transmet au modèle de détection de défaut. Ainsi, la puissance de sortie du système PV est surveillée en permanence et détecte le type de défaut, si seulement plus de données collectées pour former le modèle de détection des défauts, elle sera une détection des défauts plus précise.

Ce travail considère uniquement le générateur photovoltaïque comme la source du défaut. Avec une simulation supplémentaire du système PV, y compris le traqueur de point de puissance maximale, convertisseur et onduleur, des développements supplémentaires peuvent être réalisés dans le modèle de détection de défaut pour détecter davantage de types de défauts susceptibles de se produire dans les systèmes PV.

Les travaux futurs comprennent également l'identification de l'emplacement du défaut en surveillant les chaînes individuelles dans le système PV. Ainsi, avec une adaptation en ligne de ce modèle, toute condition de fonctionnement anormale du système PV et la cause exclusif de l'anomalie qui peuvent être identifiées, fournissant ainsi aux opérateurs des informations adéquates pour réaliser des actions correctives en temps convenable et ainsi leur permettre de faire fonctionner le système PV avec le maximum d'efficacité possible.



CONCLUSION GENERAL E

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

Dans le cadre de ce mémoire, on s'est principalement intéressé à une étude de diagnostic des défauts dans le système photovoltaïque. L'objectif est de développer un algorithme qui peut distinguer la totalité des défauts analysés, grâce à la conservation de la technique neurone.

Pour parvenir au diagnostic dans le cadre photovoltaïque, une impérative étude recherchée sur les différentes approches théoriques de diagnostic a été aboutie.

La toute première étape consiste à établir une base de compétence sur le comportement défaillant d'un système photovoltaïque. La formalité proposée consiste sur le principe d'une régularité de l'irradiance solaire sur les cellules photovoltaïques.

Nous avons assimilé des valeurs bonnes et stables de l'irradiance solaire d'un générateur photovoltaïque en fonctionnement sain et celle en fonctionnement défaillant pour les divers défauts considérés.

Plusieurs différentes incertitudes ont été causées par chaque indication afin de contourner chaque problème non repérable nous avons consacré un point.

Pour un diagnostic de défaut dans le système photovoltaïque on a classifié grâce à un technique de l'intelligence artificielle et entamé la méthode basée sur les réseaux de neurone.

Dans l'ensemble de cette étude la méthode de réseau de neurone a été appliquée dans le cas de défaut. Également le réseau de neurone artificiel exige une grande base de données pour estimer les paramètres de sortie avec une excellente précision.

Enfin le diagnostic est fait en admettant la technique de l'intelligence artificielle pour mieux reconnaître les défauts.



Référence bibliographique

Références bibliographiques

- [1] Abbassi Fatima, Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque. Application aux sites sahariens. Mémoire de licence professionnel, université Kasdi Merbah Ouargla, 2018.
- [2] <https://www.larevuedelenergie.com/> visité en mai 2022.
- [3] <https://maghrebemergent.net/> Consulté en Juin 2022.
- [4] institue Bruxelloise pour la gestion de l'environnement.
- [5] Belaout Abdesslam, <Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension>, UNIVERSITE – SETIF-1-, Mémoire de master 2014
- [6] <https://www.ecosources.org/> Consulté en Juin 2022.
- [7] [https://www.les-energies renouvelables.eu](https://www.les-energies-renouvelables.eu) Consulté en Juin 2022.
- [8] <https://www.lyceedadultes.fr/sitepedagogique> Consulté en Juin 2022.
- [9] Mr. Belaout Abdesslam, Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension, Mémoire de master Option : Instrumentation, UNIVERSITE – SETIF-1. 28/10/2014.
- [10] <https://www.lepanneausolaire.net/comprendre-principe-photovoltaïque.php>. Consulté en Juin 2022.
- [11] http://www.energies-renouvelables.org/solaire_photovoltaïque.asp. Consulté en Juillet 2022.
- [12] Aicha DJALAB, Diagnostic des défauts d'un système d'énergie renouvelable basée sur les techniques d'intelligence artificielle : Application sur un système photovoltaïque, Mémoire doctorat, Université Ziane Achour de Djelfa, 07 / 2020.
- [13] Aziz TOULAIT. Rachid Aili, Modélisation et simulation sous MATALAB/SIMULINK d' photovoltaïque adapté par une commande MPPT, Mémoire de MASTER, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, 29 septembre 2014.
- [14] Mats Leander Mathisen, Noise filtering from a nonlinear system by using AANN MASTER'S THESIS, Université de Stavanger, Norvège, June 9th 2010.
- [15] <https://www.yumpu.com>. Consulté en Juillet 2022.
- [16] <http://www.photovoltaïque.guidenr.fr>. Consulté en Juillet 2022.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [17] SALAHEDDINE BENSALAM, <Effets de la température sur les paramètres caractéristiques des cellules solaires>, mémoire master, université FERHAT ABBAS - SETIF, 2011.
- [18] M. Cândida, C. de Oliveira, A. Sonia, A. Diniz, M. Viana and V. de Freitas, 'The causes and effects of degradation of encapsulant ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) in crystalline silicon photovoltaic modules: a review', *Renewable Sustainable Energy Review*, j.rser.2017.06.
- [19] A. Kobi, CMF Ke, PA Ndiaye and V. Sambou, 'Degradations of silicon photovoltaic modules: A literature review', *Solar Energy*, j.solener.2013.07.
- [20] V. Sharma and S.S. Chandel, 'Performance and degradation analysis for long term reliability of solar photovoltaic systems: a review', *Renewable Sustainable Energy Review*, j.rser.2013.07.
- [21] G. Illya, V. Handara, L. Yujing, R. Shivakumar and A. Suriadi, 'Backsheet Degradation under Salt Damp Heat Environments - Enabling Novel and Innovative Solar Photovoltaic Systems Design for Tropical Regions and Sea Close Areas', *Procedia Engineering*, j.proeng.2015.09.
- [22] A. Mellit, G.M. Tina and S.A. Kalogirou, 'Fault detection and diagnosis methods for photovoltaic systems: a review', *Renewable Sustainable Energy Review*, j.rser.2018.03.062
- [23] C. Huang and L. Wang, 'Simulation study on the degradation process of photovoltaic modules', *Energy Conversion and Management*, j.enconman.2018.03.056.
- [24] IEA - PVPS, 'Review of Failures of Photovoltaic Modules', 2014.
- [25] D. De, D.E. Grenoble et L. Bun, 'Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV', 2011.
- [26] M. Balato and M. Vitelli, 'A new control strategy for the optimization of Distributed MPPT in PV applications', *International Journal of Power Energy System*, j.ijepes.2014.05.
- [27] J. Flicker, 'Analysis of Fuses for 'Blind Spot' Ground Fault Detection', in *Photovoltaic Power Systems J. Flicker Solar America Board for Codes and Standards* 2013.
- [28] N. OUKACINE « Utilisation des réseaux de neurones pour la reconstitution de défauts en évaluation non destructive », mémoire master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou,

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

03/07/2012

- [29] S. BOUHAFNA « Commande par DTC d'un Moteur Asynchrone Apport des Réseaux de Neurones », mémoire master, université de Batna, 16/11/2013
- [30] S. NEDJAOUME « Entraînement D'un Réseau De Neurones MLP Par La Méthode BFGS », mémoire master, Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, 2015/2016
- [31] F.GHERS « APPLICATION DES TECHNIQUES DE COMMANDES INTELLIGENTES POUR LE CONTROLE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE », mémoire master, université badji mokhtar-annaba, Année 2006
- [32] O. DJOUDI, R.ABOUBEKR « Application des réseaux de neurone pour la caractérisation géométrique d'un défaut 3D par courant de foucault », mémoire master, université Kasdi Merbah Ouargla, 2014-2015
- [33] TATI, F., & LAMOUDI, O. Etude et Réalisation d'un Système Photovoltaïque Optimisé par Logique Floue. Mémoire de doctorat.
- [34] A. Ahmed Azi, « Contribution au développement d'un outil d'aide au diagnostic de performances des MPPT dans la chaîne de conversion photovoltaïque », Mémoire master, Université de M'sila, Algérie, 2014
- [35] S. Hachour, 'Approche décentralisée pour la détection et la localisation de défauts dans une ferme photovoltaïque', Projet de Stage, 2011.
- [36] T. Takashima, J. Yamaguchi, K. Otani, T. Oozeki, K. Kato and M. Ishida, 'Experimental studies of fault location in PV module strings', Solar Energy Materials & Solar Cells, j.solmat.2008.11.060.
- [37] I. Tro, 'Fault Detection in a Photovoltaic Plant by Time Domain Reflectometry', 1994.
- [38] S. Silvestre, A. Chouder and E. Karatepe, 'Automatic fault detection in grid connected PV systems', Solar Energy, /j.solener.2013.05.001.
- [39] A. Chouder and S. Silvestre, 'Automatic supervision and fault detection of PV systems based on power losses analysis', Energy Conversion Management, /j.enconman.2010.02.025.
- [40] A. Chouder and S. Silvestre, 'Automatic supervision and fault detection of PV systems based on power losses analysis', Energy Conversion

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Management,/j.enconman.2010.02.025.

- [41] Y. Liu, M. Li, X. Ji, X. Luo, M. Wang and Y. Zhang, 'A comparative study of the maximum power point tracking methods for PV systems'/j.enconman.2014.01.049.