

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Machine Electrique

Thème

Méthode intelligente de diagnostic de défaut pour les
systèmes photovoltaïques basée sur les réseaux de neurones

Devant le jury composé de :

..... Président
..... Examineur
..... Examineur
Dr. Labbi Yacine Encadreur

Présenté par :

- Messaoud Ghrissi
- Zendah Ahmed Alsalem
- Bela Baci Oussama

2021-2022

REMERCIEMENTS

Remerciements :

Avant tout nous tenons nos remerciements à notre dieu Allah le tout puissant de nous avoir accordé la force et le Courage d'atteindre notre but et d'accomplir notre travail.

Nous tenons à exprimée notre profonde reconnaissance à M. Labbi Yacine , notre encadreur de mémoire dont ç a réceptivité, le savoir-faire et le soutien ne nous à jamais fait défaut. nous le remercions de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé. Surtout pour son encadrement, sa compréhension et sa gentillesse durant tout le long de notre mémoire.

Nous tenons également à remercier vivement les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

A toutes les personnes appartenant ou non a la faculté , qui ont contribué de près ou de loin, directement ou indirectement à l'accomplissement de ce travail, Ce trouvez ici le témoignage de notre profonde reconnaissance.

Dédicace

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Tout d'abord, je tien a remercier le Tout-Puissant de m'avoir donné le
courage

et la patience pour arriver a ce stade afin de realiser ce travail.

Que je dédie :

A ma très chère mère ,qui n'a jamais cessé de prier pour moi. A mon très
cher papa ,pour ses encouragements. A mes très chers frères. À toute ma
grande famille : GHRISSI. A mes amis les plus chers, chacun avec son
nom. A tous mes amis gourous de la promotion électrotechnique. A la fin
je dèdie très chaleureusement ce mémoire .A tous ceux qui m'ont aidè de
près ou de loin pour la réalisation de ce travail .

Messaoud

Dédicace

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Tout d'abord, je tiens à remercier le Tout-Puissant de m'avoir donné le
courage

et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail.

Que je dédie :

A ma très chère mère ,qui n'a jamais cessé de prier pour moi. A mon très
cher papa ,pour ses encouragements. A mes très chers frères. À toute ma
grande famille : BELA BACI. A mes amis les plus chers, chacun avec son
nom. A tous mes amis gourous de la promotion électrotechnique. A la fin
je dédie très chaleureusement ce mémoire .A tous ceux qui m'ont aidé de
près ou de loin pour la réalisation de ce travail .

Oussama

Dédicace

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Tout d'abord, je tiens à remercier le Tout-Puissant de m'avoir donné le
courage

et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail.

Que je dédie :

A ma très chère mère ,qui n'a jamais cessé de prier pour moi. A mon très
cher papa ,pour ses encouragements. A mes très chers frères. À toute ma
grande famille ZENDAH AHMED. A mes amis les plus chers, chacun
avec son nom. A tous mes amis gourous de la promotion
électrotechnique. A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire .A tous
ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail .

Alsalem

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Sommaire:

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

Résumé

Liste des figures

Liste des symboles

Liste des tableaux

Introduction générale

Chapitre I : le système photovoltaïque

I-1 Introduction	3
I-2 Historique	3
I- 3 L'effet photovoltaïque.....	4
I- 4 Principe générale d'une cellule photovoltaïque.....	4
I- 5 Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	5
I-5-1 Interaction lumière-matière	6
I-5-2 transfère d'énergie des photons aux électrons	6
I-5-3 collecte des charges électriques	6
I-6 l'énergie solaire photovoltaïque	7
I-7 Les constituants d'un module PV	7
I-8 Les modèles de la cellule PV	8
I-8-1 Modèle à une diode	8
I-8-2 Modele ideal	9
I-8-3 Modèle avec pertes ohmiques(R_s -Model)	10
I-8-4 Modèle à deux diodes	11
I-8-5 Modèle empirique	12

I-8-6	Modèle de Bishop.....	12
I-9	Constitution d'un générateur photovoltaïque (GPV).....	13
I-10	Protection d'un générateur photovoltaïque.....	14
I-10-1	Protection lors de la connexion en parallèle de plusieurs GPV	14
I-10-2	Protection du GPV constituée de la mise en série d'un grand nombre de cellules PV.	15
I-10-3	Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités.....	17
I-10-3-1	Ombrage d'un générateur.....	17
I-10-3-2	Nécessité de protection contre les courants inverses	18
I-10-3-3	Diode de by-pass	18
I-10-3-4	Diode anti-retour	19
I-11	la poursuite du point maximale du puissance MPPT (Maximum Power Point Tracker).....	20
I-11-1	Principe de fonctionnement du régulateur MPPT	20
I-11-2	Quelle est l'efficacité du régulateur MPPT	20
I-11-3-1	Effets des facteurs environnementaux sur le régulateur MPPT	20
I-11-3-1	Impact de l'ensoleillement	21
I-11-3-2	Impact de la température.....	21
I-11-3-3	Impact de l'ombrage.....	22
I-11-4	Approche MPPT	23
I-11-4-1	Approche Perturbe and Observe	23
I-11-5	.simulation de la commande MPPT numérique « P&O »	25
I -11-5-1	Résultats de simulation	26
I-12-	Indice de performance (Facteur de qualité pour l'installation photovoltaïque).27	
I-12-1-	Facteurs environnementaux	27
I-12-2-	Autres facteurs.....	27
I-13-	La caractéristique I-V de la cellule PV.....	27
I-13-1-	Le courant de court-circuit I_{cc}	28

I-13-2- La tension en circuit ouvert V_{co}	28
I-13-3 puissance débitée.....	28
I-13- 4 -Le facteur de forme FF	29
I-13-5 Le rendement de conversion d'énergie η	29
I-13-6 Influence des paramètres sur la caractéristique I-V	29
I-13-7 Influence du type de connexion sur la caractéristique I-V	30
I- 14- Avantages et inconvénients d'une installation PV	31
I-14-1- Avantage	31
I-14-2- Inconvénient	31
I-15 conclusion.....	31

Chapitre II : Modélisation du défaut en générateur PV et methodes de diagnostique:

II-1 introduction	34
II-2 Modélisation du générateur PV en défaut	34
II-2-1 Classification des défauts pour la modélisation.....	34
II-2-1-1 Défauts dans le générateur photovoltaïque.....	35
II-2-1-2 Défauts dans la boîte de jonction.....	37
II-2-1-3 Défauts dans le système de câblage.....	38
II-2-1-4 Défauts dans le système de protection.....	39
II-2-1-5 Défauts dans l'onduleur.....	41
II-2-1-6 Défauts dans le système d'acquisition.....	41
II-3 Méthodes de détection et de diagnostic des défauts d'un système PV	42
II-3-1 Méthodes non –électriques	43
II-3-1-1 Méthode de l'imagerie numérique infrarouge thermique	43
II-3-1-2 Méthode de réflectométrie.....	44
II-3-2 Méthodes électriques	45
II-3-2-1 Méthode d'analyse de la puissance produite	45

II-3-2-2	Méthode d'analyse des caractéristiques I-V et P-V	45
II-3-2-3	Méthode d'analyse du point de fonctionnement	45
II-4	Conclusion	46

Chapitre III : Réseaux de neurones

III-1	Introduction	47
III-2	Réseaux de neurones artificiels.....	47
III-2	Historique des RNA.....	48
III-3	Modèle Biologique	48
III-4	Neurone formel	49
III-5	Fonctions d'activation.....	50
III-6	Le principe de fonctionnement.....	51
III-7	Architecture des réseaux de neurones artificiels	52
III-8	L'Apprentissage des Réseaux de Neurones	53
III-8-1	Apprentissage supervisé.....	54
III-8-2	Apprentissage non supervisé	54
III-9	Quelques Modèles des Réseaux de Neurones Artificiels	54
III-9-1	Les perceptrons multicouches	55
	✓ Le perceptron monocouche	55
	✓ Les perceptrons multicouches.....	55
III-10	Applications des ANN.....	56
III-11	Production des résultats	56
III-12	Avantages et inconvénients	58
III-13	Conclusions	59

Chapitre IV : Détection et prédiction des défauts dans les systèmes photovoltaïques :

IV-1	Introduction	60
IV-2	Détection et classification de défaut pour un GPV	60

IV-2-1 Simulation du système PV sous MATLAB / SIMULINK.....	61
IV-2-2 Simulation de générateur photovoltaïque dans MATLAB / SIMULINK.....	62
IV-2-3 Simulation des défauts dans le générateur photovoltaïque	62
IV-3 Application de la méthode des réseaux de neurones (ANN).....	64
IV-3-1 Collecte de données	64
IV-3-2 Mécanismes du réseaux de neurones (ANN) pour détection des défauts du system PV	66
IV-3-3 Détection de Fautes	68
IV-4 Résultats et discussions	69
IV-4-1 1er cas : 05 Entrées du modèle de détection de défaut [Isc, Vco, Pmpp, Vmpp, E] ...	69
IV-4-2- 2eme cas : 04 Entrées sans l'entrée climatique ([Isc, Vco, Pmpp, Vmpp]).....	75
IV-5 Conclusions et travaux futurs.....	79
Conclusion générale.....	80
Références bibliographiques	81

Résumé :

Les énergies renouvelables sont le moteur de toute activité humaine moderne. Cette énergie est considérée comme inépuisable. Les systèmes d'énergie renouvelable sont exposés à des pannes et des accidents qui entraînent la défaillance de leurs installations. Ces systèmes tombent en panne et se détériorent pendant la période d'exploitation. Cela nécessite le développement d'un système de diagnostic dont l'objectif principal est de traduire les indicateurs pour détecter les défauts afin de maintenir une excellente production d'énergie pour le système photovoltaïque. Une recherche approfondie est menée pour diagnostiquer les défauts du système photovoltaïque à l'aide de la technologie de l'intelligence artificielle. Cette étude consiste à développer un algorithme de base sur la méthode des réseaux de neurones artificiels pour diagnostiquer les défauts du système photovoltaïque.

Les mots clés : Les énergies renouvelables ; système photovoltaïque ; L'effet photovoltaïque

Abstract :

Renewable energies are the engine of all modern human activity. This energy is considered inexhaustible. Renewable energy systems are exposed to breakdowns and accidents that cause their facilities to fail. These systems fail and deteriorate during the operating period. This requires the development of a diagnostic system whose main objective is to translate indicators to detect faults to maintain excellent power production for the photovoltaic system. An in-depth research is conducted to diagnose faults in the photovoltaic system using artificial intelligence technology. This study consists of developing a basic algorithm on the method of artificial neural networks to diagnose faults in the photovoltaic system

Key words : Renewable energy ; the photovoltaic system ; the photovoltaic effect

ملخص :

إن الطاقات المتجددة هي محرك كل نشاط بشري حديث. تعتبر هذه الطاقة لا تنضب. تتعرض أنظمة الطاقة المتجددة إلى أعطال وحوادث تسبب في فشل منشآتها. هذه الأنظمة تفشل وتندهر خلال فترة التشغيل. يتطلب ذلك تطوير نظام تشخيص هدفه الرئيسي هو ترجمة المؤشرات و إكتشاف الأعطال للحفاظ على إنتاج طاقة ممتاز للنظام الكهروضوئي. يتم إجراء بحث معمق لتشخيص الأعطال في النظام الكهروضوئي باستخدام تقنية الذكاء الاصطناعي، تتكون هذه الدراسة من تطوير خوارزمية أساسية حول طريقة الشبكات العصبية الاصطناعية لتشخيص الأعطال في النظام الكهروضوئي

الكلمات المفتاحية : الطاقة الشمسية ; النظام الكهروضوئي ; التأثير الكهروضوئي

Liste des figures :

Figure I.1 : Schéma d'une cellule pv

Figure I.2 : Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Figure I.3: Les différentes couches constituant un module pv

Figure I.4: Circuit équivalent d'une cellule PV –Modèle 1-D –

Figure I.5 : Circuit équivalent d'une cellule PV –Model ideal–

Figure I.6: Circuit équivalent d'une cellule PV –Rs-Model –

Figure I.7: Le schéma de circuit équivalent de la cellule PV avec modèle à deux diodes, résistance série et résistance shunt.

Figure I.8 : Circuit équivalent simple de la cellule PV

Figure I.9: Schéma équivalent d'une cellule pv Modèle de Bishop

Figure I.10: Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour

Figure I.11: Propriétés I-V d'une cellule solaire à la lumière du soleil et dans l'obscurité.

Figure I.12: Caractéristiques I-V des sous-réseaux A et B du module PV dans une situation d'irradiation non homogène. (1 cellule sous-irradiée).

Figure I.13: Caractéristique I-V résultante de la mise en série de deux sous-réseaux de cellules avec une cellule du sous-réseau A sous-irradiée et les deux demi-modules protégés par diode by-pass.

Figure I.14: Fonctionnement de la cellule dans le 3^{ème} quadrant de la caractéristique I-V à cause de l'ombre .

Figure I.15: Module de 36 cellules protégé par deux diodes de by-pass .

Figure I.16: diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion des autres strings.

Figure I.17: Caractéristique solaire I–V et P–V avec différentes insolation et pour une température constante .

Figure I.18: Caractéristique des cellules solaires avec différentes températures de travail et une insolation constante .

Figure I.19: Fonctionnement du solaire PV dans des conditions d'ombrage partiel .

Figure I.20: Courbe I–V et P–V dans des conditions d'ombrage partiel .

Figure I.21: Caractéristique Ppv(Vpv) et fonctionnement de la méthode Perturbation et Observation.

Figure I.22: Organigramme de la méthode Perturbation et Observation .

Figure I.23: schéma block de l'algorithme (P&O).

Figure I.24: schéma du convertisseur Boost contrôlé par MPPT.

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

Figure I.26 : Allure de la tension en fonction de temps pour ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W/m}^2$).

Figure I.27: Allure du courant en fonction de temps pour ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W/m}^2$).

Figure I.28: Représentation conventionnelle de la courbe $I(V)$ et $P(V)$.

Figure I.29: Points et valeurs remarquables de la caractéristique courant – tension.

Figure I.30 : La génération de résidus / symptômes par estimation des paramètres .

Figure I.31: Schéma de connexion de cellule en série et en parallèle .

Figure II.1: Exemples de défauts rencontrés dans les générateurs photovoltaïque PV.

Figure II.2: Exemples de défauts rencontrés dans les boîtes de jonction.

Figure II.3: Exemples de défauts rencontrés dans le câblage.

Figure II.4: Exemples de défauts de diodes by-pass.

Figure II.5: Méthodes de diagnostic de défauts d'un générateur PV.

Figure II.6: Exemple de la localisation de défauts par la caméra thermique.

Figure II.7: Principe de la réflectométrie pour localiser le défaut dans un string PV.

Figure III.1: Un réseau de neurones biologiques composé de plusieurs neurones interconnectés.

Cette image est une représentation théorique à quoi pourrait ressembler un réseau de neurones biologiques .

Figure III.2: Exemple de neurone biologique.

Figure III.3: Schématisation de la fonction d'activation de la somme pondérée.

Figure III.4: Réseau de Neurones.

Figure III.5: Architecture réseau neuronal.

Figure III.6: Courbe de performance produite lors de l'entraînement du 2:5:10:1:10:5:2 réseau.

Figure III.7: Diagramme de régression produit lors de l'apprentissage du réseau 2:5:10:1:10:5:2.

Figure III.8: Les paramètres x et y tracés ensemble après en les exécutant via le réseau 2:5:10:1:10:5:2.

Figure IV-1- Simulation du module de panneaux photovoltaïque sous Matlab

Figure IV-2-Simulation du système photovoltaïque sous Matlab.

Figure IV-3- Courbes I-V mesurées et simulées pour 2 cas différents de défauts de connexion et 3 conditions d'ombrage partiel différentes.

Figure IV-4- la sortie réelle est comparée à la sortie prévue.

Figure IV-5- Bloc d'apprentissage du réseau de neurones et l'erreur quadratique.

Figure IV-6- Entrée du modèle de détection de défaut ($x_1=I_{sc}$, $x_2=V_{co}$, $x_3=P_{mpp}$, $x_4=V_{mpp}$, $x_5= E$).

Figure IV-7-Première entrée du modèle de détection de défauts.

Figure IV-8-Aucun état de défaut affiché dans la fenêtre de commande.

Figure IV-9- Deuxième entrée du modèle de détection de défauts.

Figure IV-10- Sortie défaut 1 affichée dans la fenêtre de commande.

Figure IV-11- Troisième entrée du modèle de détection de défauts.

Figure IV-12-Sortie défaut 4 affichée dans la fenêtre de commande.

Figure IV-13-Quatrième entrée du modèle de détection de défauts.

Figure IV-14- Sortie défaut 4 affichée dans la fenêtre de commande.

Figure IV-15- Cinquième entrée du modèle de détection de défauts.

Figure IV-16- Sortie défaut 5 affichée dans la commande.

Figure IV-17-Sixième entrée du modèle de détection de défauts.

Figure IV-18- Sortie défaut 6 affichée dans la fenêtre de commande.

Figure IV-19- Bloc d'apprentissage du réseau de neurones et l'erreur quadratique.

Figure IV-20- Schéma Simulink du modèle de détection de défaut.

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 [C]

n_s : Nombre de cellules en série

n_p : Nombre de cellules en parallèle

G : Conductance du GPV

D : Rapport cyclique

P&O: Perturb and Observe

C_e: couple électromagnétique du moteur

C_r: couple de charge (ou couple résistant)

ω: vitesse de l'arbre du moteur

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux:

Tableau II.1: Défaits et leurs conséquences dans un générateur

Tableau II.2: Les défauts dans la boîte de jonction.

Tableau II.3: Les défauts dans le système de câblage.

Tableau II.4: Les défauts dans le système de protection.

Tableau II.5 : Les défauts dans l'onduleur.

Tableau II .6 : Les défauts dans le système d'acquisition.

Tableau III.1: Les modèles de fonctions d'activation

Tableau III.2 : Type de réseau utilisé pour chaque domaine.

Tableau IV-1: Données du panneau p-Si China light Solar CLS 220P.

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

Tableau IV-3: Calcul des cinq paramètres (paramètres caractéristiques) pour le mode idéal, normal et défectueux pour $E=800 \text{ w/m}^2$.

Tableau IV-4:. Données collectées pour différentes valeurs d'éclairement dans des conditions de fonctionnement normales et pour différents cas de défaut

Tableau IV-5:. Sortie correspondant au type de défaut

Tableau IV-6: la sortie réelle est comparée à la sortie prévue



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

Durant ces dernières décennies, l'utilisation des sources d'énergie 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. Par contre le développement des sources d'énergie renouvelable 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. Qui consiste sont utilisation sur une large place d'applications et pour satisfaire les contraintes du coût, le système devrait présenter une bonne exploitation des cellules photovoltaïques. Donc on peut dire que la Photovoltaïque a trouvé son utilité dans des applications à petites échelles.

Dans ce dernier cas,- la conception de 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 tout le temps, en 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 exposer 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 sur une approche de modélisation du système photovoltaïque pour s'informer du modèle de la cellule PV, du module PV, et la modélisation du générateur PV sain en matlab et en défaut est accosté aussi les différents types d'algorithmes de recherche du point de puissance maximale

INTRODUCTION GENERALE

Dans le deuxième chapitre, on a abordé la modélisation du générateur photovoltaïque et on se concentre sur la classification des défauts pour la modélisation .

Dans le troisième chapitre, nous présentons une bref clairvoyance du réseaux de neurones puis on entame l'utilisation de filtrage du bruit grâce au réseaux de neurones, surtout une construction et une analyse des Modèle ANN . Puis l'utilisation de quelque méthode théorique ANN pour la plupart des commande matlab et aussi sur l'ensemble des test de données.

Dans le quatrième et dernier chapitre destiner a 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 base sur le réseaux de neurone et discriminer l'intégralité des défauts désigner dans notre étude.

Enfin, nous dressons a la fin de cette étude approfondis une conclusion général .



CHAPITRE I

Le système photovoltaïque

Le Système Photovoltaïque

I-1 Introduction

Une partie du rayonnement solaire est convertie en énergie électrique grâce à la cellule photovoltaïque qui produit de l'énergie solaire photovoltaïque. Cette nouvelle source d'énergie renouvelable a fait ses preuves par sa grande flexibilité et sa capacité à travailler dans des conditions difficiles.

Dans ce chapitre, nous aborderons les concepts généraux de l'énergie solaire et le modèle équivalent d'une cellule photovoltaïque ainsi que les détails d'un générateur photovoltaïque.

I-2 Historique

Le développement des systèmes photovoltaïques est le résultat d'un travail continu depuis de nombreuses années et des contributions de différents scientifiques à travers l'histoire, et nous mentionnerons les dates des étapes qui sont passées par :

1839 : Le physicien français Antoine Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

1887 : L'effet photoélectrique a été compris et présenté en 1887 par Heinrich Rudolf Hertz qui en publia les résultats dans la revue scientifique *Annalen der Physik*.

1905 : Einstein expliqua le phénomène photoélectrique en 1905 et obtint le prix Nobel de physique sur ses travaux en 1921.

1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince des laboratoires BELL mirent au point la première cellule photovoltaïque au silicium avec un rendement de 4%, au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

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

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Wilmington dans l'Etat du Delaware, USA.

1983 : La première voiture alimentée par de l'énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

1995 : Des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau ont été lancés, au Japon et en Allemagne, et se généralisent depuis 2001.

2000 : Entrée en application le 1er avril 2000 et modifiée en 2004 et en 2009, l'EEG Renewable Energy Sources Act (EEG) est le résultat de la transposition de la directive européenne relative à la promotion des énergies renouvelables dans le secteur de l'électricité.

2005 : En décembre 2005 mise en réseau de la première centrale solaire photovoltaïque du groupe Prime Energy à Weil am Rhein (Baden-Württemberg), Hagen heimer strasse 17, 79576 Weil am Rhein . [1]

Cette découverte, appelée plus tard "l'effet photoélectrique", a eu un impact significatif sur le développement des panneaux photovoltaïques.

I-3 L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est un processus dans lequel la lumière est convertie en électricité. Elle a été expérimentée pour la première fois en 1839 par Henri Becquerel lorsqu'il a immergé une feuille de platine (Pt) recouverte d'une fine couche de chlorure d'argent dans une solution électrolytique, puis a illuminé la feuille alors qu'elle était connectée à une contre-électrode [2].

Dans la technologie PV, la puissance électrique en courant continu (CC), indiquée en watts (W) ou en kilowatts (kW), est générée à partir de matériaux semi-conducteurs lorsqu'ils reçoivent des photons dans un processus d'éclairage [3].

Fonctionnellement, les éléments PV individuels principalement connus sous le nom de cellules solaires comprennent une jonction p-n dans un matériau semi-conducteur où une absorption de lumière s'est produite. Les cellules solaires n'ont jamais besoin d'être rechargées pour produire à nouveau de l'électricité, comme ce qui se passe dans une batterie. Par conséquent, la production d'énergie électrique se poursuit tant que la lumière est projetée sur une cellule solaire. Une fois l'éclairage interrompu, la production d'électricité est également arrêtée [2,3].

I-4 Principe générale d'une cellule photovoltaïque

Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque est basé sur les propriétés de semi-conducteurs qui, percutés par les photons, mettent en mouvement un flux d'électrons. Les photons sont des particules élémentaires qui transportent l'énergie solaire à 300 000 km/s et qu'Albert Einstein appelait dans les années 1920 les « grains de lumière ». Lorsqu'ils frappent un élément semi-conducteur comme le silicium, ils arrachent des électrons à ses atomes. Ces

électrons se mettent en mouvement, de façon désordonnée, à la recherche d'autres "trous" où se repositionner.

Mais pour qu'il y ait un courant électrique, il faut que ces mouvements d'électrons aillent tous dans le même sens. Pour les y aider, on va associer deux types de silicium. La face exposée au soleil est "dopée" avec des atomes de phosphore qui contiennent plus d'électrons que le silicium, l'autre face est dopée avec des atomes de bore qui contiennent moins d'électrons. Cette double face devient une sorte de pile : le côté très chargé en électrons devient la borne négative (N), le côté avec moins d'électrons devient la borne positive (P). Entre les deux il se crée un champ électrique.

Quand les photons viennent exciter les électrons, ceux-ci vont migrer vers la zone N grâce au champ électrique, tandis que les « trous » vont vers la zone P. Ils sont récupérés par des contacts électriques des deux faces de zones pour aller dans le circuit extérieur sous forme d'énergie électrique. Un courant continu se crée. Une couche antireflet permet d'éviter que trop de photons se perdent en étant réfléchis par la surface[4].

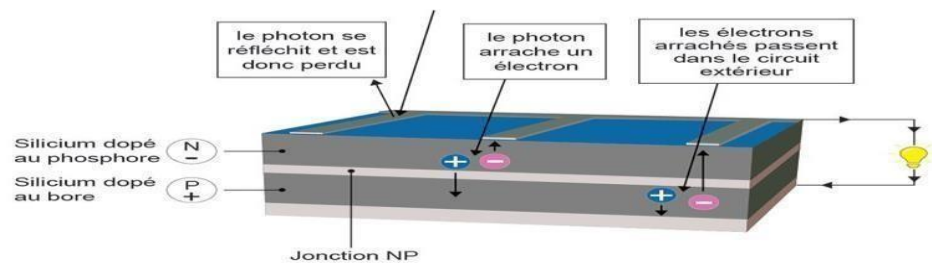


Figure I.1 : Schéma d'une cellule PV [4]

I-5- Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Pour une cellule photovoltaïque, le processus est le suivant :

La pénétration des "granules" de lumière (photons), très légèrement dans le silicium, déplace une partie des électrons hors du métal. Un métal semi-conducteur ne permet aux électrons de se déplacer que dans une seule direction, et les électrons traversés par la lumière doivent passer à l'extérieur d'un circuit pour se remettre en place, générant du courant. [5]

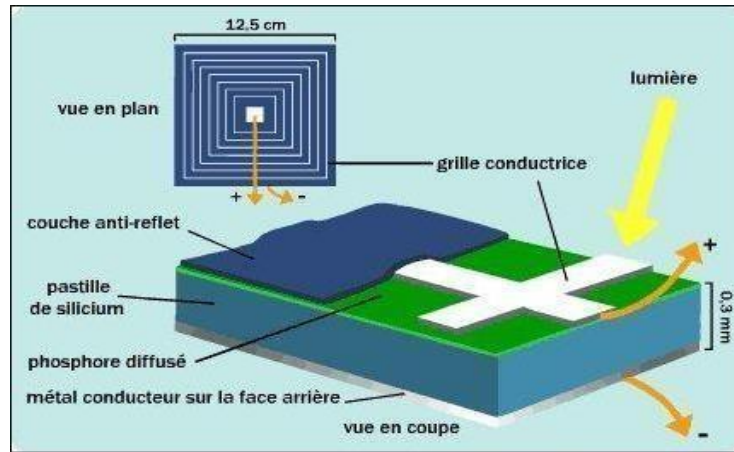


Figure I.2 : Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [6]

I-5-1 Interaction lumière-matière

Les photons formés à partir du rayonnement solaire transportent une énergie estimée par la relation suivante : [7]

Où est la quantité d'énergie, λ est la longueur d'onde, la constante de Planck et c 'est la vitesse de la lumière. Le silicium absorbe les photons incidents en fonction de leur longueur d'onde. Ainsi les photons de plus faible longueur d'onde qui sont plus énergétiques (ultraviolet) seront absorbés dans le premier micromètre de la cellule tandis que les photons de plus grande longueur d'onde (infrarouge) pourront atteindre la face arrière et être réfléchis. La bande passante E_g restreinte est un facteur important car elle détermine le seuil d'absorption. Le photon interagit avec l'électron, qui peut fournir beaucoup d'énergie.

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

Des paires électron-trou formées à partir de l'énergie de photons incidents, plus communément appelés porteurs photogénèses. Les porteurs minoritaires, amenant des électrons dans une substance dopée, des trous dans une substance dopée, diffusent sous l'effet des gradients de concentration vers l'interface. Ils sont alors déclenchés par le champ électrique et atteignent la zone où ils sont majoritaires pour participer au courant électrique traversant les dispositifs photosensibles [7].

I-5-3 Collecte des charges électriques

Le matériau qui reçoit la lumière doit être un semi-conducteur, afin que chaque photon puisse transférer la quantité d'énergie qu'il transporte, un état intermédiaire entre l'isolant, où les

électrons ne peuvent pas tourner, et le conducteur, où les électrons sont complètement libres de tourner.

Lorsque la lumière pénètre dans un semi-conducteur, ses photons fournissent l'énergie qui permet aux électrons de se déplacer et génère ainsi la force électrique dans le matériau. [8]

I-6 L'énergie solaire photovoltaïque

Le soleil est une source d'énergie inépuisable qui est envoyée à la surface le rayonnement sur Terre représente environ 8 400 fois la consommation chaque année énergie. Cela correspond à une puissance de crête automatique instantanée de 1 kW par mètre Carré réparti sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge.

L'énergie solaire photovoltaïque consiste à produire de l'électricité directement à la lumière grâce aux panneaux solaires L'énergie provient des photons (composants de la lumière) qui entrent en collision et libèrent des électrons, créant un courant électrique. Ce courant continu peut être converti d'une petite puissance calculée en watts crête (W_c) en courant alternatif grâce à l'onduleur. [7]

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

Le générateur solaire photovoltaïque est constitué de modules photovoltaïques constitués de cellules photovoltaïques connectées les unes aux autres. [6]

I-7 Les constituants d'un module PV

La production du module PV, l'encapsulation a pour but d'assembler les cellules en série ou en parallèle pour leur permettre d'être utilisées à des tensions et courants pratiques tout en assurant leur isolation électrique et leur protection contre les agressions extérieures. Cette protection doit permettre une durée de vie utile des modules PV supérieure à 20 ans.

L'encapsulation consiste à placer un ensemble constitué de cellules et de matériau d'emballage (EVA) entre deux panneaux de verre (procédé de double vitrage) ou entre une feuille de verre et un ensemble constitué de fines couches de polymère (tedlar, mylar) et d'aluminium (procédé de simple vitrage).

Les cellules photovoltaïques sont encapsulées entre deux couches de thermoplastiques manufacturés [9].

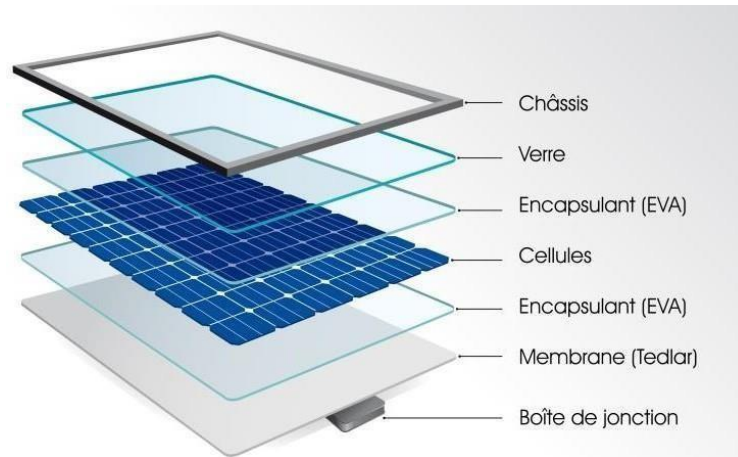


Figure I.3: Les différentes couches constituant un module PV

I-8 Les modèles de la cellule PV

La mise en œuvre de la modélisation du système photovoltaïque vise à générer des indicateurs de défaut (symptômes) pour notre système de diagnostic. L'objectif du système de diagnostic est de détecter et d'identifier les défauts du côté DC du système photovoltaïque, nous avons choisi d'arrêter l'analyse du système photovoltaïque dans la seule sous-partie liée au côté DC du générateur photovoltaïque. [7]

I-8-1 Modèle à une diode

Ce modèle est désigné aussi par Rp-Model. Ce model tient compte non seulement des pertes en tension exprimée par la résistance série R_s mais aussi des fuites de courants exprimées par une résistance parallèle R_p [10,11,12,13].

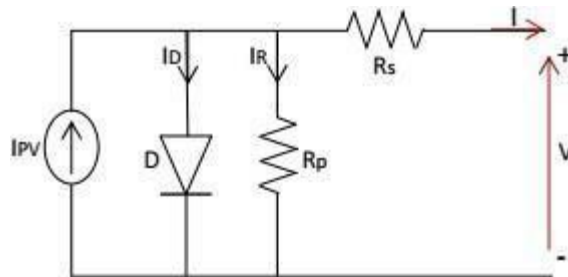


Figure I-4 Circuit équivalent d'une cellule PV –Modèle 1-D

C'est le modèle sur lequel s'appuient les constructeurs en donnant les caractéristiques techniques de leurs cellules solaires (data sheet). Il est aussi considéré satisfaisant et même une référence pour les constructeurs pour cataloguer typiquement les modules solaires.

L'équation du courant délivré par la cellule photovoltaïque est décrit comme suit :

$$I = I_{pv} - I_0 + I_s \left[\exp \left\{ \frac{V}{aV_t} \right\} - 1 \right] - \frac{V + IR_{sy}}{R_p} \quad (I.1)$$

R_p : La résistance modélisant les courants de fuites de la jonction

I-8-2 Modèle idéal

La réflexion précédente nous permet d'aboutir au modèle électrique équivalent de la cellule photovoltaïque représentée dans la figure II-2, appelé le modèle idéal. C'est le modèle le plus simple pour représenter la cellule solaire, car il ne tient compte que du phénomène de diffusion. Le circuit équivalent simplifié d'une cellule solaire se compose d'une diode et d'une source de courant montés en parallèle [11].

La source du courant produit le photon courant I_{ph} qui est directement proportionnel à l'éclairement solaire G

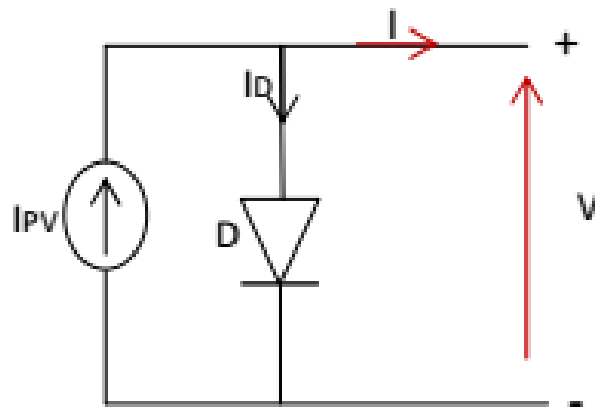


Figure I.5 : Circuit équivalent d'une cellule PV –Modèle idéal–

L'équation courant tension I-V du circuit équivalent est donné comme suit:

$$I = I_{pv} - I_0$$

I : Courant fourni par la cellule [A]

I_{pv} : photon-courant de la cellule proportionnel à l'éclairement (G)

Avec :
$$I = I_{pv} - I_o + I_s \left[\exp \left\{ \frac{V}{aV_t} \right\} - 1 \right] \quad (I.2)$$

I_o : courant de saturation inverse de la diode.

V_t : potentielle thermodynamique.

K : la constante de Boltzmann ($1.38.10^{-23}$ Joules/Kelvin).

T : la température de la cellule en Kelvin

q : la charge d'un électron $=1,6.10^{-19}C$

a : le facteur d'idéalité de la jonction.

V : la tension aux bornes de la cellule

I-8-3 Modèle avec pertes ohmiques μ (Rs-Model)

Ce modèle tient compte de la résistivité du matériau et des pertes ohmiques dues aux niveaux des contacts, ce qui permet une meilleure représentation du comportement électrique de la cellule par rapport au modèle idéal [10,11]. Ces pertes sont représentées par une résistance série R_s dans le circuit équivalent représenté ci-dessous:

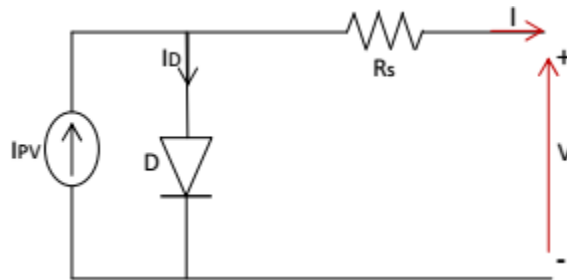


Figure I-6 Circuit équivalent d'une cellule PV –Rs-Model –

Après analyse du circuit, l'équation courant- tension est donnée comme suit :

Avec :
$$I = I_{pv} - I_o + I_s \left[\exp \left\{ \frac{V + IR_s}{aV_t} \right\} - 1 \right] \quad (I.3)$$

R_s : La résistance série caractérisant les diverses résistances de contacts et de connexions.

I-8-4 Modèle à deux diodes

Le circuit équivalent de la figure I.7 représente le modèle à double diode d'une cellule PV ; la cellule solaire sous éclairage est modélisée comme une source de photo-courant connectée avec deux diodes idéales et deux résistances : série (R_s) et shunt (R_p). La diode D1 reproduit le processus de diffusion, tandis que D2 représente la recombinaison des porteurs. Ainsi, le courant traversant la première diode I_{D1} , est le courant de diffusion et, le courant traversant la deuxième diode I_{D2} , est le courant de recombinaison dans la région de charge d'espace. Ces derniers, contribuent aux courants de saturation d'une cellule photovoltaïque solaire [14].

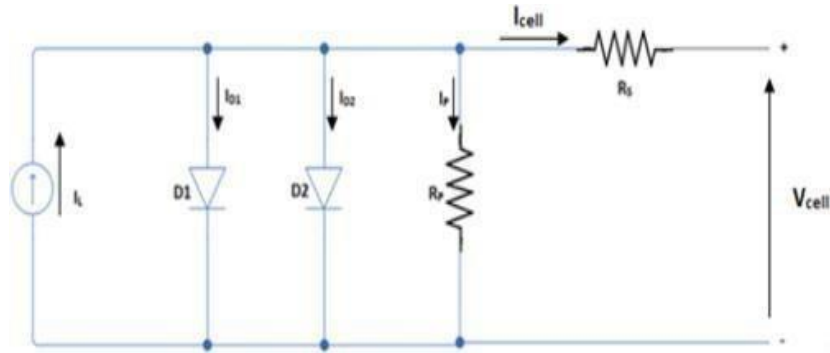


Figure I.7: Le schéma de circuit équivalent de la cellule PV avec modèle à deux diodes, résistance série et résistance shunt.

L'équation de la caractéristique I-V contient deux termes exponentiels. Le courant de sortie du générateur PV est donné par l'équation suivante :

$$I_{cel} = I_L + I_{01} \left[\exp \left\{ \frac{q(V_{cel} - R_s I)}{a_1 k T_{cel}} \right\} - 1 \right] + I_{02} \left[\exp \left\{ \frac{q(V_{cel} - R_s I)}{a_2 k T_{cel}} \right\} - 1 \right] - \frac{V_{cel} + R_s I}{R_p} \quad (I.4)$$

Où

I_{01} et I_{02} : sont les courants de saturation des diodes des première et deuxième diodes, respectivement.

N_s : est le nombre de cellules PV connectées en série dans le module PV

a_1 et a_2 : sont les facteurs d'idéalité de la diode qui représentent respectivement les composantes des courants de diffusion et de recombinaison.

Pour plusieurs diodes connectées en série l'expression devient :

$$I_{Ns} = I_L + I_{01} \left[\exp \left\{ \frac{q(V_{cel} - R_s I)}{a_1 N_s k T_{cel}} \right\} - 1 \right] + I_{02} \left[\exp \left\{ \frac{q(V_{cel} - R_s I)}{a_2 N_s k T_{cel}} \right\} - 1 \right] - \frac{V_{cel} + R_s I}{R_p} \quad (I.5)$$

I-8-5 Modèle empirique

Ce modèle décrit le comportement de la cellule PV par .L'avantage majeur de ce modèle le nombre limité des paramètres qui peuvent être facilement trouvés dans les data-sheets des constructeurs.

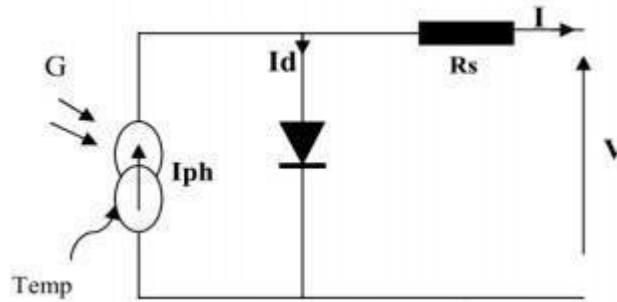


Figure I.8 : Circuit équivalent simple de la cellule PV[7]

La relation entre le courant de sortie et la tension aux bornes de la cellule est dérivée de

$$I_{ph} = \frac{\Phi}{\Phi_{ref}} [I_{ph_{ref}} + \mu I_{cs} (T - T_{ref})] \quad (I.6)$$

$$I_s = I_{sref} \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^3 \cdot \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_g}{A_k} \right) \cdot \left(\frac{1}{T_{ref}} \right) - \left(\frac{1}{T} \right) \right] \quad (I.7)$$

l'équation 2.1 en supposant que $R_{sh} = \infty$ [7]

I-8-6 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 [15].

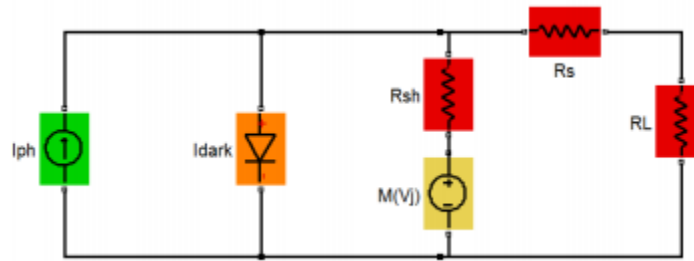


Figure I.9: Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle de Bishop [7]

I-9 Constitution d'un générateur photovoltaïque (GPV)

L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un GPV. Si les cellules se connectent en série, les tensions de chaque cellule s'additionnent, augmentant la tension totale du générateur. D'une autre part, si les cellules se connectent en parallèle, c'est l'ampérage qui augmentera.

La plupart des panneaux PV commerciaux sont constitués par des sous-réseaux de cellules connectés en série. Chacun de ces sous-réseaux est lui-même constitué d'un groupe de cellules PV connectés en série. Le nombre de cellules par sous-réseaux est le fruit d'un compromis économique entre protection et pertes d'une partie importante du GPV en cas de défaut partiel.

Nous pouvons remarquer que comme pour une cellule, la caractéristique électrique $I(V)$ d'un GPV est non linéaire et présente un point de puissance maximale (PPM). Ce point a également un courant et une tension associés appelés I_{opt} et V_{opt} respectivement. Le point de fonctionnement d'un GPV est fonction de l'impédance de la charge qu'il alimente. Cette charge pourrait être une charge résistive ou un bus de tension continue (par exemple, connecté sur une batterie). Dans le cas d'une batterie, c'est elle qui impose le point de fonctionnement du GPV lors d'une connexion directe.

La figure I.10 montre la schématique classiquement adoptée pour un GPV élémentaire. Pour tous les essais que nous avons menés dans cette thèse, nous avons eu à notre disposition

des modules PV référencés BP585 constitués de deux fois 18 cellules PV. Leur environnement de fonctionnement traditionnel comprend la connexion de deux diodes by-pass et d'une diode anti-retour. Les connexions physiques permettent de travailler avec ou sans les diodes en fonction des conditions souhaitées[16].

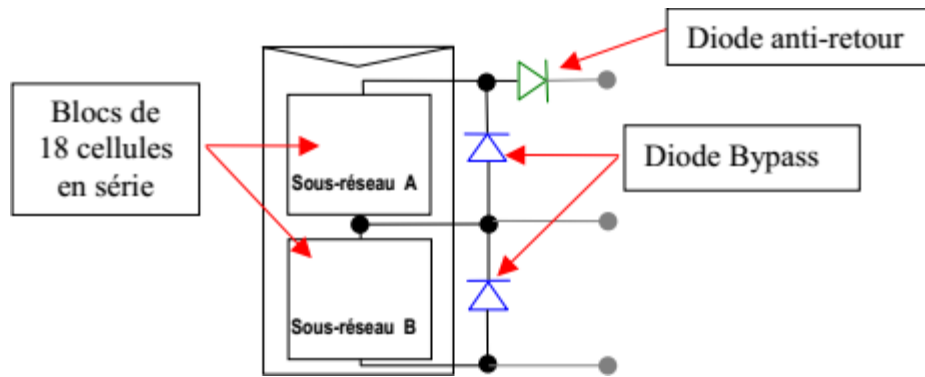


Figure I.10 : Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour

I-10 Protection d'un générateur photovoltaïque

Lorsque nous concevons des installations photovoltaïques, nous devons nous assurer que Protection électrique de cette lampe pour prolonger sa durée de vie en l'évitant Y compris les pannes dévastatrices liées à la connectivité cellulaire et Opération à l'ombre. Pour cela, il existe plusieurs types de protection Utilisé dans les installations existantes :

- .Protection en cas de mise en parallèle de modules PV pour éviter Courants négatifs en GPV (diode anti-retour),
- .Protection lors de la connexion en série des modules photovoltaïques qui ne permet pas de perte Chaîne complète (diode de dérivation) et évitement des points chauds,
- .Protection du générateur photovoltaïque contre les surintensités.

Dans les paragraphes suivants, nous abordons l'application de ces protections. [16]

I-10-1 Protection lors de la connexion en parallèle de plusieurs GPV

Dans le cas de plusieurs chaînes de cellules mises en parallèle sur une charge, le risque est que des chaînes de cellule éclairées débitent dans des chaînes ombrées ou que la charge ne se décharge à travers le générateur. On dispose pour cela de diodes anti-retour mises en série avec le GPV (de blocage) comme le montre la figure I.10 Cette diode est indispensable quand la charge du module PV est une batterie. En fait, cette diode évite que la batterie ne débite sur

le module PV pendant la nuit. La figure I.11 montre les caractéristiques $I(V)$ d'une cellule solaire, ensoleillée, puis dans l'obscurité. [16]

Comme nous pouvons le voir, quand la cellule est dans l'obscurité, une batterie pourrait se décharger à travers la cellule si nous ne disposons pas d'une diode de blocage.

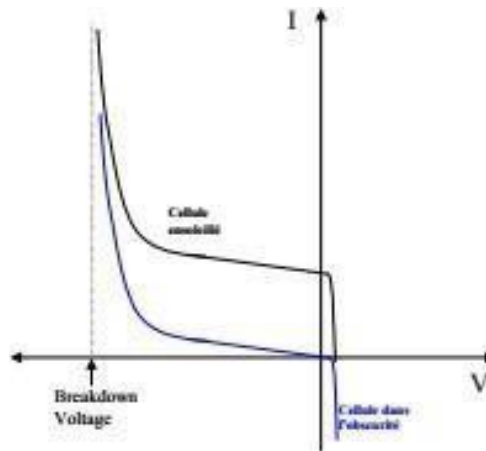


Figure I.11 : Propriétés I-V d'une cellule solaire à la lumière du soleil et dans l'obscurité.

Nota : La présence de la diode anti-retour entre le GPV et la charge provoque une certaine quantité de puissance est dissipée en raison de la chute de tension dans le boîtier double vide.

I-10-2 Protection du GPV constituée de la mise en série d'un grand nombre de cellules PV

La connexion séquentielle des cellules photovoltaïques indique que le courant traversant chaque cellule est c'est la même chose que tous les GPV associés. Ainsi, lorsque le GPV ou une partie de celui-ci GPV (par exemple, cellule) ombré, cela peut être la partie non radioactive du module

Vous trouvez un biais inverse et devenez réceptif, puis dissiper le pouvoir que vous ne pouvez pas il est extrait. Cette dissipation a un effet immédiat sur le chauffage de la zone exposée. Un tel échauffement local peut entraîner l'apparition de "points chauds" [13, 14, 15] qui peuvent endommager la zone touchée et entraîner une détérioration permanente de l'ensemble du module PV. Pour éviter ces effets indésirables, contournez les binaires associé à un sous-réseau cellulaire comme illustré à la figure. I.10. la figure I.12 montre les caractéristiques I-V du module PV de la figure I.10 divisées en deux demi-modules A et B. Nous avons représenté séparément les propriétés des sous-synapses A et B. représenté par un comportement normal (en rouge). Le sous-réseau B contient une cellule il est soumis à un niveau d'ensoleillement inférieur par rapport aux 17 autres cellules qui composent ce sous-réseau. La caractéristique I-V résultante

de cette sous-couche est représentée en bleu. nous avons en noir représentent les caractéristiques I-V de la cellule ombragée et 17 autres cellules trouvez-le dans les conditions de rayonnement nominal.

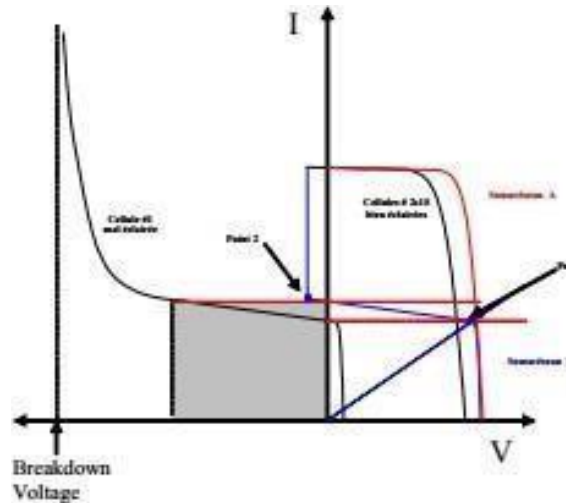


Figure I.12 : Caractéristiques I-V des sous-réseaux A et B du module PV dans une situation d'irradiation non homogène. (1 cellule sous-irradiée).

La caractéristique résultante d'un réseau de cellules s'obtient de la variation du courant du GPV de sa valeur nulle jusqu'au courant de court-circuit en additionnant les tensions associées aux deux caractéristiques I-V. Quand le courant de la caractéristique I-V du sous-réseau B atteint le courant de court-circuit de la cellule ombrée, il apparaît le point de rupture 1 sur la caractéristique résultante de ce sous-réseau et à partir de ce point, la caractéristique résultante suit le comportement de la caractéristique en inverse de la cellule ombrée, comme nous le voyons sur la figure I.12. C'est à ce moment-là que la cellule ombrée dissipe de la puissance et peut être endommagée par la création des « points chauds ».

La caractéristique en inverse d'une cellule dépend fortement de la technologie de fabrication [13, 14, 15]. Dans notre cas, nous avons une diode by-pass sur chaque sous-réseau de cellules. Quand la tension du sous-réseau B excède la tension en directe de la diode by-pass celle-ci se met en état passant. Ceci implique une limitation de la tension qui peut se voir comme la montée verticale de la caractéristique résultante du sous-réseau B à partir du point de rupture 2.

Ainsi nous pouvons limiter la tension inverse maximale aux bornes de la cellule ombrée en protégeant cette cellule de fonctionner en inverse. La figure I.13 montre en vert la caractéristique résultante du module PV de la figure I.10 avec la protection des diodes by-pass.

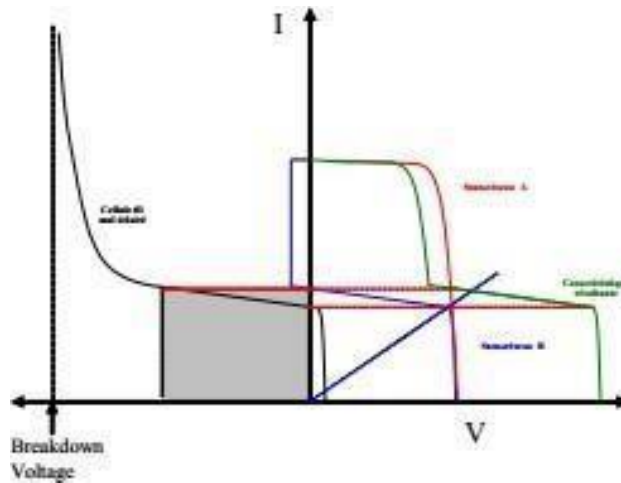


Figure I.13 : Caractéristique I-V résultante de la mise en série de deux sous-réseaux de cellules avec une cellule du sous-réseau A sous-irradiée et les deux demi-modules protégés par diode by-pass.

De la caractéristique I-V de la figure I.13, nous pouvons déduire qu'il existe alors deux maximums de puissances quand le module se trouve soumis à une irradiation non-homogène.

I-10-3 Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités

Le générateur PV comme toutes autre générateur d'énergie électrique doit être protégé contre les surintensités, et autre types de problèmes. [17]

I-10-3-1 Ombrage d'un générateur

L'ombrage partiel de la cellule se termine, forçant la cellule à fonctionner dans le quadrant Q3 (voir Figure I-7), c'est-à-dire inverser la polarité de la tension de l'élément et l'élever au seuil de la tension de jonction inverse ($U_C \approx -15 \text{ V}$ à -25 V).

La puissance absorbée par les cellules à l'ombre dépasse très nettement la puissance normalement dissipée et provoque des points chauds. [17]

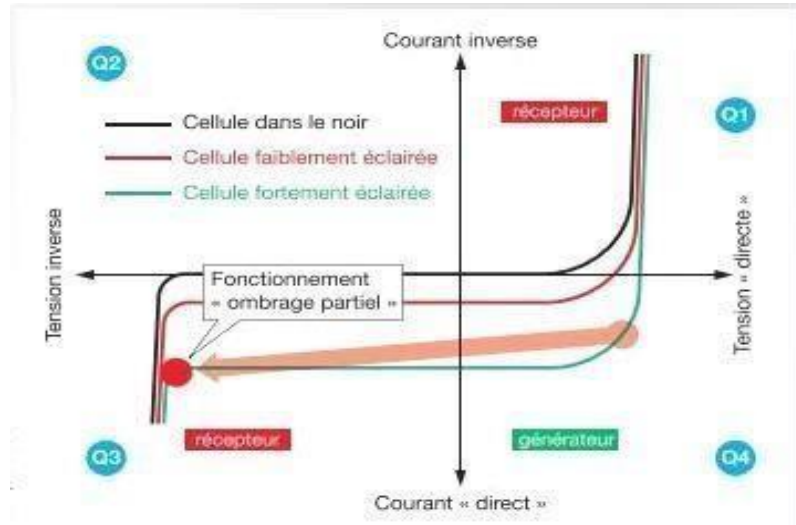


Figure I.14: Fonctionnement de la cellule dans le 3^{ème} quadrant de la caractéristique I-V à cause de l'ombre [9]

I-10-3-2 Nécessité d'une protection contre les courants inverses

Les concepts de courants admissibles pour protéger les canalisations contre les surcharges sont automatiquement satisfaits et ne nécessitent pas l'installation de protection pour assurer cette fonctionnalité, et le dimensionnement des câbles en série est fortement dépendant des chutes de tension.

Le principal critère de sélection d'un fusible est la valeur de l'IRM (Maximum Inverted Current PV) que l'unité peut temporairement supporter jusqu'à ce que le fusible de protection sélectionné interrompe le courant de défaut de sortie après un défaut.

Nous concentrons notre attention sur les composants utilisés pour protéger le générateur photovoltaïque. [17]

I-10-3-3 Diode de by-pass

La diode de by-pass est connectée en antiparallèle avec un groupe de cellules pour protéger les cellules les plus faibles contre la polarisation inverse.

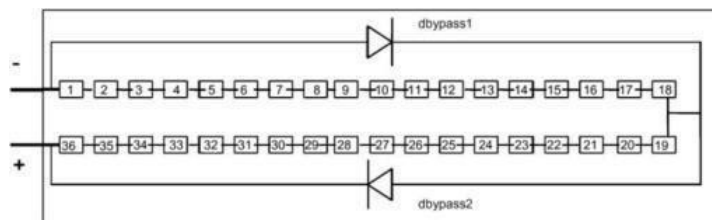


Figure I.15: Module de 36 cellules protégé par deux diodes de by-pass

La plupart des modules PV commerciaux sont constitués par association de cellules solaire en série incluant une ou deux diodes de by-pass (Figure I .15). L'une des configurations les plus populaires que nous pouvons trouver sur le marché des modules PV. Quelques modules PV sont offerts sans diodes de by-pass. Ceci peut être compris parce que dans des applications autonomes, où le rangé (le string) PV est constituée juste par association des modules PV en parallèle, chargeant une batterie de 12 ou 24 V, l'inclusion des diodes de bypass n'est pas du tout nécessaire.

D'autre part, dans de grands modules PV, ayant par exemple 72 cellules en série, quelques fabricants incluent six diodes de by-pass, une pour chaque 12 cellules.

La conception de rangée PV et la configuration des diodes de by-pass dans Les modules PV constituant la rangée, a un grand influence sur la probabilité et la sévérité de l'apparition de points chauds le long du string PV [18].

I-10-3-4 Diode anti-retour

La tension produite par chaque string peut être différente. Lors de la mise en parallèle de ces strings pour former un champ, le string avec la tension la plus faible peut absorber un courant inverse provenant des autres strings. Cela conduit donc à une baisse de production et les modules du string traversés par le courant inverse pourraient être également susceptibles de la défaillance. Pour éviter ces courants inverses, une diode anti-retour est placée au bout de chaque string (voir Figure I.16) [18].

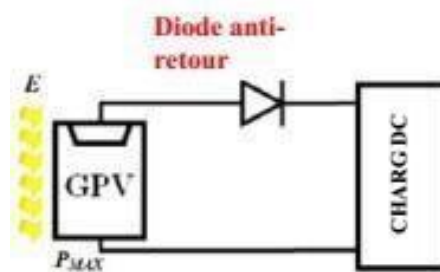


Figure I.16: diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion des autres strings.

I-11 la poursuite du point maximale du puissance MPPT (Maximum Power Point Tracker)

Le régulateur de charge solaire MPPT est utilisé comme composant essentiel du système solaire; Compte tenu de son rôle prépondérant dans l'exploitation de toute l'énergie produite à partir des cellules solaires et dans la régulation de l'alimentation CC conformément à la tension approuvée du système solaire. C'est un convertisseur DC/DC qui fait passer le courant électrique sous forme d'impulsions comme le type PWM, mais il a l'avantage de pouvoir utiliser de manière optimale l'énergie produite par les cellules solaires, car il réduit la tension tout en augmentant le courant[19].

I-11-1 Principe de fonctionnement du régulateur MPPT

Le principe de base du régulateur MPPT est d'extraire le maximum d'énergie électrique possible des cellules solaires, en les faisant fonctionner à la tension la plus efficace (le point de puissance maximum). Ensuite, le régulateur travaille pour réduire la tension totale des panneaux à la tension de charge et pour obtenir le courant de charge maximal pour la batterie, et également à travers lui, il peut faire fonctionner des charges électriques en courant continu [19].

I-11-2 Quelle est l'efficacité du régulateur MPPT

Il existe des conditions plus efficaces pour le fonctionnement du régulateur MPPT qui le distinguent du régulateur PWM, et ce sont :

.Temps froid : étant donné que les panneaux solaires produisent mieux à des températures froides, le MPPT est mieux utilisé pour extraire le maximum d'énergie possible des cellules.

.À une profondeur de décharge élevée de la batterie : grâce au régulateur MPPT, le processus de charge de la batterie peut être accéléré si la tension de la batterie est faible [19].

I-11-3 Effets des facteurs environnementaux sur le régulateur MPPT:

Les caractéristiques de la cellule solaire sont fortement influencées par:

- 1- Insolation
- 2- Temperature
- 3- Condition d'ombrage partial

Les impacts de ces facteurs environnementaux sont expliqués comme suit.

I-11-3-1 Impact de l'ensoleillement :

Les changements de caractéristique avec la variation de l'insolation sont illustrés à la Fig I.17 Le courant de court-circuit (I_{sc}) de la cellule solaire est fonction de l'insolation et diminue proportionnellement à la diminution de l'insolation. La figure montre que le point de puissance maximale varie également en fonction de l'ensoleillement changeant[20].

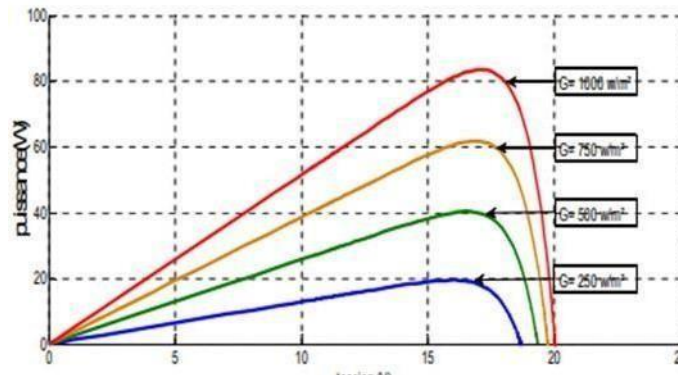


Fig I-17: influence de l'ensoleillement sur le point de puissance maximal (PPM)

I-11-3-2 Impact de la temperature:

La température est un autre facteur qui montre une influence considérable sur les caractéristiques de la cellule solaire. Avec l'augmentation de la température, la tension en circuit ouvert augmente proportionnellement mais le courant de court-circuit diminue de manière logarithmique. La figure I .17 reflète cette particularité des caractéristiques des cellules solaires pour différentes valeurs de température [20].

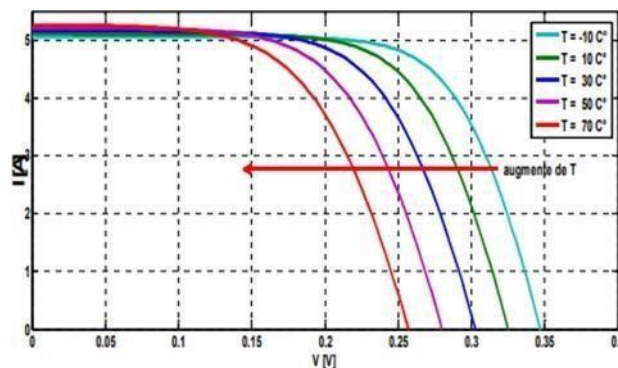


Figure I-18 : influence de la temperature sur la tension de circuit ouvert (V_{co})

I-11-3-3 Impact de l'ombrage :

Avec la température et l'insolation, l'ombrage partiel montre également une influence majeure sur les caractéristiques des cellules solaires. Lorsque plusieurs modules PV sont connectés et que l'un d'eux est partiellement ombragé, l'ensoleillement reçu par les deux modules est différent. Cette condition de non-concordance est expliquée en considérant un exemple de deux cellules solaires Q6LMXP3-G3 connectées en série avec leur tension aux bornes V1 et V2, la puissance totale P et la tension totale V comme indiqué sur la Fig. I .19 . Elle montre la condition d'ombrage avec la stratégie d'atténuation de la diode de dérivation . Fig. I .20 montrent la caractéristique du PV solaire pour cette condition d'ombrage.

Comme expliqué ci-dessus, on voit que tous ces facteurs variant dans le temps et dépendant de l'environnement montrent une contribution majeure dans les changements du point de fonctionnement ou du point de puissance maximale (MPP) tout au long de la journée. La fonction de suivi du point de puissance maximale est de déplacer ce point de fonctionnement changeant vers le point (P_{max}) où le module délivre la puissance maximale. Le phénomène de suivi du point de puissance maximale est le même que l'adaptation d'impédance par un transformateur à changement de bande en cas de courant alternatif et en courant continu, un convertisseur CC-CC est utilisé pour convertir la tension de sortie de la cellule solaire par rapport à P_{max} en modifiant le rapport cyclique[20].

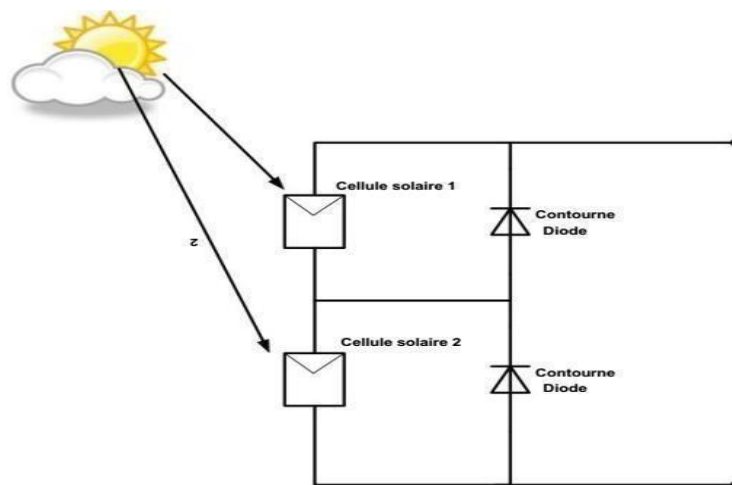


Figure I-19: Fonctionnement du solaire PV dans des conditions d'ombrage partiel[20].

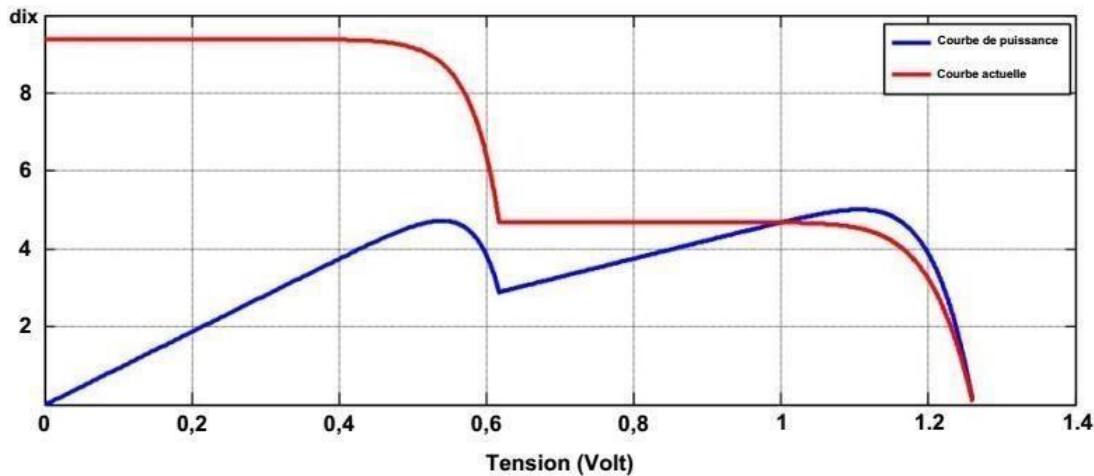


Figure I-20: Courbe I–V et P–V dans des conditions d'ombrage partiel[20].

I-11-4 Approche MPPT

Nous allons à présent passer en revue les solutions MPPT actuellement disponibles sur le marché. [7]

I-11-4-1 Approche Perturbe and Observe

Le principe des commandes MPPT de type **P&O** consiste à perturber la tension VPV d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance PPV qui en résulte. Ainsi, comme l'illustre la Figure I.21, on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension VPV engendre un accroissement de la puissance PPV, cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM.

Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique PPV(VPV), il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié.

En résumé, si suite à une perturbation de tension, la puissance PV augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour reprendre la convergence vers le nouveau PPM [21].

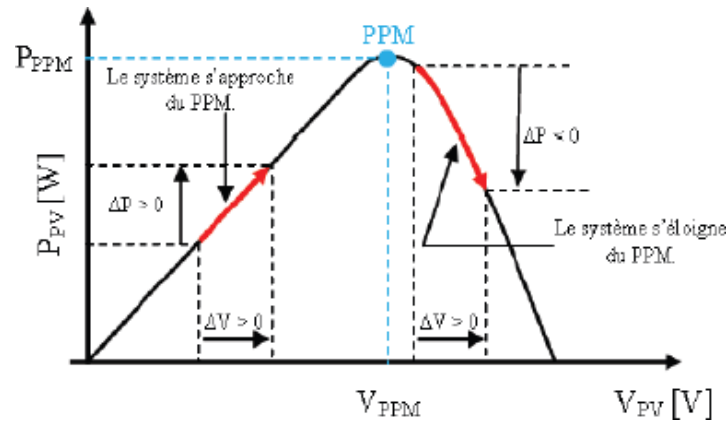


Figure I-21: Caractéristique P_{pv} (V_{pv}) et fonctionnement de la méthode Perturbation et Observation

La Figure I.22 représente l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du PV à chaque instant.

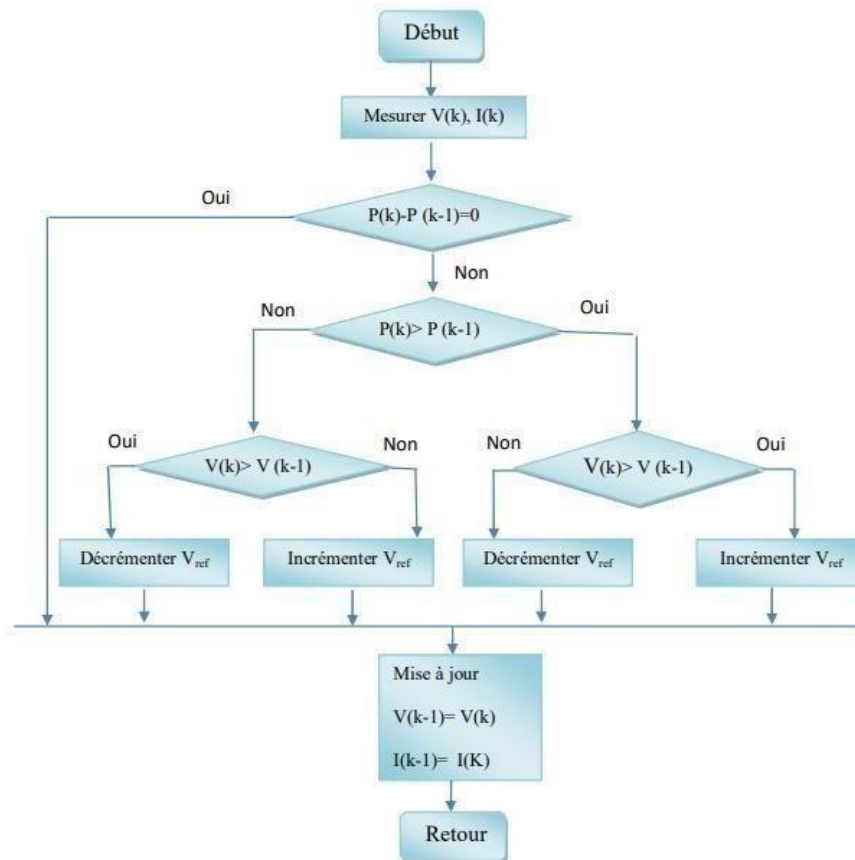


Figure I-22: Organigramme de la méthode Perturbation et Observation[22]

I-11-5 .simulation de la commande MPPT numérique « P&O »:

- Les conditions idéales conventionnelles sont très rarement remplies dans la pratique, et la variation de ces conditions est aléatoire et imprévisible. Le changement de l'ensoleillement et de la température influe directement sur les caractéristiques courant-tension et puissance-tension. C'est pour cela l'intégration d'une commande MPPT est obligatoire. [23]

- Simulation de la méthode MPPT:**

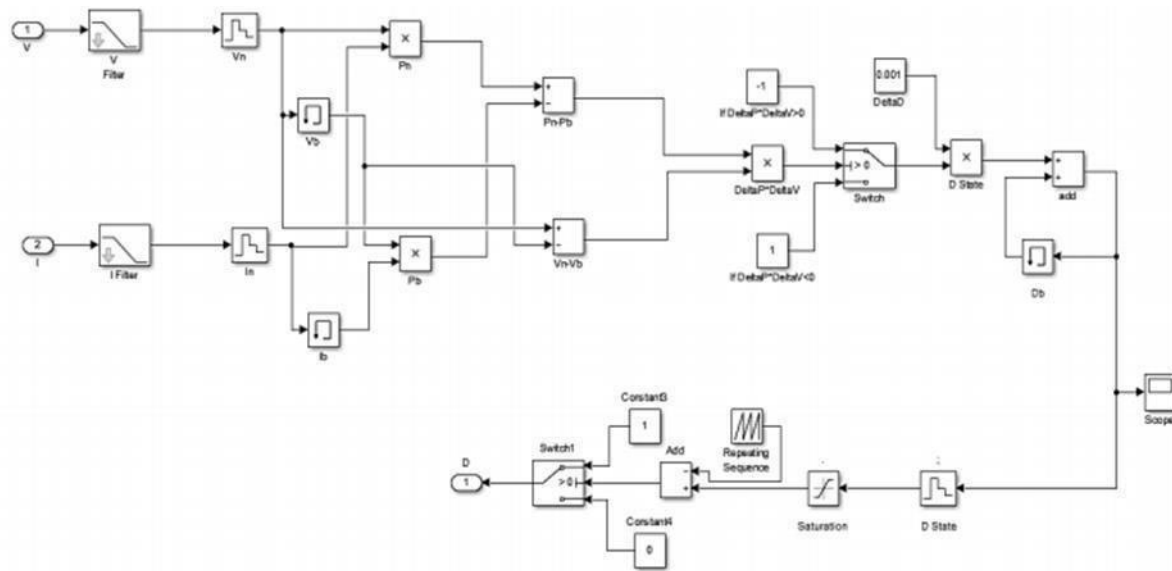


Figure I-23: Schéma block de la commande MPPT

I-11-5-1 Résultats de simulation avec de la commande MPPT :

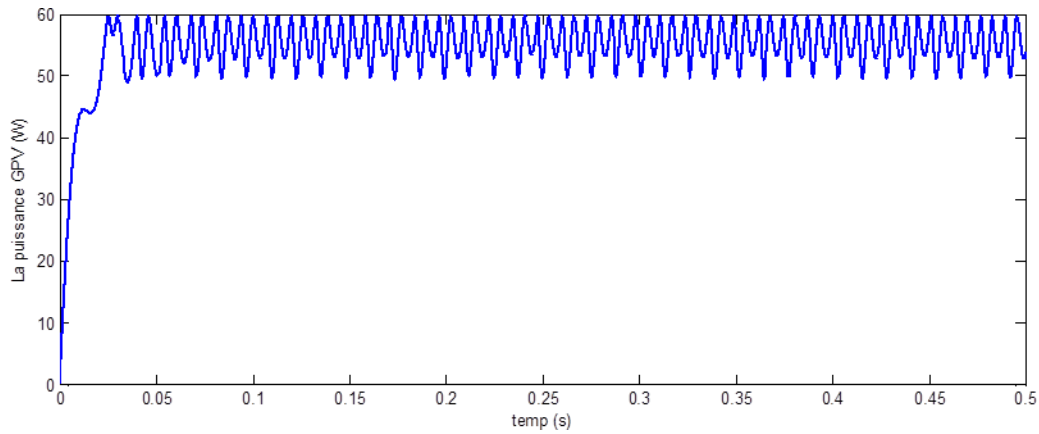


Figure I -25: La puissance aux bornes du GPV

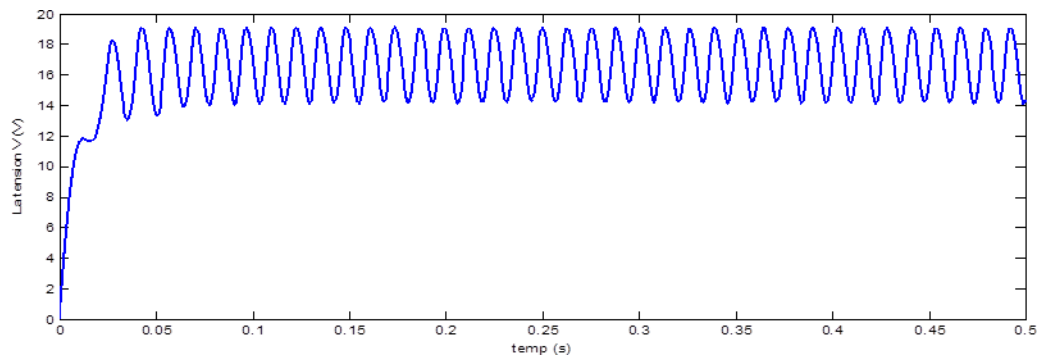


Figure I - 26 : La tension aux bornes du GPV

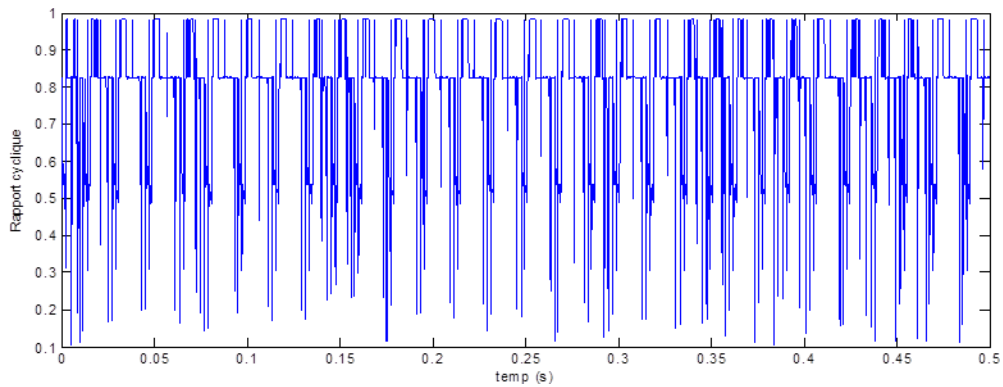


Figure I-27: Rapport cyclique correspondant au contrôleur MPPT P&O

I-12- Indice de performance (Facteur de qualité pour l'installation photovoltaïque)

L'indice de performance est l'une des valeurs les plus importantes pour l'évaluation de l'efficacité d'une installation photovoltaïque.

Concrètement, l'indice de performance désigne le rapport entre le rendement énergétique réel et le rendement énergétique théoriquement possible. Il est en grande partie indépendant de l'orientation de l'installation photovoltaïque et du rayonnement sur l'installation photovoltaïque. Ceci étant, l'indice de performance permet de comparer des installations photovoltaïques reliées au réseau sur différents emplacements, à travers le monde entier.

Plus la valeur d'une installation photovoltaïque se rapproche des 100 %, plus cette installation photovoltaïque présente un fonctionnement efficace. Cependant, il n'est pas possible d'atteindre la valeur de 100 % en pratique, car le fonctionnement de l'installation photovoltaïque engendre toujours des pertes, qui sont inévitables (par exemple pertes thermiques suite au réchauffement des panneaux photovoltaïques). Les installations photovoltaïques performantes atteignent toutefois un indice de performance pouvant aller jusqu'à 80 %.[7]

I-12-1- Facteurs environnementaux

- Température des panneaux photovoltaïques
- Rayonnement solaire et dissipation d'énergie
- Ombrage ou encrassement des panneaux photovoltaïques
- Ombrage ou encrassement de l'appareil de mesure (par exemple Sunny SensorBox). [7]

I-12-2- Autres facteurs

- Période d'enregistrement – Pertes dans les lignes
- Différentes technologies solaires de l'appareil de mesure (par exemple Sunny SensorBox) et des panneaux photovoltaïques
- Orientation de l'appareil de mesure (par exemple Sunny SensorBox)
- Coefficient de rendement des panneaux photovoltaïques
- Coefficient de rendement de l'onduleur[7]

I-13- La caractéristique I-V de la cellule PV

La puissance électrique délivrée par une cellule photovoltaïque est le produit de la tension par le courant qu'elle génère. Ces deux grandeurs, courant et tension, dépendent à la fois des propriétés électriques de la cellule mais aussi de la charge électrique à ses bornes.

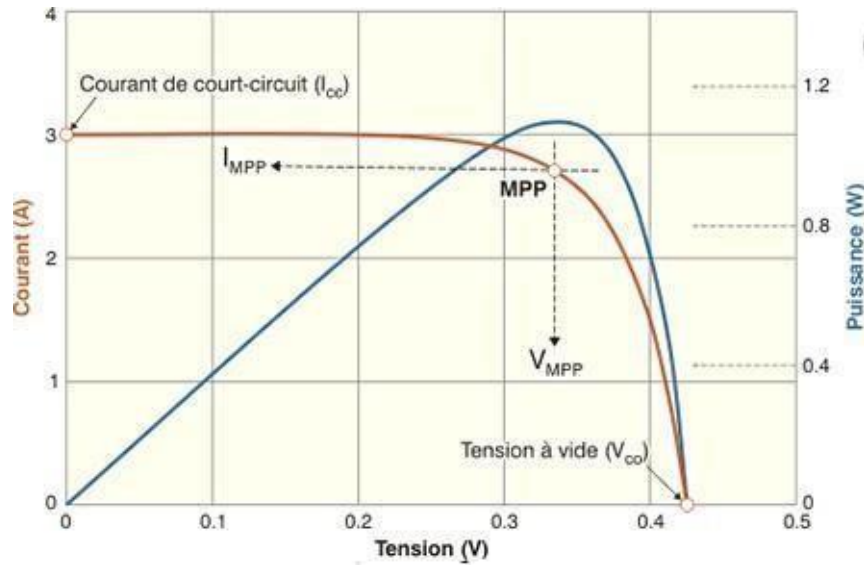


Figure I-28: Représentation conventionnelle de la courbe I(V) et P(V)

Les propriétés électriques de la cellule sont synthétisées dans un graphe qu'on appelle caractéristique courant-tension. Tout dipôle électrique est entièrement défini par sa caractéristique courant-tension, qui lui est propre. Une cellule photovoltaïque, en tant que dipôle électrique, dispose de sa propre caractéristique courant-tension. [25]

I-13-1- Le courant de court-circuit I_{cc} : Il définit la quantité des paires électron-trou créé G et qui traverse la jonction sans recombinaison entre les longueurs de diffusion des électrons et trous (L_n et L_p) respectivement [24].

$$I_{ph} = q G (L_n + L_p)$$

I-13-2- La tension en circuit ouvert V_{co} : C'est la tension pour laquelle la diode à l'obscurité

($I = 0$) fournit un courant égal au courant de court-circuit I_{cc} . Elle est obtenue à partir de l'équation: [23].

$$V_{cc} = \frac{KT}{q} \ln \left(\frac{I_{cc}}{I_0} + 1 \right)$$

I_0 : courant de saturation de la diode.

I-13-3 puissance débitée:

Elle est obtenue à partir de l'expression suivante :

$$P = I.V \left[(I_{ph} - I_0) \exp \left\{ \frac{V+IR_s}{V_t} \right\} - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} - \frac{V_{cel}+R_s I}{R_p}$$

I-13- 4 -Le facteur de forme FF : Il définit l'efficacité de la cellule solaire, il est obtenu comme suit: [24].

$$FF = \frac{V_M \cdot I_M}{V_{co} \cdot I_{cc}}$$

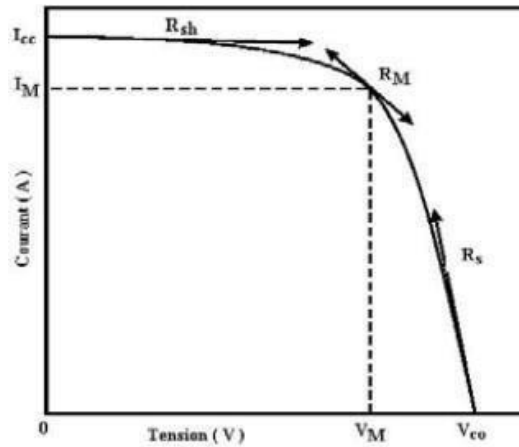


Fig. I -29 Points et valeurs remarquables de la caractéristique courant – tension[24].

V_M : Tension correspondante à la puissance maximale fournie.

I_M : courant correspondant à la puissance maximale fournie.

Chacune de ces grandeurs (V_M , I_M , V_{co} , I_{cc}) est représentée sur la figure 18 [24].

I-14-5 Le rendement de conversion d'énergie η C'est le rapport de la puissance maximale générée et de la puissance du rayonnement solaire incident.

$$[24]. \eta = \frac{P_{max}}{P_o} = FF \cdot \frac{V_M \cdot I_M}{V_{co} \cdot I_{cc}}$$

I-13-6 Influence des paramètres sur la caractéristique I-V

En général, la modélisation analytique basée sur l'utilisation d'équations pour estimer le comportement réel des cellules solaires, nécessite une description détaillée du dispositif à simuler et des matériaux qui sont utilisés dans sa construction. La sélection du type de matériau approprié et de sa composition ainsi que ses propriétés électriques et physiques sont très importants et influent directement sur le rendement des cellules.

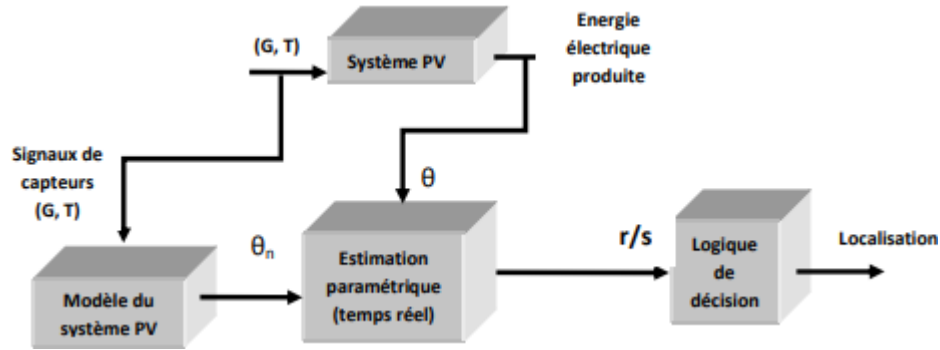


Figure I-30 : La génération de résidus / symptômes par estimation des paramètres [7]

L'apparition d'un défaut au sein du système entraîne une modification de ses caractéristiques physiques d'où résulte une évolution significative des paramètres par rapport à leurs valeurs nominales. Autrement dit, tout écart notable des paramètres par rapport aux valeurs nominales est révélateur d'un défaut.

La modélisation de la cellule PV conduit à une équation courant-tension non linéaire, obtenue par application des lois et principes de la physique (modèle de connaissance). Cette équation fait intervenir un certain nombre de variables ainsi que des paramètres ayant une signification physique. [7]

I-13-7 Influence du type de connexion sur la caractéristique I-V

Il existe trois types de connexion de cellules PV et qui sont une rangée série simple, un block séries-parallèle, et une connexion série des blocks séries-parallèle.

L'effet de ces types de connexion sur la production de l'énergie électrique fut révélateur de distinction est étudié et a été mis en relief en référence. La configuration souhaitée du circuit d'interconnexion des cellules pour produire l'énergie nécessaire à une application donnée est obtenu par le calcul du nombre de cellules en série pour générer la tension demandée, et le nombre de rangées en parallèle pour produire le courant demandé. [7]

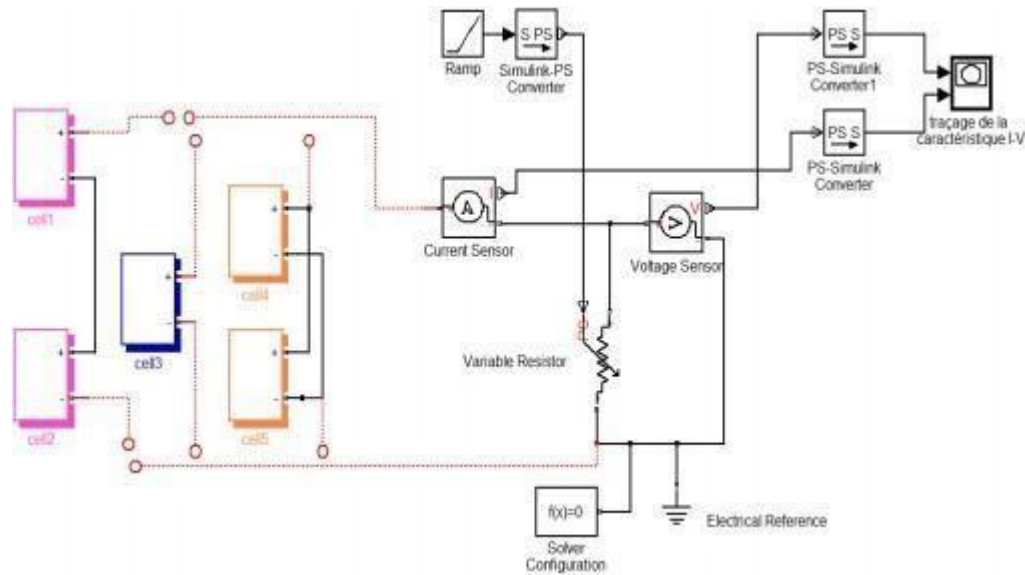


Figure I-31: Schéma de connexion de cellule en série et en parallèle[7]

I- 14- Avantages et inconvénients d'une installation PV

I-14-1- Avantage :

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions [26].

I-14-2- Inconvénient :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.

- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % (soit entre 10 et 15 MW/km^2 par an pour le BENELUX) avec une limite théorique pour une cellule de 28%.
- Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Tributaire des conditions météorologiques.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.
- Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV . Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur [26].

I-15 conclusion:

Dans ce premier chapitre, nous avons traité des informations générales sur les systèmes d'énergie photovoltaïque, notamment:

- La génération d'énergie électrique à partir de l'énergie solaire se fait par des panneaux solaires qui font eux-mêmes partie du système photovoltaïque, et en fonction du rayon de la lumière incandescente;
- Il existe plusieurs types de cellules solaires utilisées;
- Comment convertir le rayonnement solaire sur une cellule solaire en énergie électrique qui est stockée ou consommée;
- Comment protéger le générateur photovoltaïque;
- Passage aux caractéristiques et paramètres I-V des cellules photovoltaïques et leur mise en œuvre;
- Il est également nécessaire de comprendre le principe de fonctionnement du système photovoltaïque, ainsi que les différentes technologies utilisées afin de mieux contrôler l'ensemble du mécanisme de l'interrupteur. Ainsi que les diverses applications de ce système;

CHAPITRE I

- La modélisation des systèmes photovoltaïques en fonctionnement normal est utile pour obtenir la caractéristique I-V du système photovoltaïque et le comportement électrique du générateur photovoltaïque.



CHAPITRE II

Modélisation du défaut en générateur PV et méthodes de diagnostic

Modélisation du défaut en générateur PV et methodes de diagnostique

II-1 introduction:

Nous décrivons dans cette partie les différents défauts et anomalies associés à une installation photovoltaïque.

Au cours de son fonctionnement, une installation PV peut être éventuellement soumise à différents défauts et conditions de fonctionnement anormales. Les défauts et les anomalies apparus varient d'une installation à une autre en fonction de sa conception, installation, opération et maintenance.

II-2 Modélisation du générateur PV en défaut:

II-2-1 Classification des défauts pour la modélisation:

Les défauts les plus rencontrés dans une installation photovoltaïque ont été collectés grâce au retour d'expérience des partenaires du projet . Les défauts collectés ont été classifiés selon la fonction des différents composants constituant l'installation PV. Six groupes de défauts ont été formés :

- Défauts dans le générateur photovoltaïque
- Défauts dans la boîte de jonction
- Défauts dans le système de câblage
- Défauts dans le système de protection
- Défauts de l'onduleur
- Défauts dans le système d'acquisition des données

Dans chaque groupe de défauts, un tableau a été établi reprenant le type du défaut, sa conséquence principale, puis son degré d'impact sur la production du système ou criticité (1 : faible, 2 : moyen, 3 : fort), son occurrence (1 : faible, 2 : moyenne, 3 : forte). Ainsi que sa phase d'origine (C : Conception ; I : Installation ; E : Exploitation).

Dans cette partie, quelques exemples de défauts sont également illustrés sous forme d'images.

CHAPITRE II

II -2-1-1 Défauts dans le générateur photovoltaïque :

Dans un générateur photovoltaïque on trouve différents défauts et ils sont représentés dans le tableau suivant :

Défauts	Conséquences	Cri.	Occ.	Ori.
Dégradation des modules par vandalisme	Diminution des performances, non fonctionnement de l'installation	3	2	E
Mauvaise orientation et/ou inclinaison des modules	Ombrage, diminution des performances	2	3	C,I
Module mal ou pas ventilé	Echauffement	2	2	I,C
Module mal fixé	Déplacement du module, diminution des performances	2	2	I,C
Modules non câblée	Perte d'étanchéité, détérioration des cellules, diminution du shunt, diminution des performances	2	2	I,C
Corrosion du cadre des modules	Perte d'étanchéité, détérioration des cellules	3	1	E
Foudre	Détérioration des modules	3	1	E
Tempête	Module arraché, cassé	3	1	E
Pénétration de l'humidité	Hot spot, augmentation du courant de fuite, corrosion, perte d'adhérence et d'isolation, diminution de la résistance de CC à la terre	3	1	E
Foudre sur l'installation	Destruction des modules	3	1	E
Modules de performances différentes	Diminution des performances du champ	1	3	I,C
Ombrage partiel (feuilles d'arbre, déjections)	Hot spot, détérioration de cellules	2	1	E
Inclinaison des modules trop faible	Stagnation d'eau, dépôt de terre, prolifération de champignons, problème d'étanchéité	2	1	C,I

CHAPITRE II

Important courant de fuite	Echauffement	2	1	E
Echauffement des modules par la boîte de connexion	Décollement du Tedlar, diminution des performances	2	1	C,I
Nid d'insectes sur les modules	Diminution des performances	2	1	E
Panneaux inaccessibles	Nettoyage impossible	1	2	C,I
Module produisant moins que prévu	Diminution des performances	1	1	E
Apparition de bulles à la surface des modules	Diminution des performances	1	1	E

Tab.II .1 : Défauts et leurs conséquences dans un générateur



Fig. II .1 : Exemples de défauts rencontrés dans les générateurs photovoltaïque PV

CHAPITRE II

II -2-1-2 Défauts dans la boîte de jonction

Le tableau suivant présente les défaut rencontrés dans la boîte de jonction

Défauts	Conséquences	Cri.	Occ.	Ori.
Absence de parafoudre ou protection foudre inadaptée	Destruction en cas de foudre	3	2	C,I
Presse-étoupe mal serré	Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique	2	3	I
Liaison de mise à la terre non fixée ou sectionnée	Pas de mise à la terre	2	2	I
Boîte de jonction sans presse-étoupe	Pas d'étanchéité, corrosion des contacts, rupture du circuit électrique	2	2	I
Presse-étoupe en caoutchouc	Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique	2	2	C,I
Infiltration d'eau par les vis de fixation	Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique	2	2	I
Boîte de jonction non repérée	Problème pour contrôle et maintenance	1	3	I
Déconnexion des soudures	Arc électrique, incendie, diminution des performances	2	1	E,I
Liaison sans protection	Destruction de la liaison	2	1	C,I
Pénétration de l'eau ou de l'humidité	Corrosion des connexions, des diodes, des bornes, incendie	2	1	I

Tab.II .2: Les défauts dans la boîte de jonction.

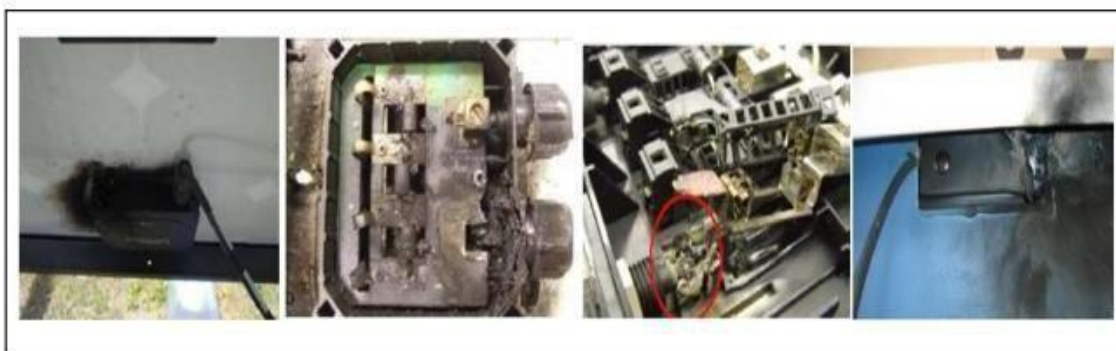


Fig.II .2 : Exemple s de défauts rencontrés dans les boites de jonction

II-2-1-3 Défauts dans le système de câblage

Un récapitulatif de défauts rencontré dans le système de câblage est donner dans le tableau suivant :

Défauts	Conséquences	Cri.	Occ.	Ori.
Mauvais dimensionnement des Câbles	Chute de tension > 3%, échauffement	2	3	C
Connexion desserrée ou cassée	Arc électrique, incendie, destruction de la boîte de jonction, destruction de diodes	2	3	I,E
Principe de câblage en goutte d'eau non respecté	Mauvais câblage	2	3	I
Câbles non fixes	Boucle de câblage, circuit ouvert	2	2	I
Mauvais câblage	Court-circuit, claquage des diodes anti-retour, destruction des connecteurs (circuit ouvert), aléas de fonctionnement sur disjoncteur	2	2	I
Toron	Boucle électromagnétique	2	2	I
Câbles d'arrivée des sous champs entamés lors du dénudage	Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	I
Câble mal denude	Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	I

CHAPITRE II

Absence de graisse de silicone	Humidité	2	2	I
Bornes rouillées	Faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	E
Câbles non fixes	Boucle de câblage, circuit ouvert	2	1	I
Boîte de connexion décollée	Connexion des cellules en série endommagée	2	1	I

Tab.II .3: Les défauts dans le système de câblage.



Fig.II .3 : Exemples de défauts rencontrés dans le câblage

II-2-1-4 Défauts dans le système de protection

Les différents défauts qu'on trouve dans le système de protection est donné dans le tableau suivant :

Défauts	Conséquences	Cri.	Occ.	Ori.
Protections inappropriées ou mal dimensionnées	Court-circuit, hot spot, incendie, arrêt de l'installation	2	2	C
Interrupteur, disjoncteur inapproprié	Arc électrique, incendie, destruction à l'ouverture	3	1	C
Disjoncteur différentiel non conforme à la norme	Non déclenchement, tension entre neutre et terre	3	1	C
Armoire électrique posée à même le sol à l'extérieur	Dysfonctionnement en cas de pluie	3	1	C,I

CHAPITRE II

Pas de possibilités de sectionnement extérieur au coffret	Problème de sécurité	1	3	C
Mauvaise dissipation de la chaleur des diodes	Echauffement	2	1	C,I
Sous dimensionnement des diodes de by-pass	Hot spot, destruction des diodes, échauffement de la boîte de jonction	2	1	C
Diode mal connectée	Non fonctionnement des diodes, absence de protection contre les courants inverses	2	1	I,E
Inversion de la polarité des diodes au montage	Non fonctionnement des diodes, court circuit, hot spot	2	1	I,E
Phénomènes de résonance	Non fonctionnement des fusibles et des protections de surtension	2	1	C
Vieillessement des disjoncteurs	Non fonctionnement des disjoncteurs	1	1	E

Tab.II .4: Les défauts dans le système de protection.

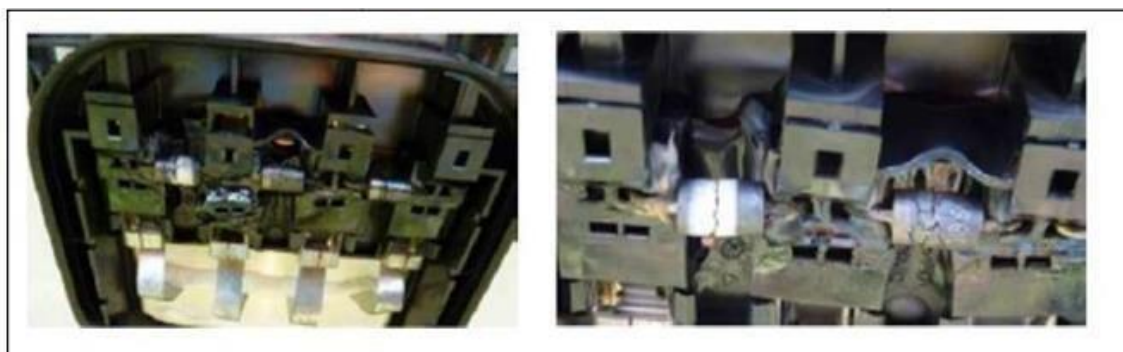


Fig.II .3: Exemples de défauts de diodes by-pass

CHAPITRE II

II-2-1-5 Défauts dans l'onduleur :

Le tableau ci-dessous montre les défauts rencontrés dans l'onduleur :

Défauts	Conséquences	Cri.	Occ.	Or i.
Dégradation à cause la chaleur	Détérioration de l'onduleur, des connexions	3	2	E, C, I
Faux contact	Arrêt de l'onduleur	3	2	I
Surtension	Déconnexion de l'onduleur	3	2	C
Fusible fondu	Arrêt de l'onduleur	3	2	E, I
Onduleur sous dimensionné	Destruction de l'onduleur	2	3	C
Défaut d'isolement	Détérioration de l'onduleur	3	1	C, I
Onduleur installé dans un lieu non étanche	Panne de l'onduleur	3	1	I, C
Onduleur mal fixé	Chute de l'onduleur	3	1	I
Onduleur surdimensionné	Perte de puissance, diminution des performances	3	1	C
Mauvais choix de la tension nominale d'entrée	Diminution des performances	2	1	C
Onduleur non mis à la terre	Disjoncteur différentiel non actif	1	2	I
Perte de la mémoire (mauvaise manipulation du technicien)	Perte des données	1	1	E
Afficheur de cristaux liquide endommagé ou illisible	Pas d'information sur le fonctionnement	1	1	E

Tab.II .5 : Les défauts dans l'onduleur.

II-2-1-6 Défauts dans le système d'acquisition :

Le tableau suivant donne les défauts rencontrés dans le système d'acquisition :

Défauts	Conséquences	Cri.	Occ.	Or i.
Coupure de courant	Perte de données	1	3	E

CHAPITRE II

Sonde d'ensoleillement non cable	Mesure impossible	1	3	I
Défaut de paramétrage	Enregistrement de fausses données	1	3	I
Mauvais câblage des shunts de mesure	Mesure impossible ou erronée	1	3	I
Carte électronique mal positionnée	Touches inactives, défaut de commande	1	2	I
Non configuré pour l'acquisition des données	Pas de donnée enregistrée	1	2	I
Armoire fermée par le service de maintenance ou présence d'un code	Lecture des données par l'exploitant impossible	1	2	E,I
Bornier de mesures et de sonde de température trop proches	Câblage difficile, risque de court circuit	1	1	C,I
Acquisition de données vierge	Aucune information enregistrée	1	1	E
Mesure de données non nulles alors que système PV à l'arrêt	Fiabilité des données	1	1	E

Tab.II .6 : Les défauts dans le système d'acquisition. [27].

II-3 Méthodes de détection et de diagnostic des défauts d'un système PV

Les condition climatiques (les effets d'ombrage, l'encrassement des modules), conditions d'exploitation (vieillesse des modules PV) et des défauts de fabrication sont la cause principale au anomalies apparue dans les différents étages du système photovoltaïque, du module puis le câblage et la protection et enfin les convertisseurs de puissance [28].

Semblable à tous les systèmes industriel, les systèmes de surveillance jouent un rôle essentiel dans les installations photovoltaïques, car ils remplissent la tâche de contrôle et la détection des défauts[28].

Dans ce contexte, les chercheurs ont proposé plusieurs méthodes de diagnostic dédié au centrales

photovoltaïque. Trois fonctionnalités de base qui distinguent une méthode à l'autre, à savoir la rapidité de détection de l'anomalie, l'optimisation des données d'entrée et la sélectivité (c'est-à-dire la capacité à distinguer les différents défauts).

Ils peuvent être classés globalement en deux catégories principales [29] :

- Méthodes visuelles et thermiques [30,31] (non électriques), qui peuvent être utilisées pour détecter la décoloration, le brunissement, les salissures de surface, les points chauds, la rupture et la délamination.

- Méthodes électriques pouvant être utilisées pour détecter et diagnostiquer les modules PV, les chaînes et les réseaux défectueux, y compris les défauts d'arc, les défauts de mise à la terre, les diodes, etc. Le graphe suivant présente les différentes méthodes de diagnostic.

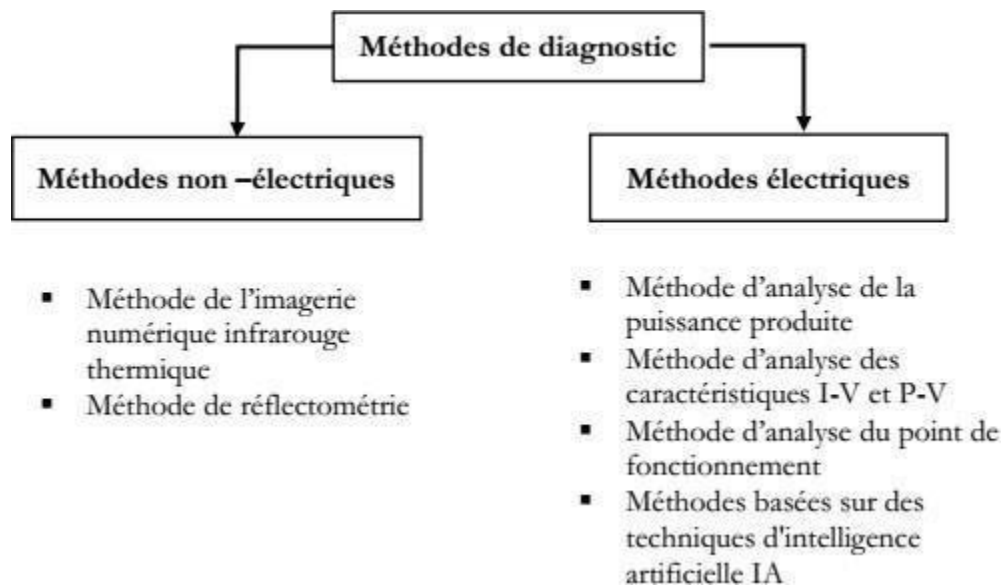


Figure III.3 : Méthodes de diagnostic de défauts d'un générateur PV.

II-3-1 Méthodes non-électriques

Cette catégorie de méthodes est principalement destinée à la détection de la fissure. On peut citer comme méthodes : les essais mécaniques de flexion, l'imagerie par photoluminescence et électroluminescence. Dans notre cas (diagnostic des modules PV) l'imagerie infra rouge et réflectométrie sont les plus répandues [32].

II-3-1-1 Méthode de l'imagerie numérique infrarouge thermique

Les inspections visuelles et l'analyse de l'imagerie infrarouge et thermique pour la détection

et la localisation des défauts sont classées comme des méthodes non électriques. Ces méthodes n'exigent pas de données électriques mesurées du système PV. Les méthodes visuelles et thermiques sont utilisées spécifiquement pour détecter la décoloration, le brunissement, les salissures, points chauds, rupture et délaminage des modules PV [28]. L'inspection visuelle des modules est longue et ne convient pas aux systèmes PV à grande échelle. Les méthodes de détection des défauts thermiques et infrarouges dépendent généralement aux équipements (caméras thermiques ou infrarouges, drones, etc.) et Les vitesses de détection sont basées sur la fréquence de la surveillance des plantes. Ces méthodes sont révélées efficaces [30-31], mais elles ne sont pas adaptées aux installations photovoltaïques de petite échelle.

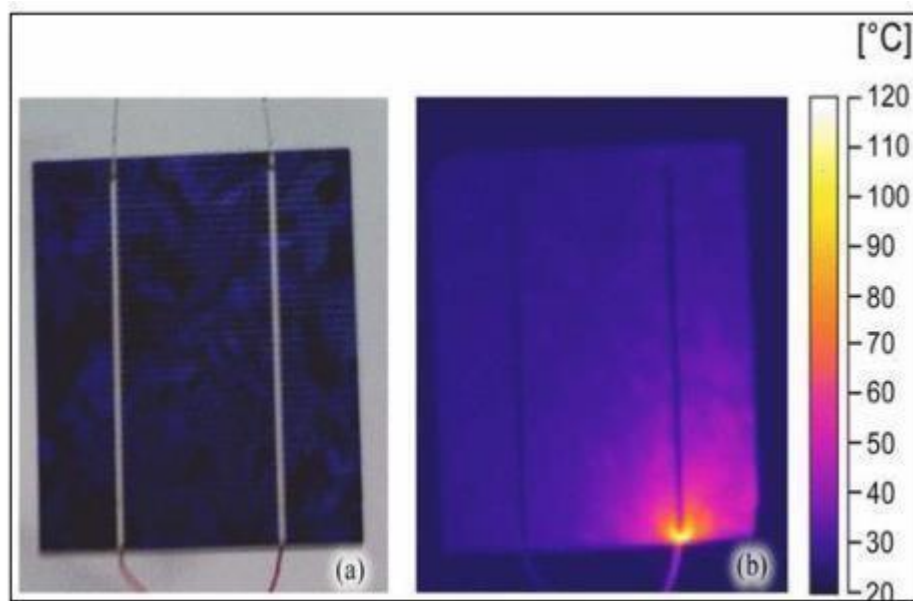


Figure III.4 : Exemple de la localisation de défauts par la caméra thermique.

II-3-1-2 Méthode de réflectométrie

La réflectométrie fonctionne sur le même principe que celui d'un radar : une impulsion ou un signal est transmis dans le champ PV à diagnostiquer. N'importe quelle discontinuité (fissure, défaut, court-circuit, circuit ouvert) se comporte comme un obstacle à cette impulsion incidente et provoque une réflexion. Puis de mesurer les échos retournés. Le retard et l'amplitude des échos sont utilisés pour obtenir des informations sur la localisation, la caractérisation et éventuellement la prédiction du défaut. Elle a seulement besoin d'un point d'accès, qu'il demande une précision dans leur détermination. Néanmoins, elle est adaptée pour les réseaux de

topologie complexes. Aussi, elle peut être intégrée dans les systèmes de contrôle. Cependant, la détection précoce de défauts d'un champ PV nécessite un traitement de données puissant avec un échantillonnage très rapide, ce qui augmente la complexité et le coût du système de diagnostic. Cette méthode a été utilisée par [33-34], et par "T. Takashima et al" [35]. Dans le but de détecter le défaut de type "circuit ouvert", "court-circuit" et "augmentation de l'impédance de la connectique", dans un string photovoltaïque.

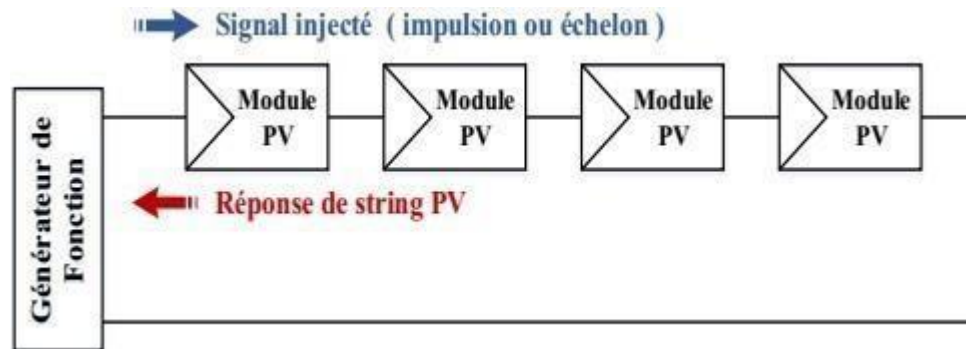


Figure III.5 : Principe de la réflectométrie pour localiser le défaut dans un string PV.

II-3-2 Méthodes électriques

Les données d'entrée pour ces méthodes sont les paramètres électriques (courant, tension et puissance). Quatre principaux types de méthodes sont proposés dans la littérature sur laquelle nous nous concentrons dans ce paragraphe.

II-3-2-1 Méthode d'analyse de la puissance produite

Elle est appliquée par [36-37]. Elle est efficace pour déterminer si un champ PV fonctionne normal ou non. Cette méthode utilise l'irradiation solaire et les données de température des modules pour prédire la sortie du panneau photovoltaïque avec un modèle de circuit équivalent. Deux indicateurs correspondant aux pertes thermiques et aux pertes de puissance sont définis. L'algorithme de détection reconnaît un fonctionnement défectueux du système lorsque les pertes mesurées sont beaucoup plus élevées que les pertes simulées. Des indicateurs basés sur les rapports des valeurs de courant et de tension simulées et mesurées sont alors utilisés pour identifier les défauts de chaîne ou les défauts d'ombrage [38].

II-3-2-2 Méthode d'analyse des caractéristiques I-V et P-V

Le recueil de grandeurs mesurées (courant et tension) à différents points du champ photovoltaïque permet de détecter et de localiser précisément l'emplacement du défaut à l'aide

des capteurs placés dans le champ PV. Plusieurs études sont menées dans ce cadre par différents auteurs [39,40,41].

II-3-2-3 Méthode d'analyse du point de fonctionnement

Cette méthode repose sur l'analyse et la comparaison du point de puissance maximale actuel de l'installation PV et celui attendu [42-43]. Cette méthode offre la possibilité de détecter automatiquement la présence d'un défaut sans interrompre le système.

II-4 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous démontrons une approche pour modéliser les systèmes PV défectueux pour divers défauts et distorsions associés à l'installation PV. Nous avons également décrit les différentes méthodes de diagnostic des systèmes photovoltaïques où leur rôle est de surveiller le fonctionnement des cellules photovoltaïques afin de détecter, identifier et diagnostiquer les dysfonctionnements affectant ces performances et leur sécurité. .



Chapitre III

Réseaux de neurones

Réseaux de neurones

III-1 Introduction

L'évolution technologique durant les dernières années a permis aux scientifiques d'élaborer et de perfectionner des méthodes pour différents domaines. L'évolution des ordinateurs en particulier et la formidable capacité d'intégration de composants atteinte à nos jours, ont permis une grande vitesse de calcul et une grande capacité mémoire. Parmi ces méthodes, il existe une méthode qui est utilisée dans plusieurs domaines de recherches et de différentes manières, d'une manière complètement soft en s'aidant d'un ordinateur ou d'une manière hard en utilisant les circuits intégrés [44]. Cette méthode est celle des réseaux de neurones artificiels (RNA).

III-2 Réseaux de neurones artificiels :

Un réseau de neurones artificiel est un assemblage de cellules interconnectées chacune d'elles appelée neurone. Chaque neurone fonctionne indépendamment par rapport aux autres d'une manière parallèle ; de telle sorte que l'ensemble forme un système qui permet de réaliser des fonctions bien déterminer où des tâches complexes dans des différents types d'applications. On traite les informations qu'il reçoit par l'entraînement du réseau grâce à des méthodes d'apprentissages et non par sa programmation

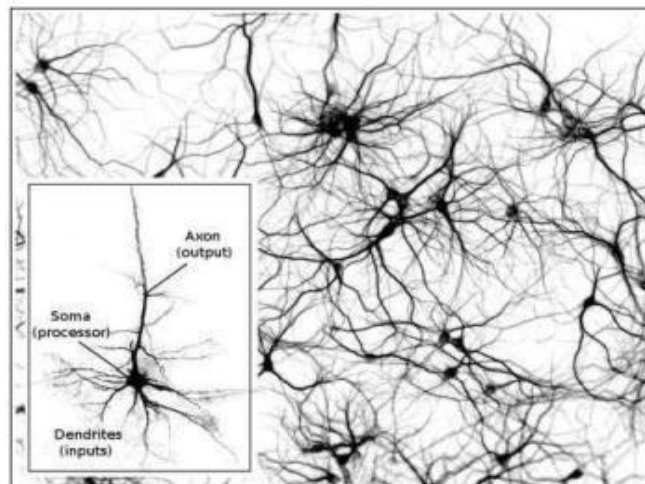


Figure III.1: Un réseau de neurones biologiques composé de plusieurs neurones interconnectés. Cette image est une représentation théorique à quoi pourrait ressembler un réseau de neurones biologiques[51].

III-2 Historique des RNA

- **1890** : Le concept de mémoire associative a été introduit par W. James, ce dernier proposa une loi connue sous le nom de loi de Hebb ;
- **1943** : J. Mc Culloch et W. Pitts laissent leurs noms à une modélisation du neurone biologique (un neurone au comportement binaire). Ce sont les premiers à montrer que des réseaux de neurones formels simples peuvent réaliser des fonctions logiques, arithmétiques et symboliques complexes (tout au moins au niveau théorique) ;
- **1949** : D. Hebb, physiologiste américain démontre à partir d'une expérience le conditionnement chez l'animal par les propriétés des neurones eux-mêmes ;
- **1958** : Apparition du premier réseau de neurone artificiel (le perceptron), grâce aux travaux de Rosenblatt [45].
- **1969** : M. Minsky et S. Papert publient un ouvrage qui met en exergue les limitations théoriques du perceptron, ce qui entraîne alors un abandon financier des recherches dans le domaine.
- **Début des années 80** : l'intérêt de ce domaine raviva grâce aux travaux de Hopfield qui démontra l'intérêt d'utiliser les réseaux récurrents (feedback) pour la modélisation des processus, et la création en parallèle d'un algorithme de rétropropagation par Werbos qui ne sera popularisé qu'en 1986 par Rumelhart.

III-3 Modèle Biologique

Des neurones Un réseau de neurone artificiel est un modèle de calcul inspiré du modèle biologique, c'est-à-dire du cerveau humain. Ce dernier est composé d'un grand nombre de cellules nerveuses appelées neurones, et formées d'une partie cellulaire et d'une partie de noyau. La partie cellulaire, nommée Somme, se ramifie pour former les dendrites [46], par lesquelles l'information s'achemine vers le corps du neurone (le Somme). L'information traitée par le neurone chemine ensuite le long de l'axone (unique) pour être transmise aux autres neurones. Les neurones ne sont pas directement connectés entre eux. La jonction ou l'espace qui sépare l'axone d'un neurone et les dendrites du neurone voisin est appelé « Synapse ».

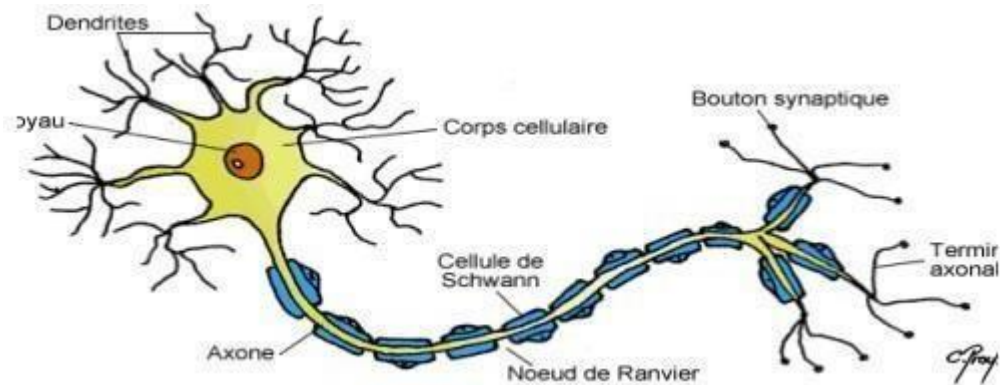


Figure III.2: Exemple de neurone biologique.

Les synapses possèdent une sorte de « *mémoire* » qui leur permet d'ajuster leur fonctionnement en fonction de leur historique d'activation entre deux neurones. Cette plasticité est à l'origine des mécanismes d'apprentissage.

III-4 Neurone formel :

Le neurone formel est une modélisation mathématique qui reprend les principes du fonctionnement du neurone biologique, en particulier la sommation des entrées.

Il possède des entrées qui peuvent être les sorties d'autres neurones, ou des entrées de signaux extérieurs ; la valeur de la sortie résulte du calcul de la somme des entrées pondérées par des coefficients dits poids de connexions et du calcul d'une fonction non linéaire dite fonction d'activation de cette somme pondérée (Voir la figure III.3).

Le choix d'une fonction d'activation se révèle être un élément constitutif important dans les réseaux de neurones. Il existe plusieurs types de fonctions d'activation, certaines sont linéaires, exponentielles, à seuil, gaussiennes mais les plus utilisées sont non linéaires, et en particulier la fonction sigmoïde et la tangente hyperbolique [47],

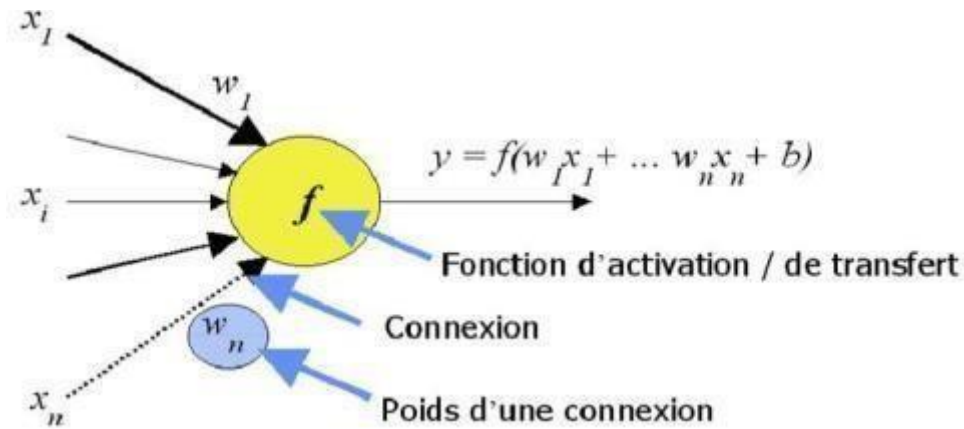


Figure III.3: Schématisation de la fonction d'activation de la somme pondérée

III-5 Fonctions d'activation

La fonction de transfert est en général, une fonction non linéaire monotone croissante ; Par ailleurs, les fonctions de transfert sont de qualités diverses : elles peuvent être déterministes, continues, discontinues ou aléatoires [49].

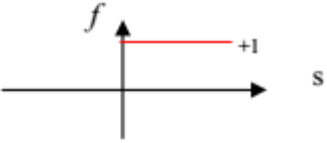
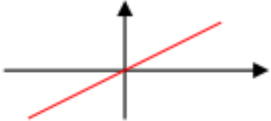
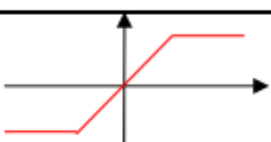
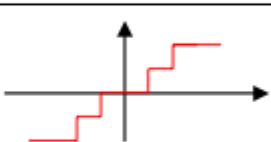
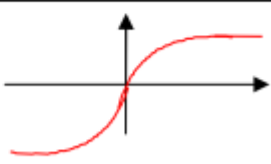
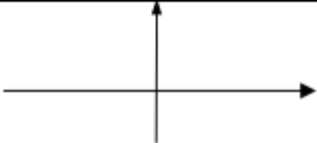
Fonction de Heaviside	
Fonction Linéaire sans saturation	
Fonction linéaire avec seuil	
Fonction a seuils multiples	
Fonction sigmoïde $\frac{1}{1 + e^{-s}} = F1(s)$	
Fonction sigmoïde $f2(s) = \frac{1 - e^{-s}}{1 + e^{-s}}$	
Fonction de stochastique	

Tableau III.1: Les modèles de fonctions d'activation [48].

III-6 Le principe de fonctionnement

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

déjà. On appelle aussi ceci l'apprentissage par expérience, le réseau de neurones intervenant comme une aide statistique à la décision[52].

Principe étape par étape

- données en entrées ,
- analyse des données avec des critères de pondération (cercles et liaisons sur le graphique),
- choix de classification en sortie avec une probabilité de certitude.

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

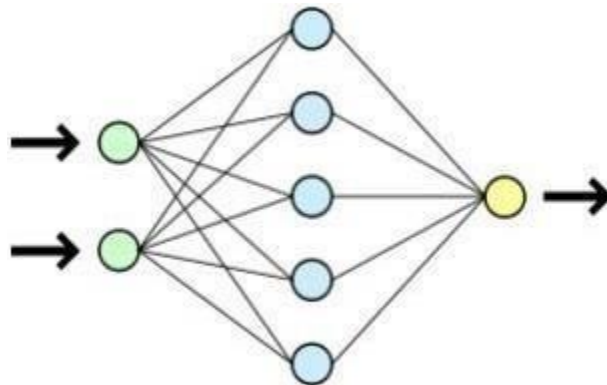


Figure III.4: Réseau de Neurones.

III-7 Architecture des réseaux de neurones artificiels

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

Les architectures ont leurs forces et faiblesses et peuvent être combinées pour optimiser les résultats. Le choix de l'architecture s'avère ainsi crucial et il est déterminé principalement par l'objectif[52].

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

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

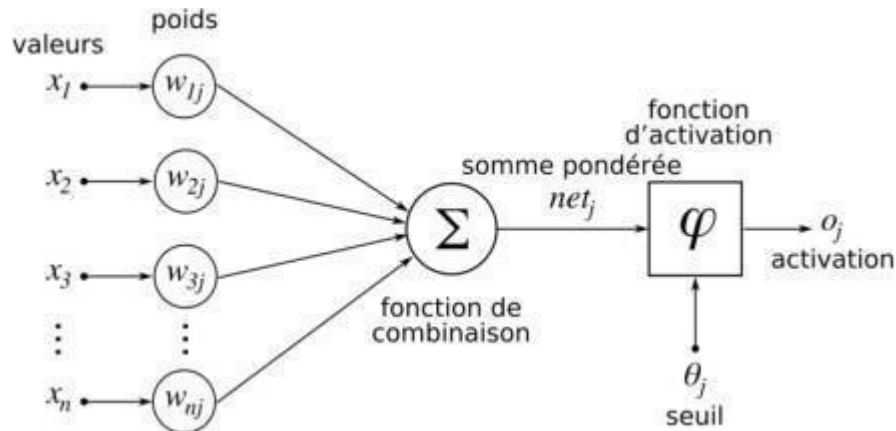


Figure III.5: Architecture reseau neuronal.

III-8 L'Apprentissage des Réseaux de Neurones

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

La phase d'apprentissage consiste à modifier les poids jusqu'à obtention d'une stabilisation du réseau. C'est-à-dire, jusqu'à ce que le poids ne se modifie plus que d'une façon minime. L'apprentissage mathématique, basé sur ce concept, sert à minimiser une fonction de coûts formulée autour de l'erreur de sortie. Alors l'adaptation commence, par les neurones de la couche de sortie, forcés de la bonne valeur, puis on fait varier légèrement les poids des neurones des couches précédentes : Il y a autant d'algorithmes d'apprentissage que de types de réseau. Mais la question qui se pose, est ce que on est

absolument sur de la stabilité du réseau ? Question classique qui revient à assurer la convergence des algorithmes d'apprentissage utilisés. Les procédures d'apprentissage peuvent se subdiviser, elles aussi, en deux grandes catégories[52].

III-8-1 Apprentissage supervisé

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

L'apprentissage supervisé détermine les poids synaptiques à partir d'exemples étiquetés de formes auquel un professeur a associé des réponses ou des cibles désirées également étiquetées et grâce à une stratégie spécifique. Après la phase d'apprentissage et la convergence des calculs, il n'est plus nécessaire, en général, de mémoriser le jeu d'apprentissage. Ces algorithmes sont particulièrement dédiés aux problèmes de classification des données bruitées ou incomplètes [48].

III-8-2 Apprentissage non supervisé

Ne nécessite pas « d'enseignant » externe et se base uniquement sur les valeurs d'entrée sans fournir de réponse désirée. Le réseau s'auto organise de façon à optimiser une fonction de coût [49].

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

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

III-9 Quelques Modèles des Réseaux de Neurones Artificiels

Il existe plusieurs modèles de réseaux de neurones artificiels dans ce paragraphe en va citer quelques uns à titre d'exemple[52].

III-9-1 Les perceptrons multicouches

✓ *Le perceptron monocouche*

Historiquement c'est le premier RNA (Réseaux de Neurones Artificiels), c'est le Perceptron de Rosenblatt. C'est un réseau simple, puisque il ne se compose que d'une couche d'entrée et d'une couche de sortie. Cependant, il peut aussi être utilisé pour faire de la classification et pour résoudre des opérations logiques simples (telle "ET" ou "OU"). Sa principale limite est qu'il ne peut résoudre que des problèmes linéairement séparables.

✓ *Les perceptrons multicouches*

Les perceptrons multicouches (Multi Layer Perceptron) appartient aux réseaux multicouches, donc ils ne possèdent pas de boucle de retour, ils sont « Freed- forward ». Ce sont une extension du perceptron monocouche, avec une ou plusieurs couches cachées entre l'entrée et la sortie. Chaque neurone dans une couche est connecté à tous les neurones de la couche précédente et de la couche suivante (sauf pour les couches d'entrée et de sortie) et il n'y a pas de connexions entre les cellules d'une même couche. Les fonctions d'activation utilisées dans ce type de réseaux sont principalement les fonctions à seuil ou sigmoïdes. Il peut résoudre des problèmes non linéairement séparables et des problèmes logiques plus compliqués, et notamment le fameux problème du XOR

III-10 Applications des ANN

Depuis leur apparition, les réseaux de neurones ont été largement utilisés dans plusieurs domaines dont le nombre ne cessent de croître avec le temps. On peut citer [50] :

- Les prévisions météorologiques ;
- Les applications de reconnaissance des formes, la reconnaissance de la parole ou reconnaissance automatique d'image ;
- Le traitement du signal ;
- La Robotique (pilotage automatique des véhicules autonomes) ;
- La fouille de données (extraction des connaissances et les problèmes d'optimisation et de classification).

Le tableau ci-dessous donne les types de réseaux utilisés pour divers domaines :

Domaine d'application	Type de RNA
Reconnaissance de formes	MLP, Hopefield, Kohonen
Mémoire Associatives	Hopefield, MLP recurents, Kohonen
Optimisation	Hopefield, ART, CNN
Approximation de fonction	MLP, RBF
Modélisation et control	MLP, MLP récurrent, FLN
Traitement d'images	CNN, Hopefield
Classification et Clustering	MLP, Kohonen, RBF, ART, PNN

Tableau III.2 : Type de réseau utilisé pour chaque domaine.

III-11 Production des résultats :

Pendant la formation d'un réseau, MATLAB génère automatiquement une courbe de performance, courbe de régression, courbe de gradient, et une erreur de validation croisée. Ceux-ci peuvent être utiles à examiner afin de déterminer si le réseau a été correctement formé.

Si ces parcelles sont acceptables, le réseau peut être exporté vers le répertoire de travail dans MATLAB pour simulation. Nouvellement le réseau formé sera exposé à de nouvelles données, et les extrants produits sont les données simulées. Ces données simulées ont alors été filtré du bruit blanc.

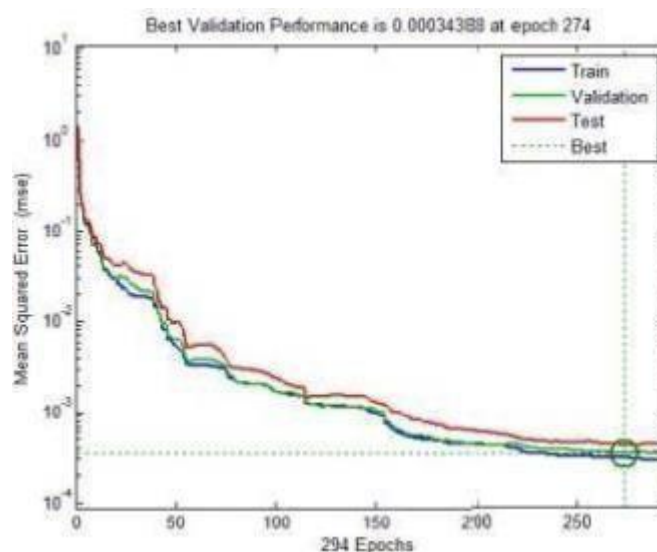


Figure III.6: Courbe de performance produite lors de l'entraînement du 2:5:10:1:10:5:2 réseau[51] .

Chapitre III

La courbe de performance semble bonne. Les ensembles de formation de validation croisée et de test ne s'écartent pas les uns des autres dans une mesure sérieuse. Bien que plus de formation puisse continuer probablement pour abaisser la MSE, formation ici arrêté après 294 itérations car il y avait 20 erreurs de validation croisée consécutives. Il pourrait être intéressant de fixer la limite d'erreur de validation croisée plus élevée et atteindre un MSE inférieur, mais cela pourrait aussi rendre le réseau plus sensible au sur apprentissage. En fin de compte c'est au concepteur de prendre une décision, mais pour ça la formation actuelle sera jugée suffisante.

Vient ensuite le graphique de régression de **la figure III.6**. Il semble également bien dans une certaine mesure. Les trois ensembles tombent presque complètement parallèle à la cible, mais la validation croisée et les ensembles de tests semblent avoir des données quelque peu groupées au lieu de l'étaler uniformément. Ce graphique pourrait être un peu déroutant, alors peut-être faudrait-il le préciser un peu. [51].

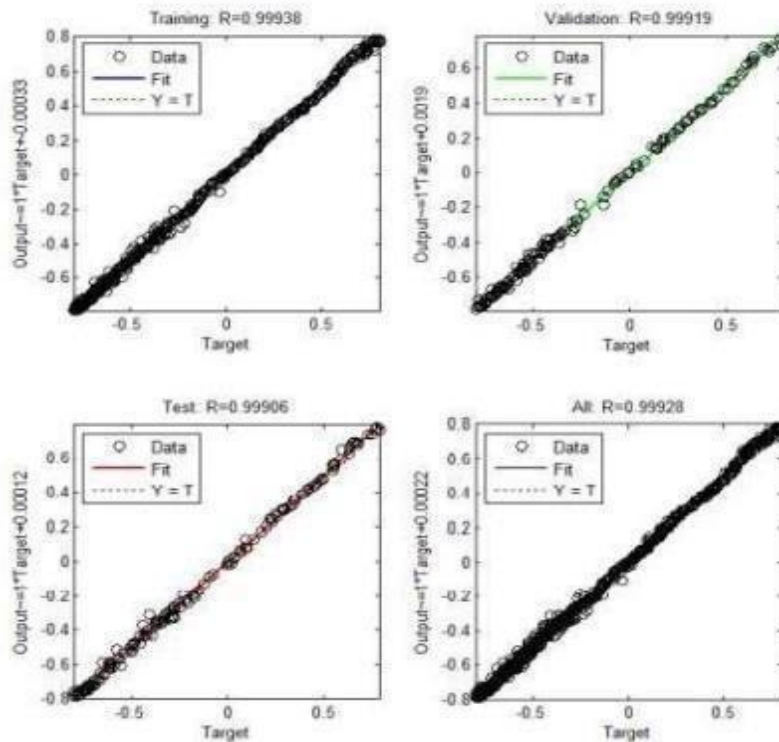


Figure III.7: Diagramme de régression produit lors de l'apprentissage du réseau

2:5:10:1:10:5:2.[51]

Quand même, Les résultats seront interprétés plus tard. l'objectif ici est simplement d'introduire la méthodologie qui sera utilisé pour examiner la réduction du bruit par l'AANN dans ce rapport.[51]

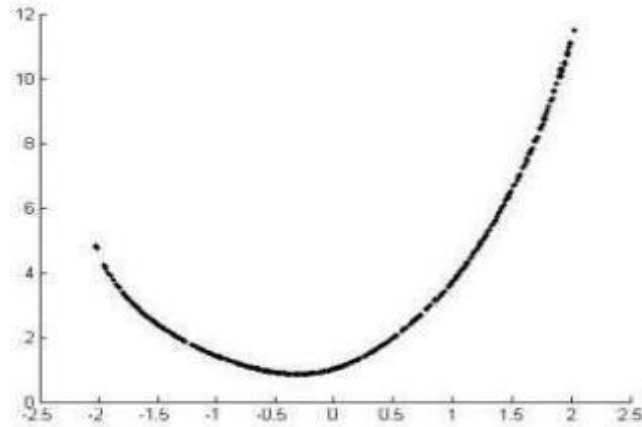


Figure III.8: Les paramètres x et y tracés ensemble après en les exécutant via le réseau 2:5:10:1:10:5:2.[51]

III-12 Avantages et inconvénients

Les Réseaux de Neurones Artificiels ont plusieurs avantages tels que :

- La possibilité d'apprendre et de généraliser les connaissances acquises.
- Le traitement parallèle et rapide des informations.
- Facilement extensibles.
- Facilité d'utilisation.

Néanmoins, ces derniers souffrent de certaines limites dont on peut citer :

- Difficulté de définir l'architecture et le type adéquat du réseau à pour un problème donné.
- Une mauvaise initialisation des poids initiaux du réseau peut conduire à un blocage d'apprentissage mais aussi à la non-convergence du réseau vers la solution désirée.
- Un mauvais choix d'une fonction d'erreur pourra amener à une mauvaise optimisation du réseau[52].

III-13 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit les réseaux de neurones artificiels, basés sur le modèle biologie du cerveau humain. Nous avons décrit les processus d'apprentissage offerts par ces réseaux compte tenu des structures de certains types de RNA. Utilisé pour les tâches de classification et régression dans divers domaines d'application tels que la robotique, le traitement du signal..., ces réseaux se caractérisent par de fortes capacités d'apprentissage et de généralisation.



CHAPITRE IV

Detection and prediction of faults in photovoltaic PV Systems

IV.1. Introduction :

Une approche pratique de détection des défauts pour les systèmes PV destinés à une mise en œuvre en ligne est développée. Le modèle de détection de défauts ici est construit à l'aide d'un réseau de neurones artificiels. initialement, le système photovoltaïque est simulé à l'aide du logiciel MATLAB et la puissance de sortie est collectée pour diverses combinaisons d'irradiance et de température. Les données sont d'abord collectées pour des conditions de fonctionnement normales, puis quatre types de défauts sont simulés et les données sont collectées pour les conditions défectueuses. Quatre défauts sont considérés ici et ils sont : les défauts de ligne à ligne avec une petite différence de tension, les défauts de ligne à ligne avec une grande différence de tension, le défaut de dégradation et le défaut de circuit ouvert. Ces données sont ensuite utilisées pour entraîner le réseau de neurones et développer le modèle de détection de défauts.

Le modèle de détection de défaut prend l'éclairement, la température et la puissance comme entrée et donne avec précision le type de défaut dans le système PV comme sortie. Ce système est généralisé car n'importe quelle fiche technique de module PV peut être utilisée pour simuler le système photovoltaïque et ce système de détection de défauts peut également être mis en œuvre en ligne à l'aide d'un système d'acquisition de données.

IV.2. Détection et classification de défauts pour un GPV

Nous proposons d'attribuer différentes signatures électriques spécifiques à plusieurs défauts. Plus précisément dans cet article, nous nous concentrons sur le défaut d'ombrage partiel et le défaut de résistance d'interconnexion.

Comme méthode proposée dans [53], nous suggérons de considérer six variables à partir de trois points majeurs de chaque courbe I-V : A (IMPP, VMPP), B (ISC, 0), C (0, VOC) et trois paramètres associés, S1 définit la pente entre le point de court-circuit et le point maximum et S2 la pente entre le maximum et le point de circuit ouvert puis S3 exprime la variation de RS. Nous pourrions donc évaluer l'impact de l'arrivée d'une faille sur six variables à travers la déformation observée des courbes I-V et lui associer une signature comme défini dans [54]. La démarche de diagnostic proposée portera sur la comparaison entre la puissance idéale modélisée et la puissance mesurée obtenue par une acquisition en temps réel.

Dans le Tableau IV-1;, les données caractéristiques du module PV utilisé pour acquérir les données expérimentales dans le présent article sont rapportées dans [55].

Tableau IV-1: Données du panneau p-Si China light Solar CLS 220P.

Model China Light Solar CLS 220P	Electrical Data
Nominal power P_{MAX} [W]	220
Maximum voltage V_{MPP} [V]	28.9
Maximum current I_{MPP} [A]	7.61
Open circuit voltage V_{oc} [V]	36.8
Open circuit current I_{sc} [A]	8.24
Minimum power guarantied P_{MIN} [W]	220
Output efficiency [%]	13.5
Maximum voltage of system V_{DC}	1000
Temperature factor of P_N [%/°C]	-0.0044
Temperature factor of V_{DC} [V/°C]	-0.0032
Temperature factor of I_{sc} [mA/°C]	0.0004
T_{NOCT} [°C]	47
Number of cells	60

IV.2.1. Simulation du système PV dans MATLAB/SIMULINK

Sur la base de la fiche technique sélectionnée, tous les paramètres sont saisis dans un fichier m. Basé sur le modèle à une diode décrit ci-dessus, le modèle Simulink est développé comme illustré à la **Figure IV-1**- Il se compose de deux sous-systèmes, "Module PV", dans lequel se trouve l'autre sous-système, "Diode". Tous les composants sont connectés pour donner le courant, la tension et la puissance globaux en sortie avec la température et l'irradiance en tant que deux entrées.

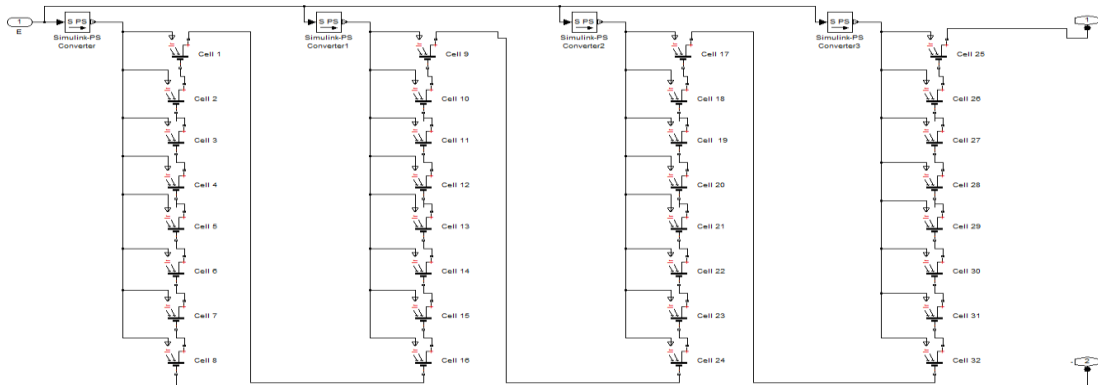


Figure IV-1- Simulation du module de panneaux photovoltaïque sous Matlab.



Une fois le modèle à une diode vérifié, le générateur PV est simulé en connectant un certain nombre de modules PV en série et en parallèle, comme illustré à la **Figure IV-2**- Ici, trois chaînes de modules PV sont connectées en parallèle, chaque chaîne contenant quatre modules PV connectés en série.

Considérant que le générateur photovoltaïque est la seule source de courant de défaut, quatre types de défauts différents sont simulés dans le générateur photovoltaïque, comme illustré à la Fig. 4 et les résultats sont obtenus.

L'ombrage est l'un des défauts les plus récurrents et les plus dommageables [55] avec les défauts résistifs sur l'interconnexion entre les sous-chaînes d'un même module ou entre les modules.

{
62
}

- . Défaut 1 : Condition où un $\frac{1}{4}$ partie des modules 1 et 2 est grisé uniquement (cas A),
- . Défaut 2 : Condition où 3 cellules par module de chaque module sont grisées (cas B),
- . Défaut 3 : Condition où la moitié de chaque module est grisée (cas C),
- . Défaut 4 : une résistance de ligne connectée de valeur $RC=3\ \Omega$ qui représente des pertes résistives sur les connexions (cas D).
- . Défaut 5 : une résistance de ligne connectée de valeur $RC=10\ \Omega$ qui représente des pertes résistives sur les connexions (cas E).

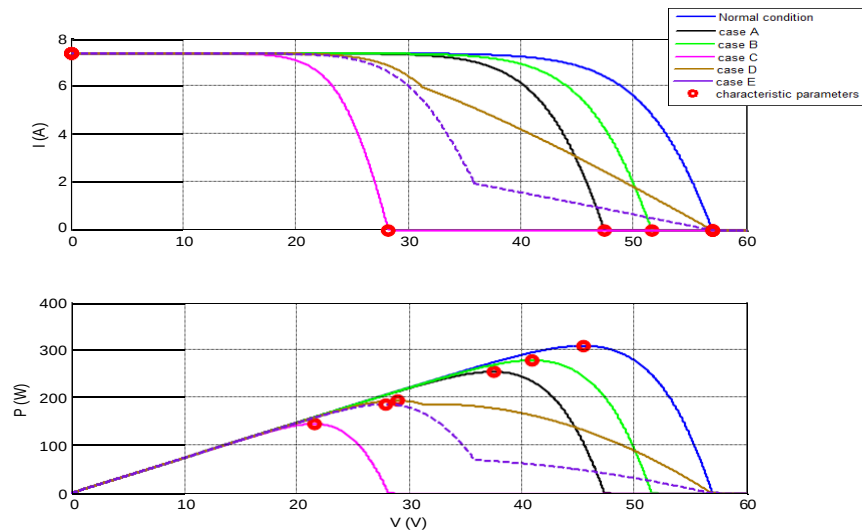


Figure IV-3- Courbes I-V mesurées et simulées pour 2 cas différents de défauts de connexion et 3 conditions d'ombrage partiel différentes

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. Après cela, nous pouvons tester ces résidus avec le seuil normal calculé en utilisant la méthode de la distance euclidienne. Pour illustrer la méthode de diagnostic proposée, nous avons mesuré séparément la puissance instantanée produite par le système photovoltaïque formé de trois modules en série dans des conditions normales et défectueuses pour chacun des cinq défauts considérés (**Figure IV-3-**). Les valeurs des paramètres caractéristiques nous sont fournies par le modèle Simulink de normalité et de défaut dans chaque cas.

La signature électrique des défauts est définie par la déformation observée dans les courbes.

C'est pourquoi nous avons considéré six grandeurs particulières : les trois points principaux de court-circuit, circuit ouvert et point maximum de fonctionnement (ISC ; VOC ; IMPP ; VMPP) d'une part et trois valeurs associées S1, S2, S3 d'autre part. Les valeurs associées S1, S2 reflètent les déformations des pentes des deux parties des courbes IV tandis que S3 concerne les variations de RS. Pour chaque défaut, nous avons obtenu les valeurs suivantes, qui reflètent les courbes en mode de défaillance, idéal et normal (Tableau IV-2: à Tableau IV-3).

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

Parameters	Normal condition	case A	case B	case C	case D	case E
$I_{SC} [A]$	7,3399	7,3399	7,3399	7,3399	7,3399	7,3399
$V_{OC} [V]$	57,0000	47,4000	51,6000	28,2000	57,0000	56,9940
$P_{MPP} [A]$	307,6767	253,3618	277,1234	144,7874	193,5673	185,7653
$V_{MPP} [V]$	45,4920	37,5240	41,010	21,5940	28,9680	27,9180

Tableau IV-3: Calcul des cinq paramètres (paramètres caractéristiques) pour le mode idéal, normal et défectueux pour $E=800 \text{ w/m}^2$.

Parameters	Normal condition	case A	case B	case C	case D	case E
$I_{SC} [A]$	5,8719	5,8719	5,8719	5,8719	5,8719	5,8719
$V_{OC} [V]$	56,1780	46,7160	50,8560	27,7920	56,1720	56,1660
$P_{MPP} [A]$	243,9433	201,2347	219,9191	115,8474	163,2131	149,8928
$V_{MPP} [V]$	45,0840	37,2420	40,6740	21,5640	33,6420	28,0620

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 simulés, l'étape suivante est la collecte de données. Une simulation est exécutée pour différentes valeurs d'irradiance et de températures pour un générateur photovoltaïque sans défaut et également pour tous les types de

CHAPITRE IV

défauts. Les valeurs de tension, de courant et de puissance sont tabulées pour différentes combinaisons d'entrées d'irradiance et de température.

Tableau IV-4:. Données collectées pour différentes valeurs d'éclairement dans des conditions de fonctionnement normales et pour différents cas de défaut

Échantillon	Isc	Vco	Pmpp	Vmpp	E (w/m2)	publier
1	7.3400	57.0000	307.6767	45.4920	1000	1
2	7.3400	47.4000	253.3619	37.5240	1000	2
3	7.3400	51.6000	277.1234	41.0100	1000	3
4	7.3400	28.2000	144.7875	21.5940	1000	4
5	7.3400	57.0000	193.5674	28.9680	1000	5
6	7.3400	56.9940	185.7653	27.9180	1000	6
7	5.8720	56.1780	243.9433	45.0840	800	1
8	5.8720	46.7160	201.2348	37.2420	800	2
9	5.8720	50.8560	219.9191	40.6740	800	3
10	5.8720	27.7920	115.8474	21.5640	800	4
11	5.8720	56.1720	163.2131	33.6420	800	5
12	5.8720	56.1660	149.8928	28.0620	800	6
13	4.4040	55.1100	180.3402	44.4540	600	1
14	4.4040	45.8280	149.0287	36.7740	600	2
15	4.4040	49.8900	162.7272	40.1340	600	3
16	4.4040	27.2580	86.4196	21.4200	600	4
17	4.4040	55.1100	133.6950	35.2920	600	5
18	4.4040	55.1040	112.7355	28.0620	600	6
19	2.9360	53.6100	117.3045	43.4220	400	1
20	2.9360	44.5740	97.1070	35.9760	400	2
21	2.9360	48.5280	105.9433	39.2340	400	3
22	2.9360	26.5080	56.7170	21.0840	400	4
23	2.9360	53.6100	96.1589	37.0140	400	5
24	2.9360	53.6040	74.5626	27.7920	400	6
25	1.4680	51.0480	55.7577	41.4120	200	1
26	1.4680	42.4380	46.2365	34.3560	200	2
27	1.4680	46.2060	50.4020	37.4400	200	3
28	1.4680	25.2240	27.1952	20.2500	200	4
29	1.4680	51.0420	50.4087	38.1060	200	5
30	1.4680	51.0360	38.9087	31.6680	200	6

Tableau IV-4présenté ci-dessus sont des données recueillies pour diverses plages d'éclairement énergétique, pour une température de 2,5°C. De même, la simulation a été exécutée au total 30

fois pour obtenir 3135 valeurs de tension, de courant et de puissance pour des niveaux d'éclairement allant de 200 à 1000 W/m² avec une différence de 200 W/m² comme indiqué dans les tableaux ci-dessus.

Ainsi, pour le développement du modèle de détection de défauts, les valeurs obtenues pour une irradiance de 200 à 1000 W/m² sont prises et le modèle de détection de défauts a été développé.

IV.3.2. Mécanismes de la ANN pour détection de fautes du system PV

Le processus de mise au point du réseau comporte quatre étapes, la première est la génération des résidus de la même manière que dans la méthode précédente, mais dans cette fois-ci, on va calculer les valeurs maximales et moyennes des erreurs de courant, tension et de puissance.

Trente (30) échantillons ont été pris en considération, tels que 10 mesures pour chaque défaut.

La deuxième 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 troisième étape est la construction du réseau de neurones qui est un réseau multicouche (19-1), six (05) entrées dans la couche d'entrée, Dix-neuf (19) neurones dans la couche cachée et quatre (04) neurones dans la couche de sortie. Une partition de départ est un rapport de 70:15:15 pour les échantillons d'apprentissage, de validation et de test, respectivement (échantillons 20:5:5). 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 30 échantillons.

Le processus de mise au point du réseau comporte les étapes suivantes: génération des résidus, collection des données, architecture du réseau et apprentissage du réseau.

La figure 14 montre le bloc d'apprentissage du réseau par logiciel Matlab (on utilisant l'outil d'ajustement de réseau de neurone, *nftool*).

Le modèle de détection de défauts est développé à l'aide d'un réseau de neurones. Pour cela, les données prises en considération sont scindées en données d'apprentissage et en données de test.

CHAPITRE IV

Puisque la puissance est la combinaison de la tension et du courant, seule la puissance est prise en compte dans le modèle de détection de défaut. Le modèle se compose de trois entrées : irradiance, température et puissance. Il a une sortie : numéro de défaut. La sortie est un nombre entier unique et chaque nombre indique l'état de défaut, comme indiqué dans le Tableau IV-5.

Un exemple de jeu de données utilisé pour former le réseau neuronal est présenté dans le tableau 7. 70 % du total des données collectées sont utilisées pour former le réseau neuronal.

Le réseau de neurones est formé à l'aide des données de formation et le modèle simulink est généré pour le modèle de détection de défauts.

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

Tableau IV-5:. Sortie correspondant au type de défaut

Type of fault	Number
No fault (normal working condition)	1
Degradation fault 1 (case A)	2
Degradation fault 2 (case B)	3
Degradation fault 3 (case C)	4
Line resistance fault 4 (case D)	5
Line resistance fault 5 (case E)	6

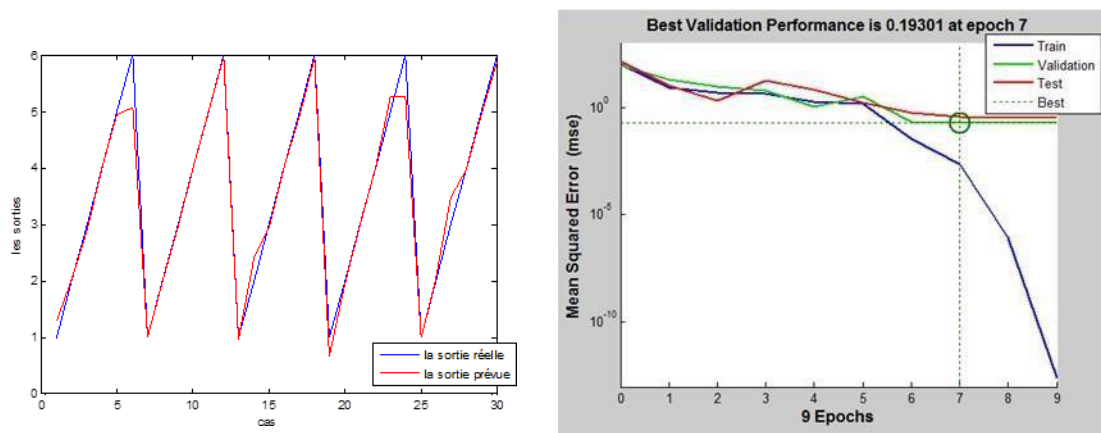


Figure IV-4- la sortie réelle est comparée à la sortie prévue

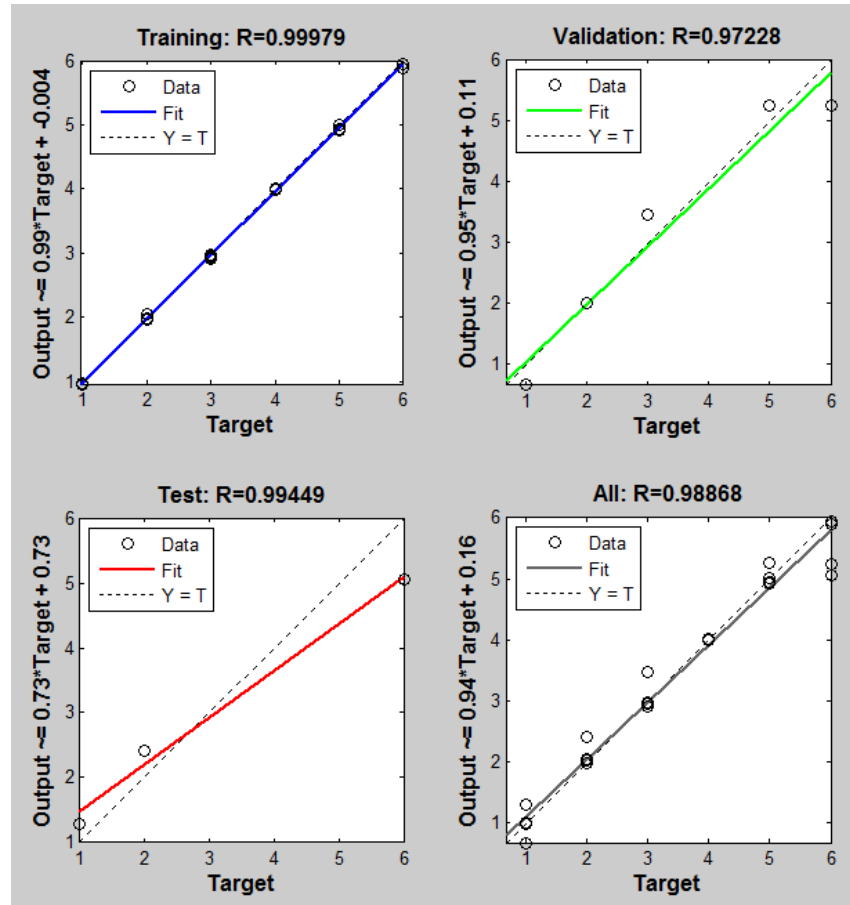


Figure IV-5- Bloc d'apprentissage du réseau de neurones et l'erreur quadratique

IV.3.3. Détection de fautes

L'entrée du modèle de détection de défaut est un ensemble de 05 entrées, I_{sc} , V_{co} , P_{mpp} , V_{mpp} et E respectivement. 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, simulées et le résultat peut être validé pour la valeur correcte de sortie indiquant l'état de défaut.

Une fois que l'ensemble de données d'entrée est donné au modèle dans le format illustré à la Fig. 6, la simulation est exécutée. Lorsque le modèle de simulation de détection de défauts est exécuté, un nombre entier s'affiche en sortie. Cette sortie est arrondie et donnée en entrée à la fonction Matlab.

La fonction Matlab reçoit le nombre en entrée et affiche l'état de défaut correspondant en sortie à l'aide de l'instruction switch-case.

Ainsi, le type de défaut est affiché dans la fenêtre de commande, sur la base de la sortie du modèle de détection de défaut.

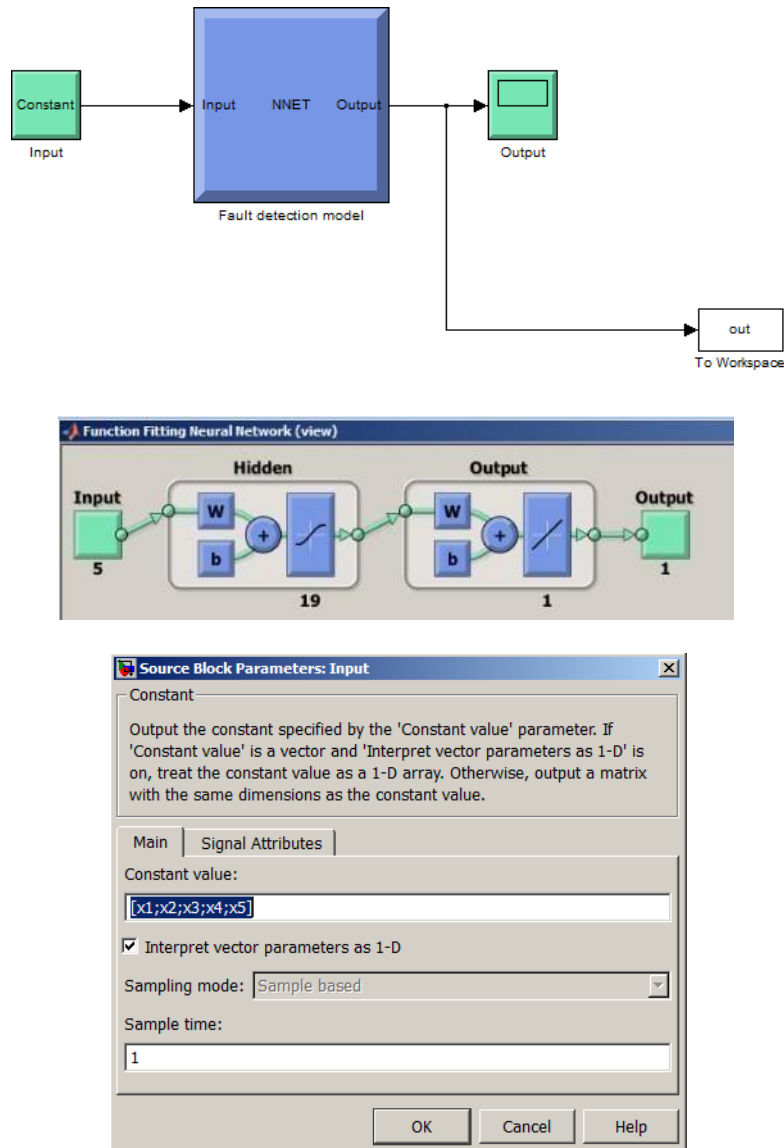


Figure IV-6- Entrée du modèle de détection de défaut ($x_1=I_{sc}$, $x_2=V_{co}$, $x_3=P_{mpp}$, $x_4=V_{mpp}$, $x_5= E$).

IV.4. Résultats et discussions :

IV.4.1 1er cas : 05 Entrées du modèle de détection de défaut [I_{sc} , V_{co} , P_{mpp} , V_{mpp} , E] :

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

Entrée 1 : Un ensemble d'entrées est choisi au hasard dans l'ensemble de données de test et attribué au modèle de détection de défauts, comme illustré à la **Figure IV-7**-

Sortie 1 : La sortie du modèle de détection de défaut est d'environ 2 et est donc affichée dans la fenêtre de commande comme défaut ligne-ligne avec une grande différence de tension, comme illustré à la **Figure IV-8**- Ce résultat est vérifié avec la sortie correspondant à l'entrée choisie.

à partir de l'ensemble de données de test et s'avère exacte.

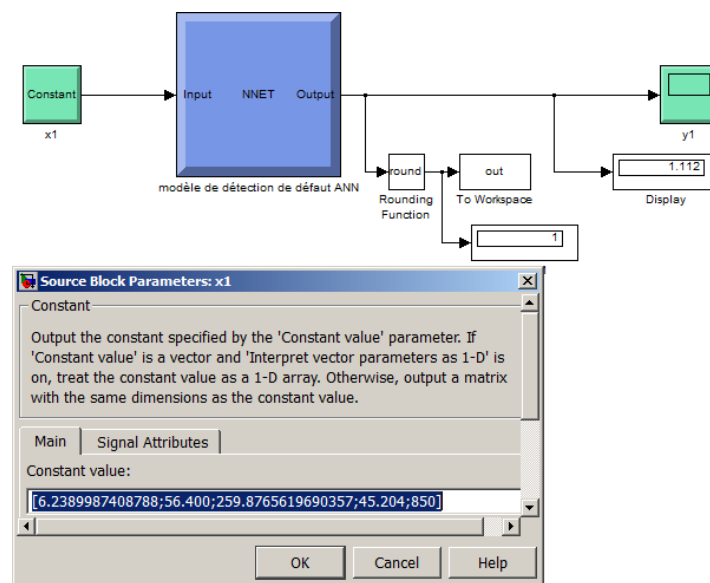


Figure IV-7-Première entrée du modèle de détection de défauts.

```
Command Window
out = 01 - Aucun défaut (état de fonctionnement normal)
fx >> |
```

Figure IV-8-Aucun état de défaut affiché dans la fenêtre de commande

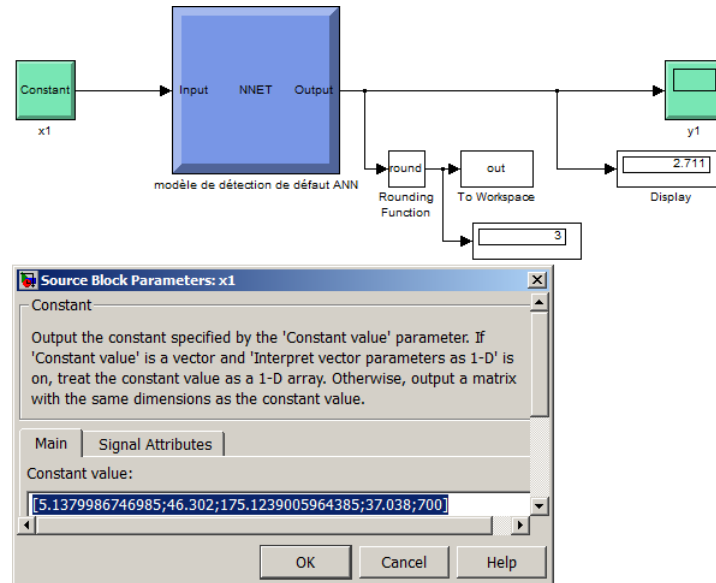


Figure IV-9- Deuxième entrée du modèle de détection de défauts

```
Command Window
out = 02 - Défaut de dégradation 1 (cas A)
fx >> |
```

Figure IV-10- Sortie défaut 1 affichée dans la fenêtre de commande.

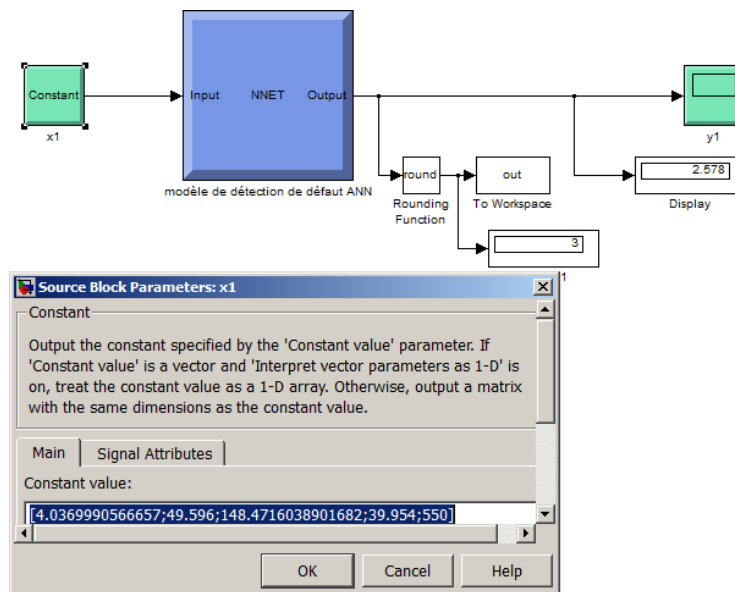


Figure IV-11- Troisième entrée du modèle de détection de défauts.

```
Command Window
out = 03 - Défaut de dégradation 2 (cas B)
fx >> |
```

Figure IV-12-Sortie défaut 4 affichée dans la fenêtre de commande.

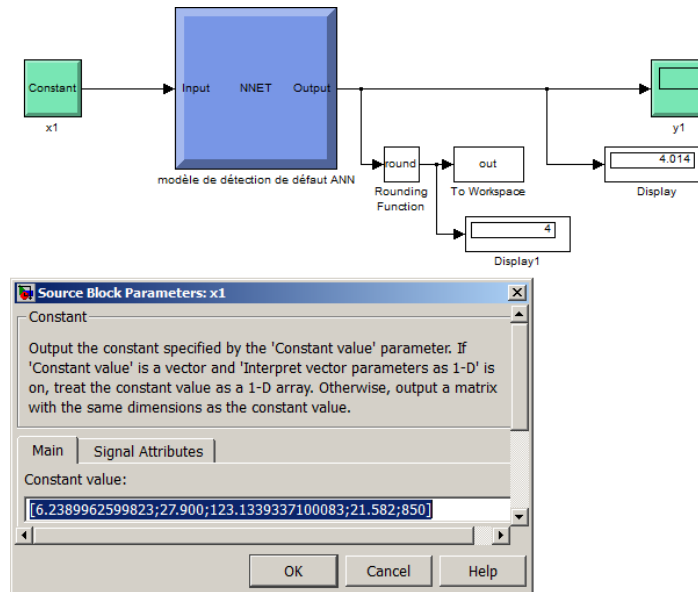


Figure IV-13-Quatrième entrée du modèle de détection de défauts.

```
Command Window
out = 04 - Défaut de dégradation 3 (cas C)
fx >> |
```

Figure IV-14- Sortie défaut 4 affichée dans la fenêtre de commande.

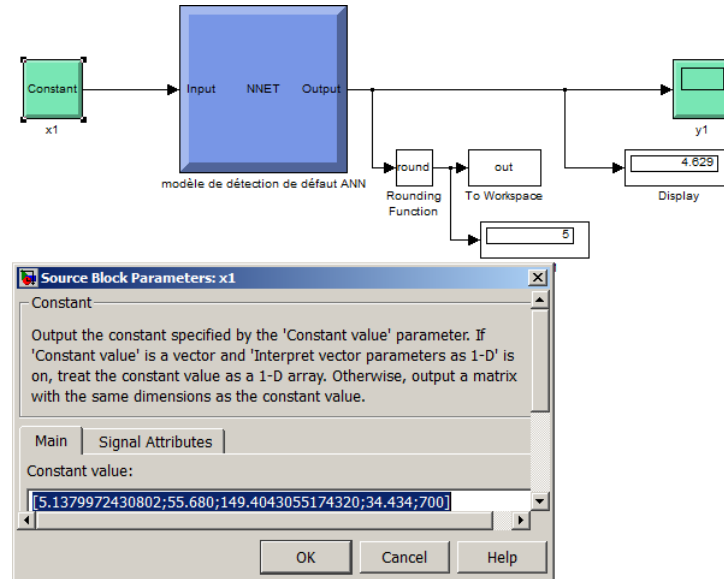


Figure IV-15- Cinquième entrée du modèle de détection de défauts

```
Command Window
out = 05 - Défaut de résistance de ligne RC=3 (cas D)
fx >>
```

Figure IV-16- Sortie défaut 5 affichée dans la commande

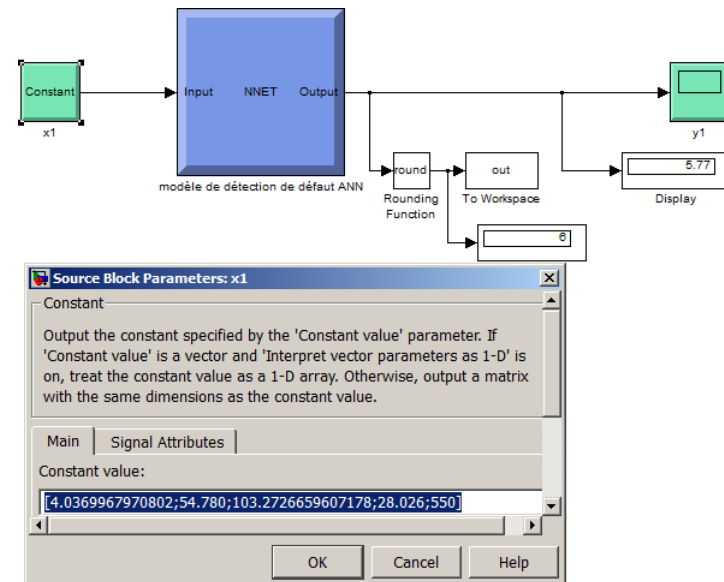


Figure IV-17- Sixième entrée du modèle de détection de défauts

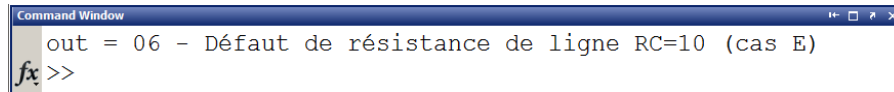


Figure IV-18- Sortie défaut 6 affichée dans la fenêtre de commande.

Entrée 2 : le deuxième ensemble d'entrées est choisi au hasard dans l'ensemble de données de test et attribué au modèle de détection de défaut, comme illustré à la **Figure IV-9-**

Sortie 2 : La sortie du modèle de détection de défaut est d'environ 1 et est donc affichée dans la fenêtre de commande comme défaut ligne-ligne avec une petite différence de tension comme indiqué sur la **Figure IV-10-** Ce résultat est vérifié avec la sortie correspondant à l'entrée choisie.à partir de l'ensemble de données de test et s'avère exacte.

Entrée 3 : Le troisième ensemble d'entrées est choisi au hasard dans l'ensemble de données de test et attribué au modèle de détection de défauts, comme illustré à la **Figure IV-11-**

Sortie 3 : La sortie du modèle de détection de défaut est d'environ 4 et est donc affichée dans la fenêtre de commande en tant que défaut de circuit ouvert, comme illustré à la **Figure IV-12-**

Ce résultat est vérifié avec la sortie correspondant à l'entrée choisie dans l'ensemble de données de test et s'avère exact.

Entrée 4 : Un quatrième ensemble d'entrées est choisi au hasard dans l'ensemble de données de test et attribué au modèle de détection de défauts, comme illustré à la **Figure IV-13-**

Sortie 4 : La sortie du modèle de détection de défaut est d'environ 3 et est donc affichée dans la fenêtre de commande en tant que défaut de dégradation, comme illustré à la **Figure IV-14-**

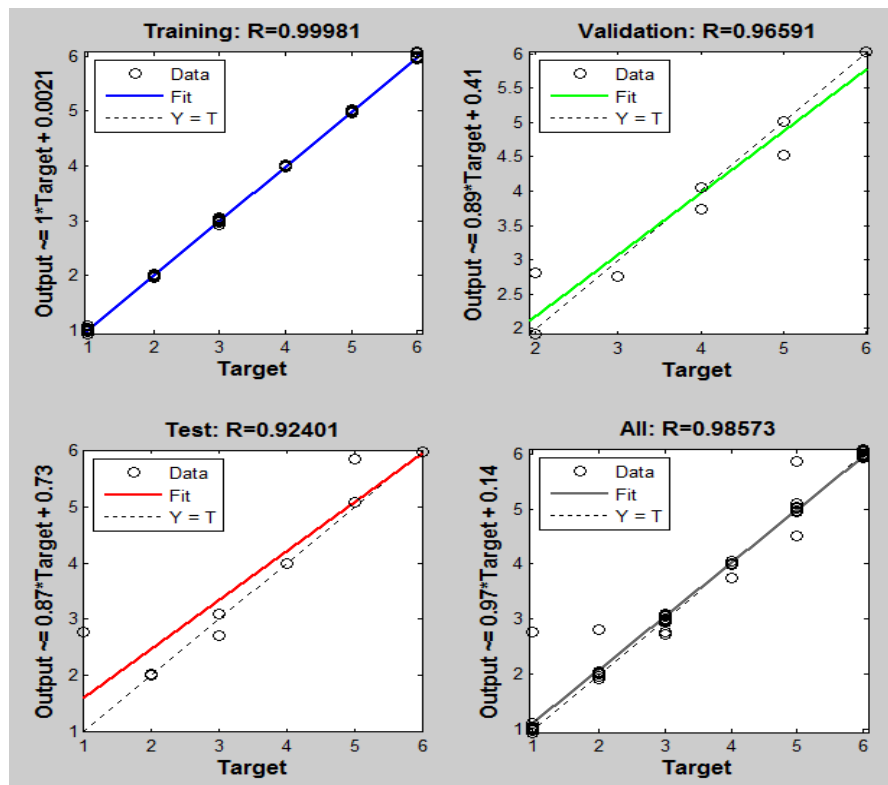
Ce résultat est vérifié avec la sortie correspondant à l'entrée choisie dans l'ensemble de données de test et s'avère exact.

Entrée 5 : Le cinquième ensemble d'entrées est choisi au hasard dans l'ensemble de données de test et attribué au modèle de détection de défauts, comme illustré à la **Figure IV-15-**

Sortie 5 : La sortie du modèle de détection de défaut est approximativement 0 et est donc affichée dans la fenêtre de commande comme aucun défaut dans le système PV, comme illustré à la **Figure IV-16**- Ce résultat est vérifié avec la sortie correspondant à l'entrée choisie dans le test. ensemble de données et s'avère exacte.

IV.4.2. 2eme cas : 04 Entrées sans l'entrée climatique ([Isc, Vco, Pmpp, Vmpp]) :

Soixante (60) échantillons ont été pris en considération, tels que 10 mesures pour chaque défaut. La deuxième étape est la collecte des mesures précédentes qui est réalisée à l'aide d'un fichier pour réaliser la base de données qui contient les informations nécessaires de chaque défaut et qui permet de classifier ces défauts. L'ensemble de données de l'apprentissage, de validation et de test est un rapport de 70:15:15 % respectivement (45:9:9 échantillons). six (04) entrées dans la couche d'entrée, dix-neuf (19) neurones dans la couche cachée et quatre (01) neurones dans la couche de sortie. L'algorithme d'apprentissage utilisé est l'algorithme de propagation rétro.



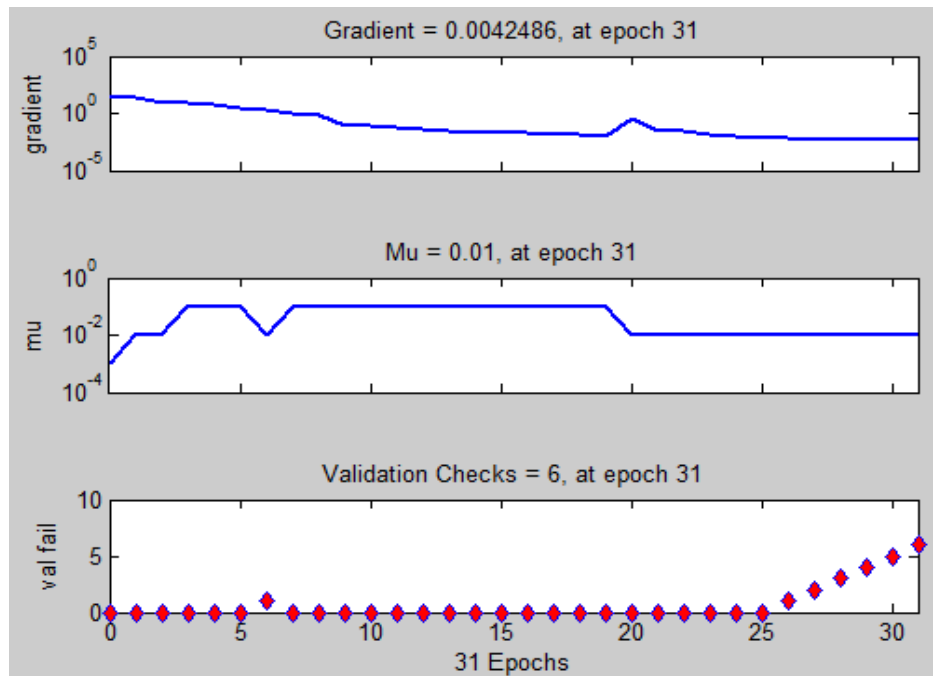


Figure IV-19- Bloc d'apprentissage du réseau de neurones et l'erreur quadratique

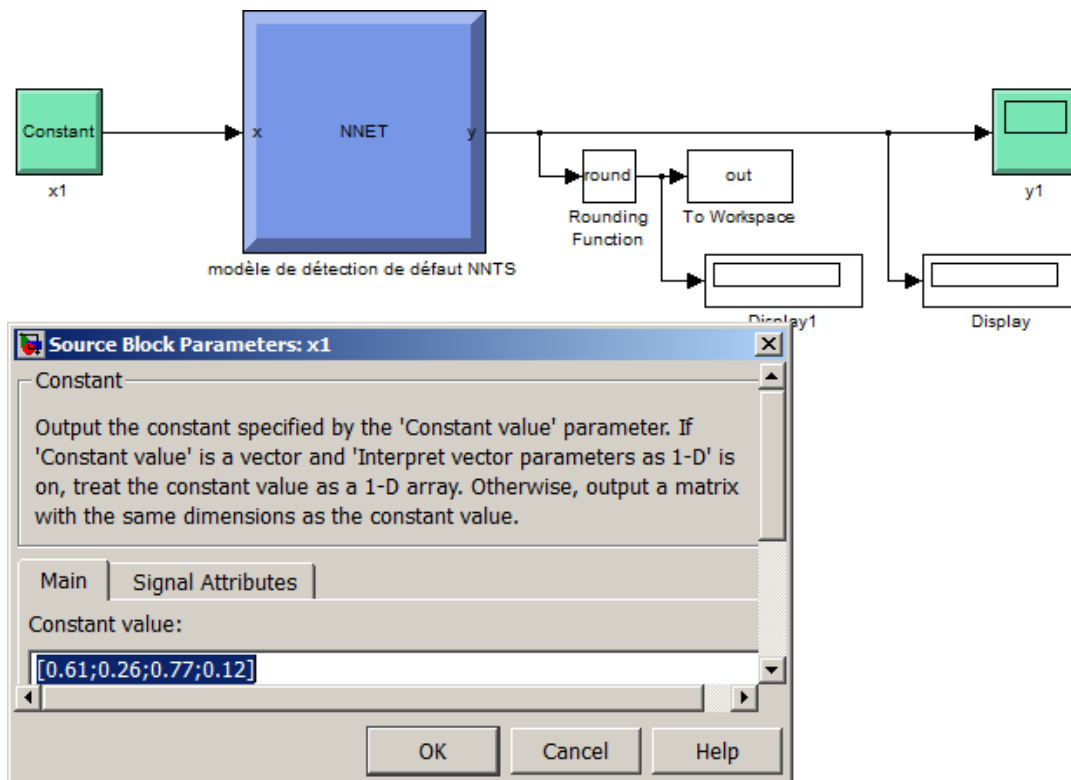


Figure IV-20- Schéma Simulink du modèle de détection de défaut.

CHAPITRE IV

Tableau IV-6: la sortie réelle est comparée à la sortie prévue

Exemple	Isc	Vco	Pmpp	Vmpp	y réelles	y prévues (ANN)
1	7.3400	57.0000	307.6767	45.4920	1	1.0133
2	7.3400	47.4000	253.3619	37.5240	2	1.9588
3	7.3400	51.6000	277.1234	41.0100	3	2.9623
4	7.3400	28.2000	144.7875	21.5940	4	3.7379
5	7.3400	57.0000	193.5674	28.9680	5	5.8592
6	7.3400	56.9940	185.7653	27.9180	6	5.9975
7	6.6060	56.6100	275.8125	45.3120	1	1.0048
8	6.6060	47.0760	227.3238	37.3980	2	2.0300
9	6.6060	51.2460	248.5367	40.8600	3	3.0675
10	6.6060	28.0080	130.3874	21.5880	4	3.9949
11	6.6060	56.6100	175.2759	32.9400	5	5.0107
12	6.6060	56.6040	168.0007	28.0020	6	6.0026
13	5.8720	56.1780	243.9433	45.0840	1	1.0097
14	5.8720	46.7160	201.2348	37.2420	2	2.0359
15	5.8720	50.8560	219.9191	40.6740	3	3.0838
16	5.8720	27.7920	115.8474	21.5640	4	3.9943
17	5.8720	56.1720	163.2131	33.6420	5	5.0280
18	5.8720	56.1660	149.8928	28.0620	6	5.9750
19	5.1380	55.6800	212.1041	44.8080	1	0.9668
20	5.1380	46.3020	175.1239	37.0380	2	2.0124
21	5.1380	50.4060	191.3023	40.4340	3	3.0426
22	5.1380	27.5400	101.1842	21.5100	4	3.9983
23	5.1380	55.6800	149.4043	34.4340	5	5.0121
24	5.1380	55.6740	131.4619	28.0860	6	5.9832
25	4.4040	55.1100	180.3402	44.4540	1	0.9408
26	4.4040	45.8280	149.0287	36.7740	2	2.0028
27	4.4040	49.8900	162.7272	40.1340	3	2.9965
28	4.4040	27.2580	86.4196	21.4200	4	4.0469
29	4.4040	55.1100	133.6950	35.2920	5	4.9770
30	4.4040	55.1040	112.7355	28.0620	6	6.0320
31	3.6700	54.4380	148.7119	44.0100	1	0.9838

CHAPITRE IV

32	3.6700	45.2640	122.9995	36.4320	2	2.0160
33	3.6700	49.2780	134.2485	39.7500	3	2.9804
34	3.6700	26.9220	71.5833	21.2880	4	4.0449
35	3.6700	54.4320	115.9687	36.1740	5	4.9716
36	3.6700	54.4260	93.7511	27.9720	6	6.0563
37	2.9360	53.6100	117.3045	43.4220	1	1.0943
38	2.9360	44.5740	97.1070	35.9760	2	1.9917
39	2.9360	48.5280	105.9433	39.2340	3	2.9363
40	2.9360	26.5080	56.7170	21.0840	4	4.0155
41	2.9360	53.6100	96.1589	37.0140	5	5.0410
42	2.9360	53.6040	74.5626	27.7920	6	5.9418
43	2.2020	52.5480	86.2469	42.6180	1	0.9709
44	2.2020	43.6920	71.4587	35.3340	2	1.9153
45	2.2020	47.5620	77.9285	38.5200	3	2.7127
46	2.2020	25.9740	41.8847	20.7660	4	3.9932
47	2.2020	52.5420	74.2674	37.7280	5	5.0911
48	2.2020	52.5360	55.2499	27.4500	6	5.9971
49	1.4680	51.0480	55.7577	41.4120	1	1.0406
50	1.4680	42.4380	46.2365	34.3560	2	2.0032
51	1.4680	46.2060	50.4020	37.4400	3	2.7553
52	1.4680	25.2240	27.1952	20.2500	4	3.9873
53	1.4680	51.0420	50.4087	38.1060	5	4.9570
54	1.4680	51.0360	38.9087	31.6680	6	6.0733
55	0.7340	48.4800	26.2958	39.2220	1	2.7707
56	0.7340	40.3020	21.8230	32.5620	2	2.8095
57	0.7340	43.8780	23.7798	35.4780	3	3.0109
58	0.7340	23.9400	12.8775	19.2480	4	4.0008
59	0.7340	48.4740	24.9591	37.5600	5	4.5186
60	0.7340	48.4680	21.9466	33.9540	6	5.9519

IV.5. Conclusions et travaux futurs :

Ainsi, à partir des résultats de simulation obtenus, on peut conclure 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 défauts développé ci-dessus peut être mis en œuvre en ligne [10], en développant d'abord le modèle de détection de défauts en collectant des données pour diverses valeurs d'irradiance et de température, puis en connectant 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 défauts. Ainsi, la puissance de sortie du système PV est surveillée en permanence et détecte le type de défaut, le cas échéant. Plus les données sont collectées pour entraîner le modèle de détection de défauts, plus la détection de défauts est précise.

Ce travail ne considère que le générateur photovoltaïque comme source du défaut. Avec une simulation plus poussée du système PV, y compris le suiveur de point de puissance maximale, le convertisseur et l'onduleur, un développement supplémentaire peut être fait dans le modèle de détection de défauts pour détecter plus 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 du système PV. Ainsi, avec une mise en œuvre en ligne de ce modèle, toute condition de fonctionnement anormale du système PV et la cause spécifique de l'anomalie peuvent être identifiées, fournissant ainsi aux opérateurs des informations adéquates pour effectuer des actions correctives en temps opportun et leur permettre ainsi d'exploiter le système PV. avec le maximum d'efficacité possible.



CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

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

Pour parvenir au diagnostic dans le cadre photovoltaïque, une impérative étude recherché sur les différentes approches théorique de diagnostique a été abouti .

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 la température et l'irradiance solaire sur les cellules photovoltaïque. Le modèle a un diode a été choisi pour le reste de notre étude sur l'utilisation de la simulation matlab .

En assimilant des valeurs bonne et stable de la température, et l'irradiance solaire d'un modèle photovoltaïque en fonctionnement saint et celle en fonctionnement défaillant pour les divers défauts considérés, trois indication été retenus tout le long de cette étude : la diminution du courant de court-circuit ,la diminution de la tension de circuit ouvert et la diminution de la puissance maximale.

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

Pour un diagnostique de défaut dans le système photovoltaïque ont a classifié grâce à un technique de l'intelligence artificiel est entamé la méthode basée sur les réseaux de neurone.

Dans l'ensemble de cette étude la méthode de réseau de neurone a été appliqué dans le cas de 4 défaut. Cette méthode nous a également permis déterminer les défauts en temps réel. Egalement le réseaux 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 admettent le technique de l'intelligence artificiel pour mieux reconnaitre les défauts.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- [1] Abbassi Fatima, Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque. Application aux sites sahariens .Thèse de licence professionnel , université Kasdi Merbah Ouargla, 2018.
- [2] C. Cai et al., "Enhanced hole extraction by NiO nanoparticles in carbon-based perovskite solar cells," *Electrochim. Acta*, vol. 312, pp. 100–108, 2019.
- [3] W. Liu et al., "Efficient perovskite solar cells fabricated by manganese cations incorporated in hybrid perovskites," *J. Mater. Chem. C*, vol. 7, no. 38, pp. 11943–11952, 2019.
- [4] <https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/la-cellule-photovoltaïque-comment-ca-marche>
- [5] <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/photovoltaïque/comment fonctionne le panneau solaire-photovoltaïque/fonctionnement cellule photovoltaïque/>
- [6] <https://www.lyceedadultes.fr/sitepedagogique/pages/PCTermSpe.html> ECOinfos (Documents Florian Poisson 2020).
- [7] Mr. Belaout Abdesslam, Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension, Thèse de magister Option : Instrumentation, UNIVERSITE – SETIF-1- U-S-1 (ALGERIE), 28/10/2014.
- [8] <https://www.lepanneausolaire.net/comprendre-principe-photovoltaïque.php>
- [9] http://www.photovoltaïque.guidenr.fr/II_1_constitution-module photovoltaïque.php
- [10] « Cellule Solaire : Modele Spice -Fiche technique » , I.U.T. de Nimes, 5 février 2008
- [11] Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho, " Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays ", *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, VOL. 24, NO. 5, MAY 2009
- [12] O. Gergaud, B. Multon, H. Ben Ahmed, " Analysis and Experimental Validation of Various Photovoltaic System Models'', 7th International ELECTRIMACS Congress, Montréal, Août 2002.
- [13] Y. Pankow, " Etude de l'intégration décentralisée dans un réseau Basse Tension. Application au générateur photovoltaïque'', Thèse de doctorat, France, Ecole centrale de Lille, Décembre 2004.
- [14] Sivakumar P., Kader A. A., Kaliavaradhan Y., & Arutchelvi M. (2015). « Analysis and enhancement of PV efficiency with incremental conductance mppt technique under non-linear loading conditions », *Renewable Energy*, 81, 543–550.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [15] Aicha DJALAB, Diagnostic des défauts d'un système d'énergie renouvelable basée sur les techniques d'intelligence artificielle : Application sur un système photovoltaïque, En vue de l'obtention du diplôme de Docteur en 3 ème Cycle DLMD, Université Ziane Achour de Djelfa, 07 / 2020.
- [16] Angel Cid Pastor. Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques. Micro et nanotechnologies/Microélectronique. INSA de Toulouse, 2006. Français. ff
- [17] <https://www.yumpu.com/fr/document/read/11216448/protection-dun-generateurphotovoltaique-socomec>
- [18] snitch, <http://www.docplayer.fr>
- [19] <https://www.voltiat.com/explain-the-work-of-the-mppt-charge-controller/>
- [20] [file:///C:/Users/aissaouinet/Downloads/MPPT%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/aissaouinet/Downloads/MPPT%20(2).pdf)
- [21] A. R. Aziz Toulait, "Modélisation et simulation sous MATALAB / SIMULINK d ' un d ' un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT," 2014.
- [22] P. Jenithaand A. Immanuel Selvakumar, Fault Detection in PV Systems, Applied Solar Energy, 2017, Vol. 53, No. 3, pp. 229–237. Allerton Press, Inc., 2017.
- [23] M. MUSTAPHA BELARBI, Contribution à l'étude d'un générateur solaire pour site autonome, Thèse de Doctorat Es-Sciences, UNIVERSITE ORAN MOHAMED BOUDIAF, 10/09/2015
- [24] W.C. Benmoussa*, S. Amara et A. Zerga. Unité de Recherche des Matériaux et des Energies Renouvelables, 'U.R.M.E.R' Faculté des Sciences, Université Abou Bekr Belkaïd, B.P. 119, Tlemcen, Algérie
- [25] <http://www.ac-clermont.fr/disciplines/index.php?id=11013>
- [26] Article in I-manager s Journal on Circuits and Systems · January 2017.
- [27] *Universite A.MIRA de Bejaia Faculte de technologie Departememnt de Genie Electrique.En vue de lobtention du diplôme de Master en Electrotechnique Option : Energies Renouvelables Thème Étude d'un système photovoltaïque*
- [28] A. Mellit, G. M. Tina,S. A. Kalogirou. Fault detection and diagnosis methods for photovoltaic systems: A review. Renewable Sustainable Energy Reviews. Vol 91, pp. 1-17, 2018
- [29] G. M. Tina, F. Cosentino,C. Ventura, Monitoring and diagnostics of photovoltaic power plants. In Renewable Energy in the Service of Mankind Vol II. 2016, Springer. p. 505-516.
- [30] J. A. Tsanakas, L. D. Ha,F. Al Shakarchi. Advanced inspection of photovoltaic installations by aerial triangulation and terrestrial georeferencing of thermal/visual imagery. Renewable Energy. Vol 102, pp. 224-233, 2017
- [31] J. A. Tsanakas, L. Ha,C. Buerhop. Faults and infrared thermographic diagnosis in operating

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- c-Si photovoltaic modules: A review of research and future challenges. Renewable sustainable energy reviews. Vol 62, pp. 695-709, 2016.
- [32] L. Bun. Détection et localisation de défauts dans un système photovoltaïque. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 2011.
- [33] M. K. Alam, F. H. Khan, J. Johnson, J. Flicker, PV arc-fault detection using spread spectrum time domain reflectometry (SSTDR). in 2014 IEEE energy conversion congress and exposition (ECCE). 2014. IEEE
- [34] G. Deans, S. McDonald, C. Baer, K. Cadien, Solar wafer emitter measurement by infrared reflectometry for process control: Implementation and results. in 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC). 2014. IEEE.
- [35] T. Takashima, J. Yamaguchi, M. Ishida, Fault detection by signal response in PV module strings. in 2008 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference. 2008. IEEE.
- [36] D. Gaikwad, S. Mehraeen, Reactive power considerations in reliability analysis of photovoltaic systems. in 2012 IEEE Green Technologies Conference. 2012. IEEE
- [37] W. Yi-Bo, W. Chun-Sheng, L. Hua, X. Hong-Hua, Steady-state model and power flow analysis of grid-connected photovoltaic power system. in IEEE international conference on industrial technology. 2008. IEEE.
- [38] A. Chouder, S. Silvestre. Automatic supervision and fault detection of PV systems based on power losses analysis. Energy conversion and Management. Vol 51, pp. 1929-1937, 2010;
- [39] Y. Liu, B. Li, Z. Cheng, Research on PV module structure based on fault detection. in Chinese Control and Decision Conference. 2010. IEEE.
- [40] X. Xu, H. Wang, Y. Zuo, Method for diagnosing photovoltaic array fault in solar photovoltaic system. in Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. 2011. IEEE.
- [41] T. Jianeng, Z. Yongqiang, W. Wenshan, Fault diagnosis method and simulation analysis for photovoltaic array. in International Conference on Electrical and Control Engineering. 2011. IEEE.
- [42] M. Uoya, H. Koizumi. A calculation method of photovoltaic array's operating point for MPPT evaluation based on one-dimensional Newton-Raphson method. IEEE Transactions on Industry Applications. Vol 51, pp. 567-575, 2014

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [43] W. Xiao, M. G. Lind, W. G. Dunford, A. Capel. Real-time identification of optimal operating points in photovoltaic power systems. IEEE Transactions on industrial Electronics. Vol 53, pp. 1017-1026, 2006.
- [44] C. Touzet. « Les réseaux de neurone artificiels », Cours, Université de Provence (Aix- Marseille I), juillet 1992.
- [45] H. Abdi. « Les Réseaux de neurones », édition presses universitaires de Grenoble, 1994.
- [46] P.K. Simpson. «Artificial Neural Systems», Pergmon Press Elmsford, New York, 1989.
- [47] Mme.O.BOUKENDOUR « MODELISATION ET SIMULATION DE LA COMMANDE MPPT D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE A BASE DE RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS » UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU ,2018.
- [48] A. Djokhrab, “Planification et Optimisation de Trajectoire d’un Robot Manipulateur à 6 D. D. L. par des Techniques Neuro-Floues,” *Thesis.UnivBiskra.Dz*, 2015.
- [49] A. Zergaoui and A. Bennia, “Identification and control of an asynchronous machine using neural networks,” *Proc. IEEE Int. Conf. Electron. Circuits, Syst.*, vol. 2, pp. 1043–1046, 1999.
- [50] Belhadj, B. Systèmes neuromorphiques temps réel : contribution à l'intégration de réseaux de neurones biologiquement réalistes avec fonctions de plasticité. Thèse de doctorat. Université Sciences et Technologies-Bordeaux I), 2010.
- [51] Mohamed Hassan Alia, Abdelhamid Rabhi, Ahmed El hajjaji and Giuseppe M. Tina, Real Time Fault Detection in Photovoltaic Systems, 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-16, 11-13 September 2016, Turin, ITALY. Energy Procedia 111 (2017).
- [52] Bouharrag Bachir Chami Akram DETECTION ET LOCALISATION DE DEFAUTS DANS LES SYSTEMES SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES A L'AIDE DE RESEAUX DE NEURONE UNIVERSITÉ MOHAMED BOUDIAF - M'SILA 2021
- [53] P. Jenitha and A. Immanuel Selvakumar, Fault Detection in PV Systems, Applied Solar Energy, 2017, Vol. 53, No. 3, pp. 229–237. Allerton Press, Inc., 2017.
- [54] Mohamed Hassan Alia, Abdelhamid Rabhi, Ahmed El hajjaji and Giuseppe M. Tina, Real Time Fault Detection in Photovoltaic Systems, 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-16, 11-13 September 2016, Turin, ITALY. Energy Procedia 111 (2017) 914 – 923
- [55] A.E. Toubal Maamar, S. Ladjouzi, R. Taleb and Y. Kacemi, Détection et classification de défauts pour un GPV: Etude comparative entre la méthode de seuillage et réseaux de neurones, Revue des Energies Renouvelables Vol. 21 N°1 (2018) 45 - 53