

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR, EL OU



FACULTE DE LA TECHNOLOGIE

Département de Génie électrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de:

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : de Génie électrique

Spécialité : Commande électrique

THEME

Une méthode intelligente pour le diagnostic des
pannes dans les systèmes de pompage d'eau
solaire

Presented by:

Maroufi mohammed Saber
Djeghbala Aymen houssam Eddine
Benmoussa Mohammed Elachraf
Saïed mohammed hadj

Devant le Jury composé de :

Oussama Maamari	Président	Université d'El Oued
kasim Abdel Malik	Examineur	Université d'El Oued
Berka Noureddine	Examineur	Université d'El Oued
Labbi Yacine	Encadreur	Université d'El Oued

Année universitaire : 2021/2022

Dédicace

Dédicace

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse,
leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*A mes chères sœurs , pour leurs encouragements permanents, et leur soutien
moral,*

A mes chers frères , pour leur appui et leur encouragement,

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours
universitaire,*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit
de votre soutien infaillible,*

Merci d'être toujours là pour moi.

Remerciement

Remerciements

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à M. Labbi Yassine, professeur à l'Université Hama Lakhdar, pour diriger ce travail, cette confiance et ce bénéfice Il a été témoin de ce travail.

Nous remercions M. Hattiri Massoud, chef du département du génie électrique, d'avoir accepté de revoir ce message.

Nous tenons à remercier tous les enseignants du département de génie électrique

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont participé directement ou indirectement dans le développement de ce travail.

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 perturbations et à des accidents qui peuvent entraîner une défaillance des actifs. Ces systèmes échouent et se détériorent avec le temps. Cela nécessite le développement de systèmes de diagnostic dont le but principal est de transformer les indicateurs pour détecter les défauts afin de maintenir la production d'énergie supérieure des systèmes PV. Des recherches approfondies sont menées sur le diagnostic des pannes des systèmes photovoltaïques à l'aide de la technologie de l'intelligence artificielle. L'objectif de cette recherche est de développer un algorithme basé sur la méthode des réseaux de neurones artificiels pour diagnostiquer la défaillance d'un système photovoltaïque.

Mots clés : systèmes d'énergie renouvelable, diagnostic de panne, système photovoltaïque, logique floue. Réseaux de neurones artificiels.

Abstract :

Renewable energy is the driving force of all modern human activity. This energy is considered inexhaustible. Renewable energy systems are exposed to disruptions and accidents that can lead to asset failure. These systems fail and deteriorate over time. This requires the development of a diagnostic system whose primary purpose is to detect failures and convert indicators to maintain the superior power generation of the PV system. In-depth investigations are being conducted to diagnose failures in PV systems using artificial intelligence technology. This study consists of developing a basic algorithm using artificial neural network methods for diagnosing failures in PV systems.

Keywords : renewable energy systems, fault diagnosis, photovoltaic system, fuzzy logic. Artificial neural networks.

ملخص :

الطاقة المتجددة هي محرك كل نشاط بشري حديث. تعتبر هذه الطاقة لا تنضب. تتعرض أنظمة الطاقة المتجددة للاضطرابات والحوادث التي يمكن أن تؤدي إلى فشل منشآتها. هذه الأنظمة تفشل وتندهر مع مرور الوقت. يتطلب ذلك تطوير أنظمة التشخيص التي يتمثل هدفها الرئيسي في تحويل المؤشرات لاكتشاف الأعطال من أجل الحفاظ على إنتاج الطاقة المتفوق للأنظمة الكهروضوئية. يتم إجراء بحث مكثف حول تشخيص الأعطال في الأنظمة الكهروضوئية باستخدام تقنية الذكاء الاصطناعي. الهدف من هذا البحث هو تطوير خوارزمية تعتمد على طريقة الشبكات العصبية الاصطناعية لتشخيص فشل النظام الكهروضوئي.

الكلمات المفتاحية : أنظمة الطاقة المتجددة، تشخيص الأعطال، النظام الكهروضوئي، المنطق الغامض، الشبكات العصبية الاصطناعية.

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]

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

ω : vitesse de l'arbre du moteur

T : La température effective de la cellule [°K]

List des figures

Fig I.1.Schéma d'une cellule PV.....	4
Fig I.2.Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	4
Fig I.3.Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour.....	5
Fig I.4.Propriétés I-V d'une cellule solaire à la lumière du soleil et dans l'obscurité.....	5
Fig I.5.Caractéristiques I-V dessous réseaux A et B du module PV dans une situation d'irradiation non homogène.(1cellulesous-irradiée).....	6
Fig I.6.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.....	7
Fig I.7.Fonctionnement de la cellule dans le 3 ^{ème} quadrant de la caractéristique I-V à cause de l'ombre.....	7
Fig I.8.Module de 36 cellules protégé par deux diodes de by-pass.....	8
Fig I.9.diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion des autres strings.....	9
Fig I.10.Modèle électrique à une diode d'une cellule photovoltaïque.....	10
Fig I.11.influence de l'ensoleillement sur le point de puissance maximal (PPM)	11
Fig I.12.influence de la température sur la tension de circuit ouvert (V_{co})	12
Fig I.13.Fonctionnement du solaire PV dans des conditions d'ombrage partiel.....	13
Fig I.14.Courbe I–V et P–V dans des conditions d'ombrage partiel.....	13
Fig I.15.schéma d'un moteur à courant continu.....	14
Fig I.16.Modèle électrique équivalent du rotor du MCC.....	14
Fig I.17.Modèle électrique équivalent du stator du MCC.....	15
Fig I.18.Modèle électrique équivalent du MCC à excitation série.....	15
Fig I.19.Modèle électrique équivalent du MCC à excitation shunte.....	16
Fig I.20.Modèle électrique équivalent du MCC à excitation composée. L: Excitation composée long, S: excitation composée courte (short).....	17
Fig 1.21.Modélisation électrique d'un moteur CC à excitation séparée.....	17
Fig 1.22.Schéma électrique d'une machine à excitation séparée.....	18
Fig 1.23.Les éléments d'une installation de pompage photovoltaïque.....	20

Fig 1.24.Systèmes de petite puissance.....	21
Fig.II .1 : Exemple s de défauts rencontrés dans les boîtes de jonction.....	26
Fig.II.2 : Méthodes de diagnostic de défauts d'un générateur PV.....	28
Fig II.3 : Exemple de la localisation de défauts par la caméra thermique.....	29
Fig II.4 : Principe de la réflectométrie pour localiser le défaut dans un string PV.....	30
Fig 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.....	32
Fig III.2 : Exemple de neurone biologique.....	33
Fig III.3 : Schématisation de la fonction d'activation de la somme pondérée.....	34
Fig III.4 : Réseau de Neurones.....	36
Fig III.5 : Architecture réseau neuronal.....	36
Fig. IV.1 : Simulation du module de panneaux photovoltaïque sous Matlab.....	42
Fig. IV.2 : Simulation du système photovoltaïque sous Matlab.....	43
Fig. IV.3 : Simulation module.....	43
Fig IV.4 : Bloc d'apprentissage du réseau de neurones et l'erreur quadratique.....	47
Fig IV.5 : Entrée du modèle de détection de défaut ($x_1=I_{pv}$, $x_2=V_{pv}$, $x_3=P_{pv}$, $x_4= E$).....	48
Fig IV.6 : Première entrée du modèle de détection de défauts.....	49
Fig IV.7 : Aucun état de défaut affiché dans la fenêtre de commande.....	49
Fig IV.8 : Deuxième entrée du modèle de détection de défauts.....	49
Fig IV.9 : Sortie défaut 1 affichée dans la fenêtre de commande.....	50
Fig IV.10 : Troisième entrée du modèle de détection de défauts.....	51
Fig IV.11 : Sortie défaut 2 affichée dans la fenêtre de commande.....	51
Fig IV.12 : Quatrième entrée du modèle de détection de défauts.....	52

List des Tableaux

Tab.II .1 : Défauts et leurs conséquences dans un générateur.....	24
Tab.II .2: Les défauts dans la boîte de jonction.....	25
Tab.II .3 : Les défauts dans l'onduleur.....	26
Tab.II .4 : Les défauts dans le système d'acquisition.....	27
Tab .III.1: Les modèles de fonctions d'activation.....	35
Tab .III.2 : Type de réseau utilisé pour chaque domaine	39
Tab. IV.1: Données du panneau p-Si China light Solar CLS 220P.....	42
Tab IV.2 : Calcul des cinq paramètres (paramètres caractéristiques) pour le mode idéal, normal et défectueux pour $E=1000 \text{ w/m}^2$	44
Tab IV.3 : Données collectées pour différentes valeurs d'éclairement dans des conditions de fonctionnement normales et pour différents cas de défaut.....	45
Tab IV.4 : Sortie correspondant au type de défaut.....	46

SOMMAIRE

Dédicace

Remerciements

Liste des symboles

Liste des figures

Liste des

Tableaux

Résumé

Références

Chapitre I : LE SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE

I. INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I.1 Introduction.....	3
I.2 L'effet photovoltaïque.....	3
I.3 Principe générale d'une cellule photovoltaïque.....	3
I.4 Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	4
I.5 Protection d'un générateur photovoltaïque.....	4
I.5.1 Protection lors de la connexion en parallèle de plusieurs GPV.....	5
I.5.2 Protection du GPV constituée de la mise en série d'un grand nombre de cellules PV.....	5
I.5.3 Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités.....	7
I.6 La modélisation électrique d'une cellule solaire photovoltaïque.....	9
1.7 la poursuite du point maximale du puissance MPPT (Maximum Power Point Tracker).....	10
1.7.1 Principe de fonctionnement du régulateur MPPT.....	11
I.7.2 Quelle est l'efficacité du régulateur MPPT.....	11
I.7.3 Effets des facteurs environnementaux sur le régulateur MPPT.....	11
I.8 DESCRIPTION D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU.....	13
I.9 MODES D'EXCITATION.....	15
I.9.1 Excitation série.....	15

I.9.2 Excitation shunte.....	16
I.9.3 Excitation compose.....	16
I.9.4 Moteur à excitation séparée.....	17
I.10 MODELISATION MATHEMATIQUE D'UN MCC.....	18
I.11Systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage photovoltaïque)	19
I.11.1 Configuration typique d'un système de pompage photovoltaïque.....	20
I.11.2 Systèmes de petite puissance (50-400W)	20
I.12Conclusion.....	21
Chapitre II:Modélisation d'un défaut sur un générateur PV et méthodes de diagnostic	
II.1 Introduction.....	23
II.2 Modélisation d'un générateur PV défaillant.....	23
II.2.1 Classification des défauts pour la simulation.....	23
II.2.1.1 Défauts dans le générateur photovoltaïque.....	23
II.2.1.2 Défauts dans la boîte de jonction.....	25
II.2.1.3 Défauts dans l'onduleur.....	26
II.2.1.4 Défauts dans le système d'acquisition.....	27
II.3 Méthodes de détection et de diagnostic des défauts du système photovoltaïque.....	28
II.3.1 Méthode non- électrique.....	29
II.3.1.1 Méthode d'imagerie thermique infrarouge numérique.....	29
II.3.1.2 Méthode de réflectométrie.....	29
II.3.2 Méthodes électriques.....	30
II-3-2-1 Méthode d'analyse de la puissance produite.....	30
II.3.2.2 Méthode d'analyse des caractéristiques I-V et P-V.....	31
II.3.2.3 Méthode d'analyse du point de fonctionnement.....	31
II.4 Défaut de la pompe.....	31
II-4 Conclusion.....	32
Chapitre III : Réseaux de neurones	
III.1 Introduction.....	33
III.2 Réseaux de neurones artificiels.....	33

III.2.1 Historique des RNA.....	33
III-3 Modèle Biologique.....	34
III.4 Neurone formel.....	35
III.5 Fonctions d'activation.....	35
III.6 Le principe de fonctionnement.....	36
III.6.1 Principe étape par étape.....	36
III.7 Architecture des réseaux de neurones artificiels.....	37
III.8 L'Apprentissage des Réseaux de Neurones.....	38
III.8.1 Apprentissage supervise.....	38
III.8.2 Apprentissage non supervisé.....	38
III.9 Quelques Modèles des Réseaux de Neurones Artificiels.....	39
III.9.1 Les perceptrons multicouches.....	39
III.10 Applications des RNA.....	39
III.11 Avantages et inconvénients.....	40
III.12 Conclusion.....	40
Chapitre IV : Détection et prédiction des défauts dans les systèmes Photovoltaïques	
IV.1.Introduction.....	41
IV.2. Détection et classification de défauts pour un GPV.....	41
IV.2.1. Simulation du système PV dans MATLAB/SIMULINK.....	42
IV.2.2.Simulation de générateur photovoltaïque dans MATLAB/SIMULINK.....	43
IV.2.3. Simulation de défauts dans le générateur photovoltaïque.....	43
Application de la méthode des réseaux de neurones (RNA).....	44
IV.3.1. Collecte de données.....	44
IV.3.2. Mécanismes de la RNA pour détection de fautes du system PV.....	45
IV.3.3. Détection de fautes.....	47
IV.4. Résultats et discussions.....	48
IV.4.1. 1er cas : 05 Entrées du modèle de détection de défaut [I_{pv} , V_{pv} , P_{pv} , E]....	48

CHAPITRE I

LE SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE

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.

Dans le deuxième chapitre, on a abordé la modélisation du générateur photovoltaïque et ont 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 RNA . 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 .

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 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 [1].

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 [2].

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 [1,2].

I.3 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 aux dés vans de zones 'aller dans le circuit extérieur sous forme d'énergie électrique. Un courant continu se créé. Une couche antireflet permet d'éviter que trop de photons se perdent en étant réfléchis par la sur face[3].

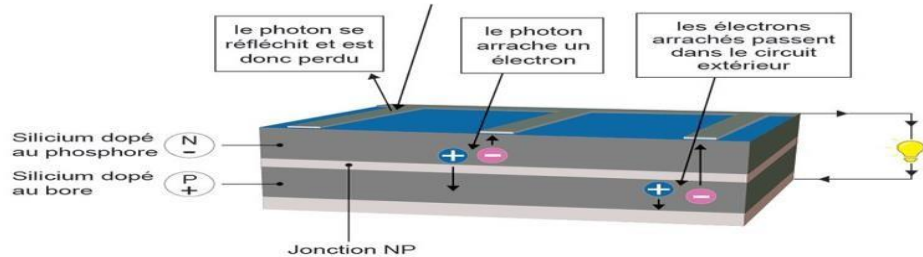


Fig I.1 Schéma d'une cellule PV [3]

I.4 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.[4]

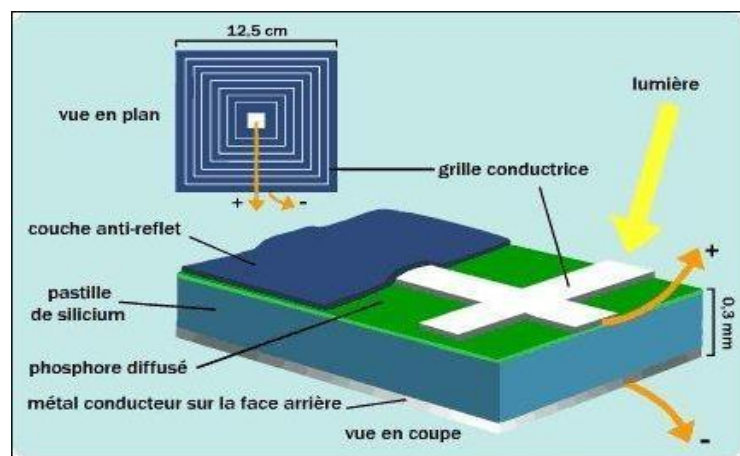


Fig I.2 Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [5]

I.5 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 devieen 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. [6]

I.5.1 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 Fig I.3 Cette diode est indispensable quand la charge du module PV est une batterie. En fait, cette diode évite que la batterie ne débite surle module PV pendant la nuit. La Fig I.4 montre les caractéristiques I(V) d'une cellule solaire, ensoleillée, puis dans l'obscurité. [6]

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.

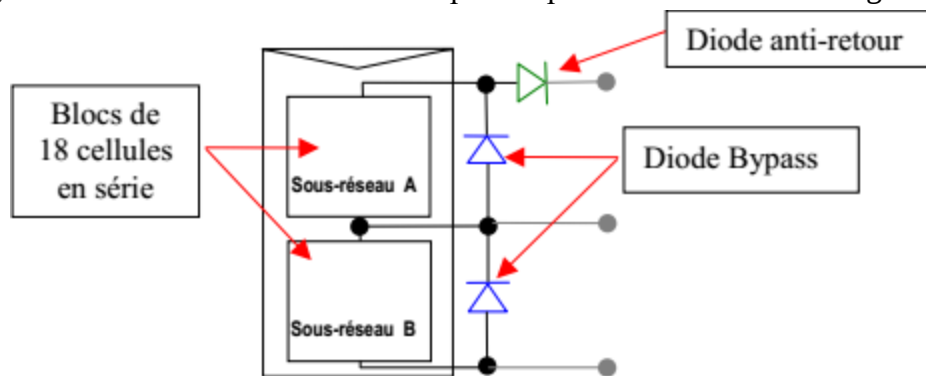


Fig I.3 : Schématisation d'un GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour

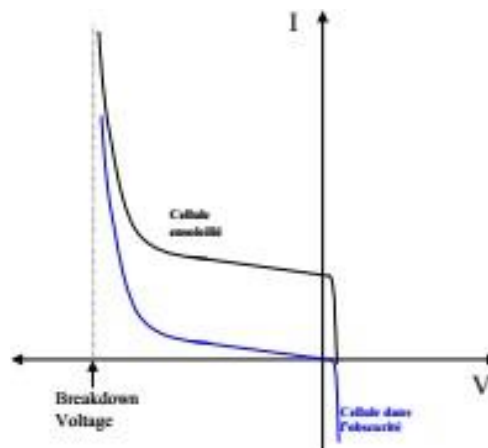


Fig I.4 Propriétés I-V d'une cellule solaire à la lumière du soleil et dans l'obscurité.

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.5.2 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 Fig. I.3. la Fig I.5 montre les caractéristiques I-V du module PV de la Fig I.3 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.

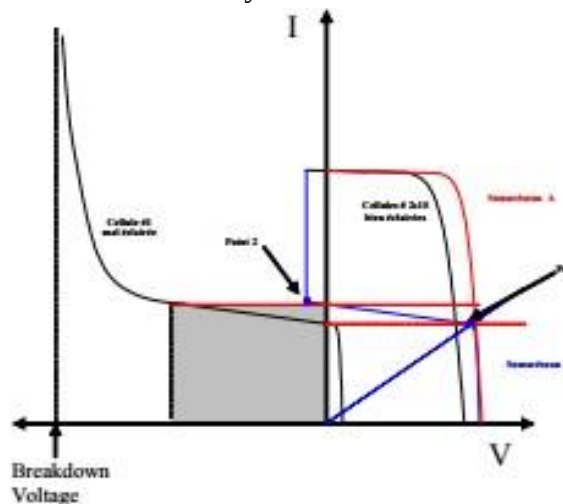


Fig I.5Caractéristiques I-V dessous réseaux A et B du module PV dans une situation d'irradiation non homogène.(1cellulesous-irradiée).

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 Fig I.5. C'est à ce moment-là que la cellule ombrée dissipe de l'énergie et peut être endommagée par la création des «points chauds». La caractéristique en inverse d'une cellule dépend fortement de la technologie de fabrication [7, 8, 9]. 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 direct 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 Fig I.6 montre en vert la caractéristique résultante du module PV de la Fig I.3 avec la protection des diodes by-pass.

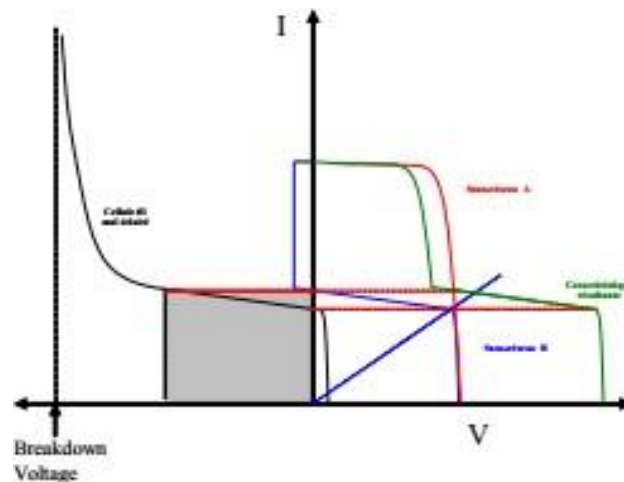


Fig I.6 Caractéristique I-V résultante de la mise en série de deux sous-réseaux de cellules avec une cellule du sous-réseau A sous-irradiée et les deux demi-modules protégés par diode by-pass.

De la caractéristique I-V de la Fig I.6, nous pouvons déduire qu'il existe alors deux maximums de puissances quand le module se trouve soumis à une irradiation non-homogène.

I.5.3 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. [10]

A) Ombrage d'un générateur :

L'ombrage partiel de la cellule se termine, forçant la cellule à fonctionner dans le quadrant Q3 (voir Fig 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. [10]

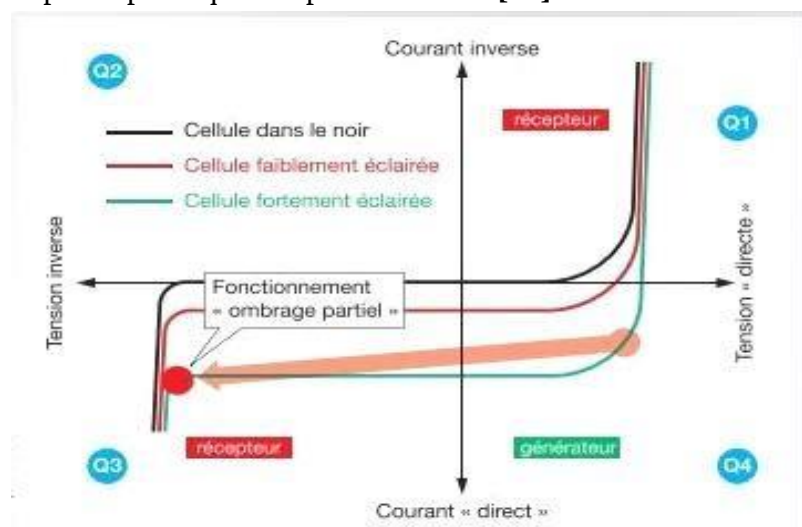


Fig I.7 Fonctionnement de la cellule dans le 3^{ème} quadrant de la caractéristique I-V à cause de l'ombre [11]

B) 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.[10]

C) 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.

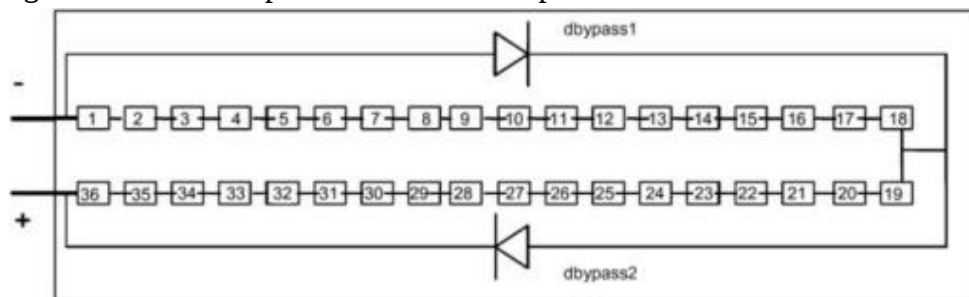


Fig I.8 : Module de 36 cellules protégé par deux diodes de by-pass

La plupart des modules PV commerciaux sont constitués par association de cellules solaire en série incluant une ou deux diodes de by-pass (Fig I .8). 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 [12].

D) 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 Fig I.9) [12].

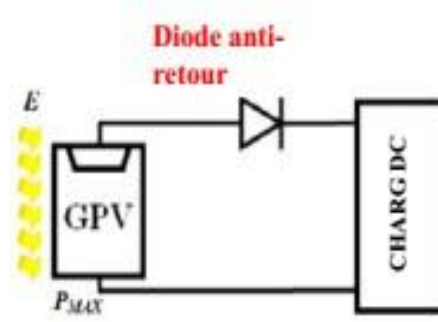


Fig I.9 diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion des autres strings.

I.6 La modélisation électrique d'une cellule solaire photovoltaïque:

Deux principaux modèles sont utilisés dans la littérature pour étudier le comportement des panneaux photovoltaïques. Nous avons le modèle à une diode et le modèle à deux diodes. Le modèle à deux diodes est plus précis (modèle bishop), par contre les deux modèles donnent des résultats avec une grande précision. Cela explique pourquoi le modèle à une diode est le plus souvent utilisé car il est plus facile à implémenter (Gamba, Romero, & Hernandez, 2015).

Une cellule photovoltaïque est semblable à une diode à jonction p-n, à la seule différence que la cellule est capable de générer de la puissance sous un ensoleillement minimal donné. L'équation 1.1 montre le modèle mathématique de la cellule PV basé sur le modèle à une diode. La cellule photovoltaïque en fonctionnement peut être assimilée à un générateur de courant de lumière (I_E) auquel s'oppose le courant de la diode en polarisation directe (I_{obs}) :

$$I = I_E - I_{obs} \quad (I.1)$$

Soit I le courant à la sortie de la cellule photovoltaïque, I_E le courant circulant dans la cellule lorsqu'elle est éclairée et I_{obs} le courant circulant dans la cellule lorsqu'elle n'est pas éclairée. Le courant d'éclairement I_E et le courant d'obscurité I s'opposent, et lorsque le courant dans la charge prend une valeur négligeable, on se retrouve dans les conditions de circuit ouvert et les deux courants s'équilibrent :

$$I_E - I_{obs} = 0 \quad (1.2)$$

Le courant total d'obscurité (I_{obs}) comporte des composantes de diffusion et de recombinaison dans la zone de charges d'espace :

$$I_{obs} = I_{obs1} + I_{obs2} = I_{s1} \left[\exp\left(\frac{V_j}{U_T}\right) - 1 \right] + I_{s2} \left[\exp\left(\frac{V_j}{2U_T}\right) - 1 \right] \quad (1.3)$$

Diffusion Recombinaison

$$\text{Avec : } U_T = \frac{kT}{q}$$

L'équation mathématique équivalente à retenir s'écrit comme suit :

$$I_{pv} = I_E - (I_{obs1} + I_{obs2}) - I_p \quad (1.4)$$

Soit :

$$I = I_E - I_{S1} \left[\exp\left(\frac{V_j}{U_T}\right) - 1 \right] + I_{S2} \left[\exp\left(\frac{V_j}{2U_T}\right) - 1 \right] - \frac{V_j}{R_p} \quad (1.5)$$

Avec : $V_j = V + IR_s$

On a introduit une résistance parallèle R_p qui représente le courant de fuite de la photopile et une résistance série R_s qui traduit les phénomènes de résistances de contact de la couche arrière et de la face avant de la cellule solaire. Dans une cellule photovoltaïque idéale R_p est supérieure à 10^4 ohms et est inférieur à 1 ohm (Orgeret, 1985). Le schéma électrique de la cellule photovoltaïque est comme le montre la Fig 1.2.

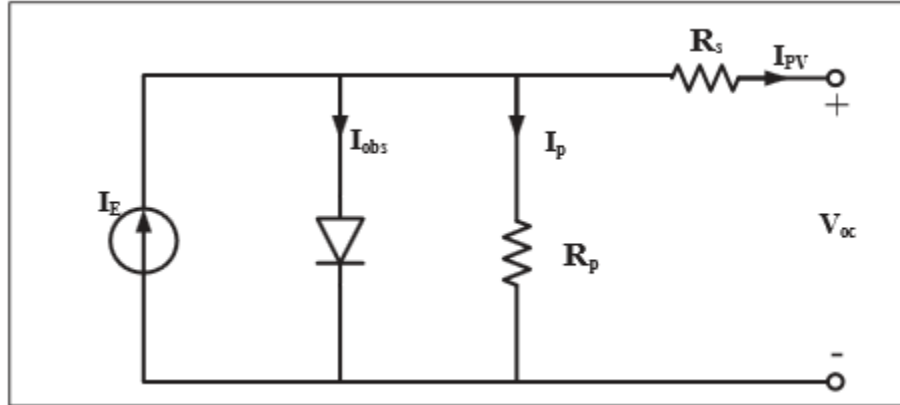


Fig 1.10 Modèle électrique à une diode d'une cellule photovoltaïque

Afin de simplifier l'équation 1.4 ci-dessus, on approxime que la cellule photovoltaïque est de très bonne qualité (cas idéal). De ce fait, nous admettons que R_p est très élevée de sorte que I_p devient négligeable et R_s très faible de sorte que V_j soit approximativement égale à V . Cela nous amène également à considérer qu'aucune recombinaison ne se produit dans la zone de charges d'espace de la cellule solaire idéale. L'équation 1.4 simplifiée devient :

$$I_{PV} = I_E - I_S \left[\exp\left(\frac{V}{U_T}\right) - 1 \right] \quad (1.6)$$

1.7 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].

1.7.1 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[13].

1.7.2 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 [13].

1.7.3 Effets des facteurs environnementaux sur le régulateur MPPT:

Les caractéristiques de la cellule solaire sont fortement influencées par:

1. Insolation
2. Température
3. Condition d'ombrage partial

Les impacts de ces facteurs environnementaux sont expliqués comme suit.

A) Impact de l'ensoleillement :

Les changements de caractéristique avec la variation de l'insolation sont illustrés à la Fig I.11 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 Fig montre que le point de puissance maximale varie également en fonction de l'ensoleillement changeant.

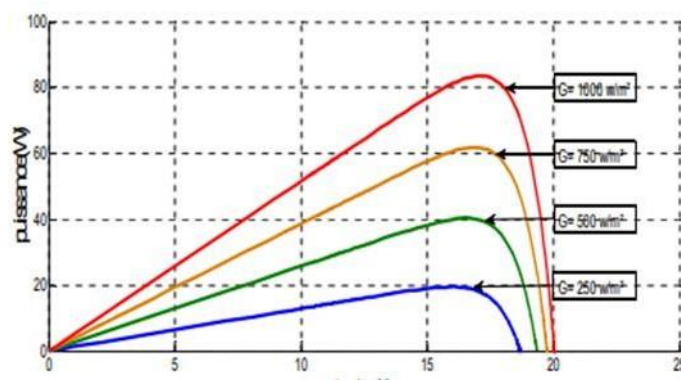


Fig I.11 influence de l'ensoleillement sur le point de puissance maximal (PPM)

B) Impact de la température:

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 Fig I .11 reflète cette particularité des caractéristiques des cellules solaires pour différentes valeurs de température.

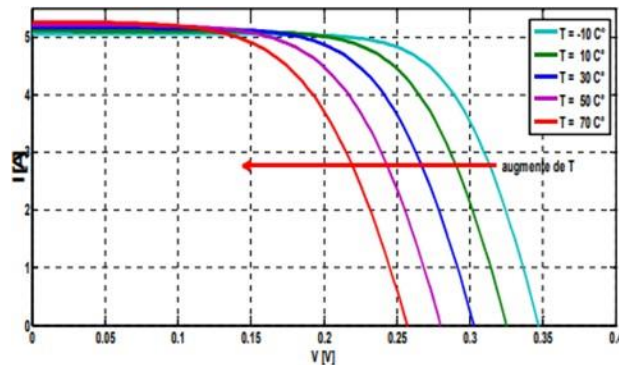


Fig I.12 influence de la température sur la tension de circuit ouvert (V_{co})

C) 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.13 . Elle montre la condition d'ombrage avec la stratégie d'atténuation de la diode de dérivation . Fig. I .14 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.

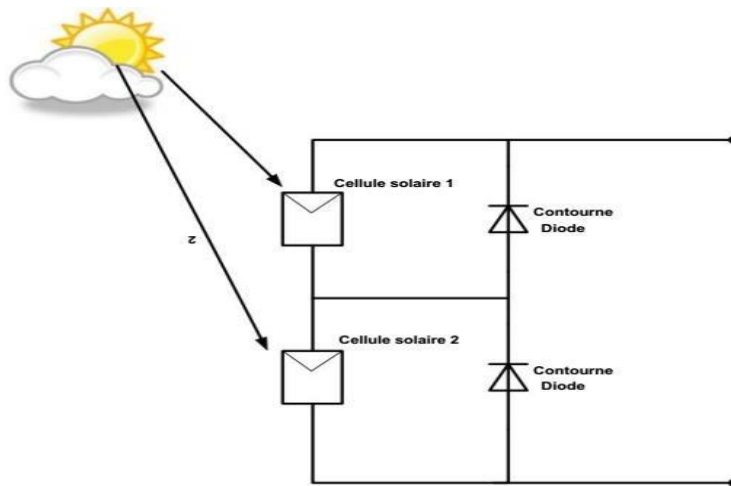


Fig I.13 Fonctionnement du solaire PV dans des conditions d'ombrage partiel.

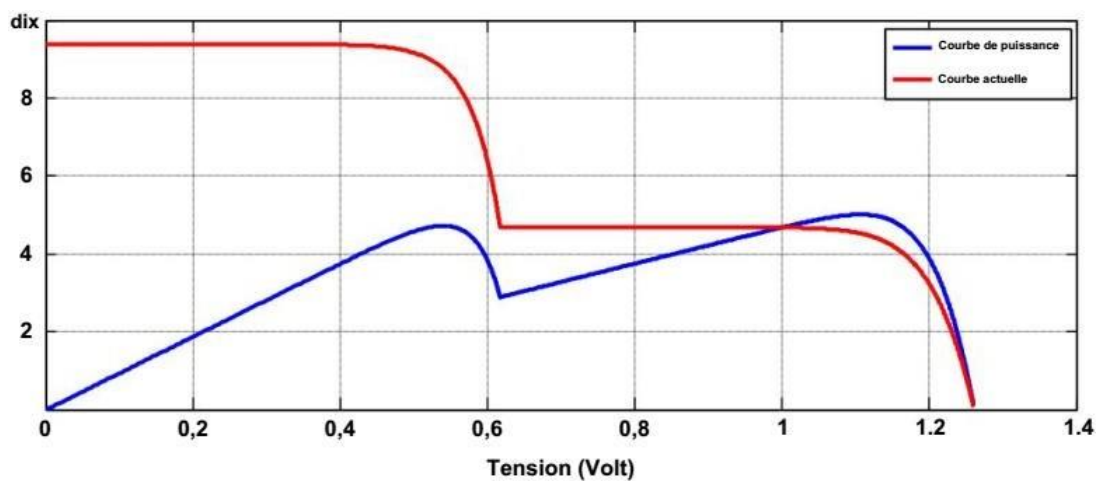


Fig I.14 Courbe I-V et P-V dans des conditions d'ombrage partiel.

I.8 DESCRIPTION D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU [14] :

Un moteur à courant continu est une machine électrique. Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie à partir d'une installation électrique, parcourue par un courant continu, en énergie mécanique. Un moteur électrique à courant continu est constitué:

- D'un stator qui est à l'origine de la circulation d'un flux magnétique longitudinal fixe créé soit par des enroulements statoriques (bobinage) soit par des aimants permanents à stator, se trouve la partie porte balais et les balais assurant les contacts électriques avec le rotor. Il est aussi appelé inducteur.
- D'un rotor bobiné relié à un collecteur rotatif inversant la polarité dans chaque enroulement rotorique au moins une fois par tour de façon à faire circuler un flux magnétique transversal en quadrature avec le flux statorique. Les enroulements rotoriques sont aussi appelés enroulements d'induits, ou communément induit.

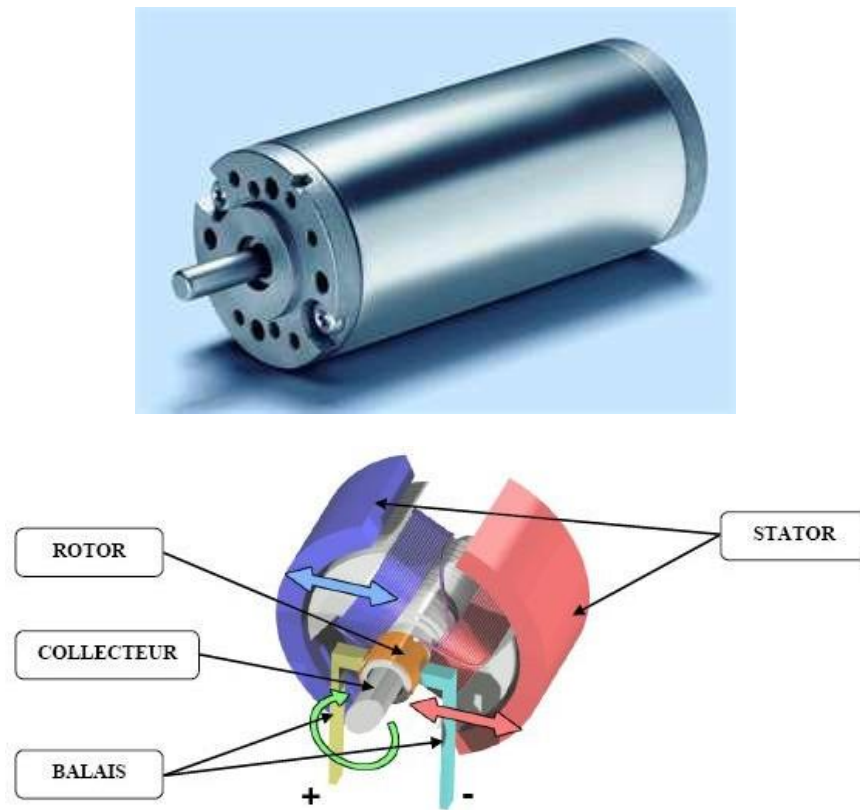


Fig 1.15 schéma d'un moteur à courant continu.

Le modèle électrique équivalent de l'induit est donné par la Fig. (I.16), où E_a représente la force électromotrice; L_a représente la self équivalente de l'enroulement d'induit; R_a représente la résistance équivalente de l'induit (résistance des fils du bobinage et résistance de contact au niveau des balais).

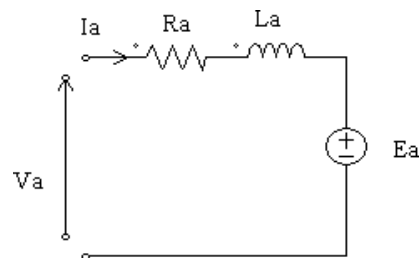


Fig 1.16 Modèle électrique équivalent du rotor du MCC.

Le schéma électrique équivalent de l'inducteur est donné sur la Fig (I.17), L_f où représente la self équivalente de l'enroulement inducteur; R_f représente la résistance équivalente de l'inducteur (résistance des fils du bobinage) [15].

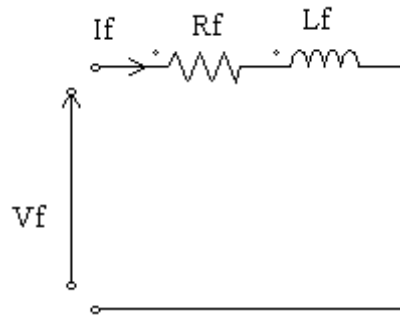


Fig 1.17 Modèle électrique équivalent du stator du MCC.

I.9 MODES D'EXCITATION [15] :

Les moteurs à courant continu se différencient par la manière dont on fournit le courant d'excitation. Les différents cas possibles sont :

I.9.1 Excitation série :

Le circuit d'excitation est placé avec l'induit du moteur. Sa particularité est d'avoir un inducteur qui est traversé par le même courant, l'inducteur possède donc une résistance plus faible que celle des autres types de machines. L'inducteur est en série avec l'induit : une seule source d'alimentation suffit. On change le sens de rotation en permutant les connexions de l'induit et de l'inducteur. Le circuit électrique est représenté par la Fig (I.18).

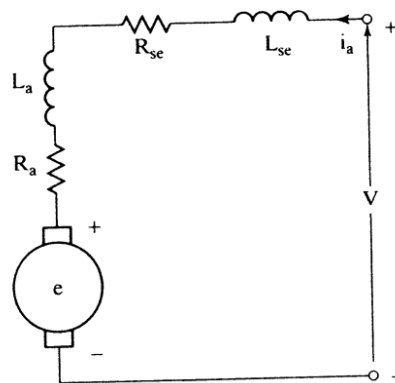


Fig 1.18 Modèle électrique équivalent du MCC à excitation série.

Le bobinage inducteur comporte dans ce cas peu de spires, mais il est réalisé avec du fil de gros diamètre. Cette conception lui procure une très bonne robustesse face aux vibrations et lui a valu un succès inégalé en traction ferroviaire [15].

- **Caractéristiques[14]:**

- Démarrage fréquent avec couple élevé; couple diminuant avec la vitesse.
- Ne jamais faire fonctionner le moteur série à vide car si « $I = 0 \text{ A}$ », alors « w » tend vers l'infini.

- **Domaines d'emploi [14]:**

Engins de levage (grues, palans, ponts roulants) ventilateurs, pompes, centrifuges; traction.

I.9.2 Excitation shunte :

L'enroulement d'excitation est connecté en parallèle sur l'alimentation du moteur, il possède les mêmes propriétés que le moteur à excitation séparée du fait que, dans les deux cas, l'inducteur constitue un circuit extérieur à celui de l'induit. Le circuit électrique est représenté par la Fig (1.19).

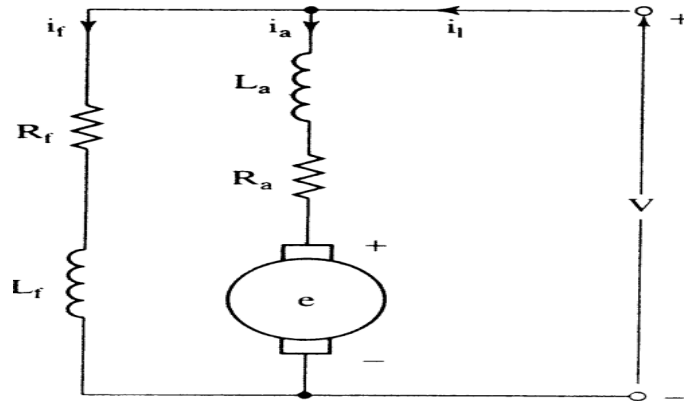


Fig 1.19 Modèle électrique équivalent du MCC à excitation shunte.

- **Caractéristiques [14]:**

Couple constant quelque soit la charge.

- **Domaines d'emploi .**

- Machines outils, appareil de levage (ascenseur).

I.9.3 Excitation compose:

Dans le mode composé, l'inducteur est divisé en deux parties, l'une connectée en série et l'autre en parallèle (Fig 1.20).

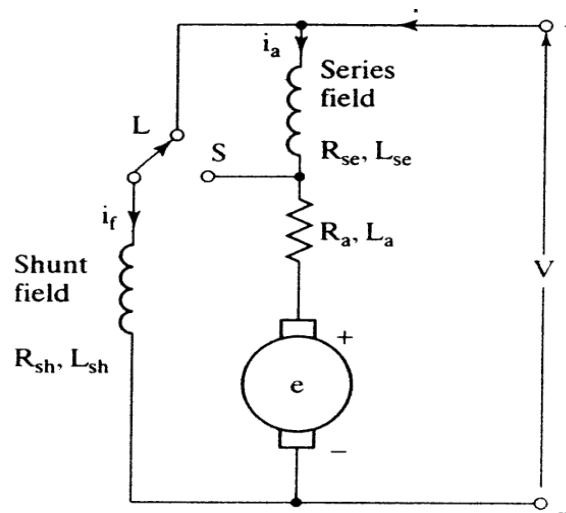


Fig 1.20 Modèle électrique équivalent du MCC à excitation composée. L: Excitation composée long, S: excitation composée courte (short).

- **Caractéristiques [15] :**

- Le MCC à excitation composée réunit les avantages du série et du shunté tout en éliminant le phénomène d'emballement du série.
- Entraînements de grande inertie.
- Couple très variable avec la vitesse.

- **Domaines d'emploi [15] :**

- Petit moteur à démarrage direct, ventilateur, pompes, machines de laminoirs, volants d'inertie.

I.9.4 Moteur à excitation séparée :

Ce mode d'excitation nécessite deux sources d'alimentations distinctes. L'alimentation de l'enroulement inducteur est prise sur une source indépendante de la source principale. On change le sens de rotation en permutant les bornes de l'induit ou de l'inducteur. Le circuit électrique est représenté par la Fig (1.21).

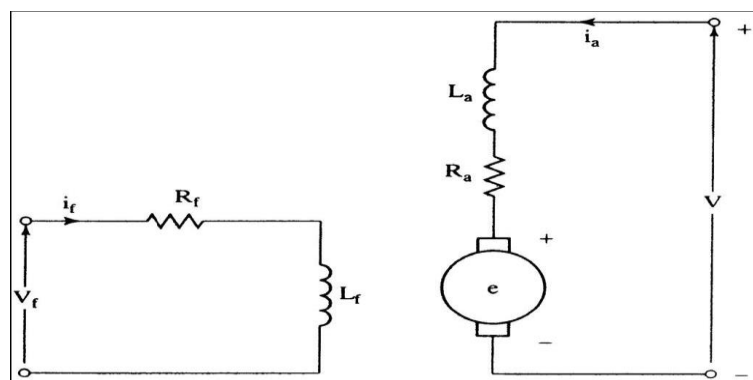


Fig 1.21 Modélisation électrique d'un moteur CC à excitation séparée.

- **Caractéristiques [15] :**

- L'inducteur est alimenté par une source indépendante.
- Grande souplesse de commande.
- Large gamme de vitesse.
- Utilisé en milieu industriel, associé avec un variateur électronique de vitesse et surtout sous la forme moteur d'asservissement.
- Fourni un couple important à faible vitesse.

- **Domaines d'emploi[15] :**

- Machines outils : moteur de (broche, d'axe). Machines spéciales.

I.10 MODELISATION MATHEMATIQUE D'UN MCC [16] :

Selon le schéma de la Fig (1.22), un moteur électrique à courant continu est régi par les équations physiques découlant de ses caractéristiques électriques, mécaniques et magnétiques.

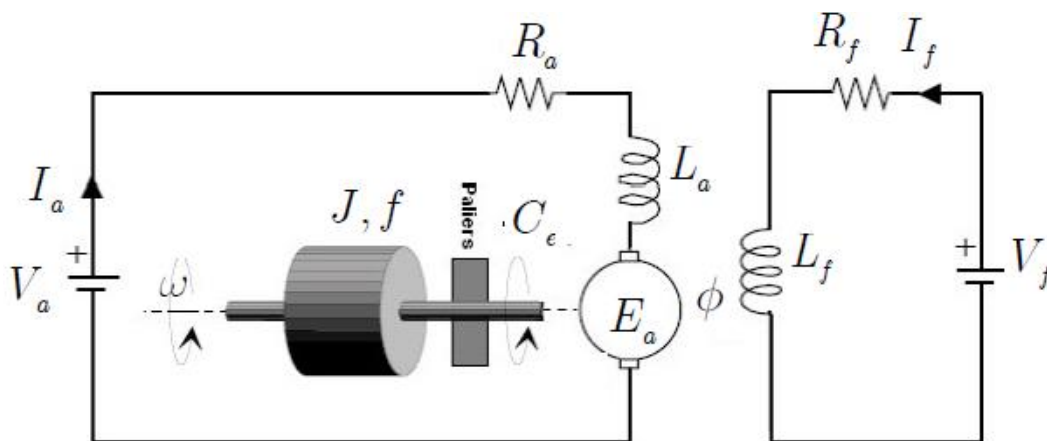


Fig 1.22 Schéma électrique d'une machine à excitation séparée.

D'après la loi de Newton, combiné à des lois de Kirchhoff, On peut écrire les équations différentielles de premiers ordres suivantes :

- **Equation de l'inducteur (excitation) :**

$$L_f \frac{dI_f}{dt} = -R_f I_f + V_f$$

- **Equation de l'induit :**

$$L_a \frac{dI_a}{dt} = -R_a I_a - E_a + V_a$$

Où

$$E_\alpha = k\phi\omega$$

Avec ω vitesse de rotation en radians/seconde. Le flux est une fonction linéaire du courant d'excitation:

$$k\phi = MI_f$$

- **Equation de couple :**

On l'obtient à partir de la puissance électromagnétique :

$$P = C_e\omega = I_\alpha E_\alpha = I_\alpha k\phi\omega$$

ce qui donne

$$C_e = kI_\alpha\phi = MI_f I_\alpha$$

- **Equation mécanique :**

$$J \frac{d\omega}{dt} = -f\omega + C_e - C_r$$

Où C_r est le couple résistant imposé par la charge, J le moment d'inertie total (machine + charge entraînée) et f le frottement proportionnel à la vitesse de rotation.

- **Position du rotor :**

$$\dot{\theta} = \omega$$

- **Pour la simulation de la machine on utilisera les équations suivantes :**

$$L_f \dot{I}_f = -R_f I_f + V_f$$

$$L_\alpha \dot{I}_\alpha = -R_\alpha I_\alpha + MI_f \omega + V_\alpha$$

$$\dot{\theta} = \omega$$

$$J \dot{\omega} = -f\omega + MI_f I_\alpha - C_r$$

I.11 Systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage photovoltaïque):

Dans les régions éloignées, désertiques ou montagneuses, l'alimentation en eau potable et d'irrigation reste toujours le souci quotidien des populations. Le pompage d'eau à l'aide de l'énergie solaire photovoltaïque est une solution bien adaptée pour ces régions. En effet, la majorité de ces régions sont très ensoleillées et cette énergie a l'avantage d'être présente et propre contrairement à l'énergie conventionnelle qui présente les contraintes de l'éloignement du réseau électrique et les contraintes du transport du combustible et les

entretiens périodiques pour les moteurs diesels. Généralement, les systèmes de pompage photovoltaïque sont constitués d'un générateur photovoltaïque, un convertisseur du courant électrique qui peut être un convertisseur DC/AC pour un moteur à courant alternatif ou un convertisseur DC/DC pour un moteur à courant continu et d'un groupe motopompe [17]. Ces systèmes fonctionnent au fil du soleil sans stockage électrochimique. L'eau ainsi pompée peut être utilisée directement ou stockée dans un réservoir pour des utilisations ultérieures. Ce type de stockage de l'eau est la solution la plus adoptée par rapport au stockage électrochimique dans des batteries. Le générateur photovoltaïque est responsable de la conversion instantanée de l'énergie solaire en énergie électrique grâce à l'effet photovoltaïque. Le générateur photovoltaïque est constitué de plusieurs modules photovoltaïques reliés en série et en parallèle selon la puissance requise. La Fig 1.23 présente les différents éléments constitutifs d'une installation solaire de pompage d'eau.

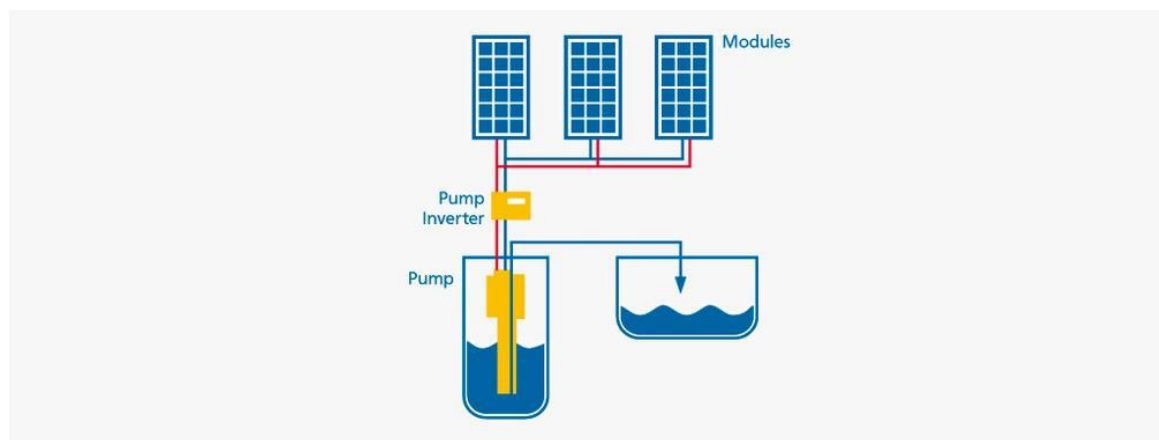


Fig 1.23 Les éléments d'une installation de pompage photovoltaïque.

I.11.1 Configuration typique d'un système de pompage photovoltaïque:

Les éléments d'un système de pompage photovoltaïque doivent être conçus pour fonctionner comme un seul ensemble pour la maximisation des performances globales du système. Différentes solutions peuvent être adoptées pour pomper un certain volume d'eau à une certaine hauteur en fonction des plages de puissance nécessaire dans une application spécifique. Bien que les pompes sont installées en surface ou bien flottante, la configuration la plus commune est une pompe immergée installée dans un trou de forage. La configuration d'un système de pompage PV est déterminée par la définition du type de générateur photovoltaïque, le type de pompe et de type moteur; ainsi que le type de conditionnement de puissance. On peut distinguer les types de systèmes de pompage photovoltaïques suivants:

I.11.2 Systèmes de petite puissance (50-400W):

Dans ce type de systèmes, il est utilisé principalement un moteur à courant continu entraînant une pompe centrifuge ou à déplacement positif [18]. Entre le générateur PV et le moteur/pompe on intercale un convertisseur DC/DC pour améliorer son adaptation [19]. Les applications de cette configuration est généralement destinée au pompage des volumes d'eau pouvant atteindre jusqu'à 150m³/Jour.

Les principaux constituants de ces systèmes sont:

- Le Générateur photovoltaïque
- le convertisseur DC/DC (facultatif)
- Moteur à courant continu
- Pompe
- Entrepôt de stockage (facultatif)

La Fig (1.24) montre un schéma synoptique de ce type de configuration,

Le système de pompage PV à moteur courant continu constitué d'un DC moteur et une pompe.

Les types de moteurs à courant continu sont classés selon le champ d'excitation: excitation séparée (aimant permanent), des séries et des moteurs de dérivation. Le choix d'un moteur à courant continu pour un système de propulsion PV est économique parce que le pouvoir des panneaux photovoltaïques en courant continu. En outre, les modules photovoltaïques produisent du courant continu, donc l'utilisation DC moteurs élimine le besoin de convertisseurs de puissance. [20], [21]

La Fig 1.24 montre le schéma simplifié d'un système de pompage utilisant le moteur à courant continu. Le couplage est direct (sans stockage électrique) avec optimisation du générateur par un hacheur adaptateur de puissance commandé par son rapport cyclique. L'installation ainsi définie nécessite une électronique relativement simple mais présente l'inconvénient du moteur à courant continu: un entretien régulier.

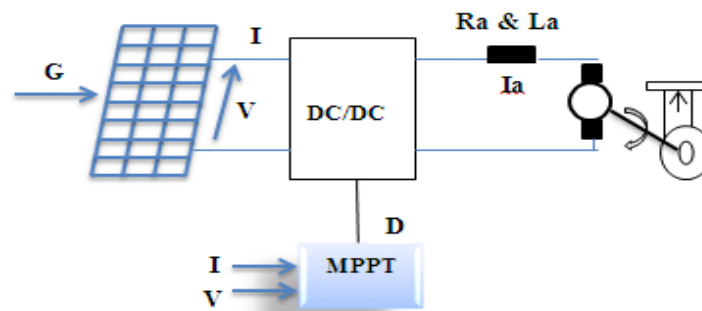


Fig 1.24 Systèmes de petite puissance

I.12 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 incidente ;
- 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 ;
- 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 d'un défaut sur un générateur PV et méthodes de diagnostic

II.1 Introduction :

Dans cette partie, nous allons passer en revue les différents défauts et anomalies qui accompagnent une installation photovoltaïque. Au cours de son fonctionnement, une installation photovoltaïque peut être soumise à divers défauts et situations anormales de fonctionnement. L'apparition des défauts et anomalies varie d'une installation à l'autre, en fonction de sa conception, de son installation, de son exploitation et de sa maintenance.

II.2 Modélisation d'un générateur PV défaillant :

II.2.1 Classification des défauts pour la simulation :

Les défauts les plus courants d'une installation photovoltaïque ont été identifiés grâce à l'expérience collective des partenaires du projet. Les défauts collectés ont été catégorisés en fonction de la fonction des nombreux composants qui constituent l'installation photovoltaïque. 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
- Défaut rotor conducteur ouvert
- Court-circuit

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.

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
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.

II -2-1-2 Défauts dans la boîte de jonction Le tableau suivant présente les défaut rencontré dans la boîte de Junction :

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.

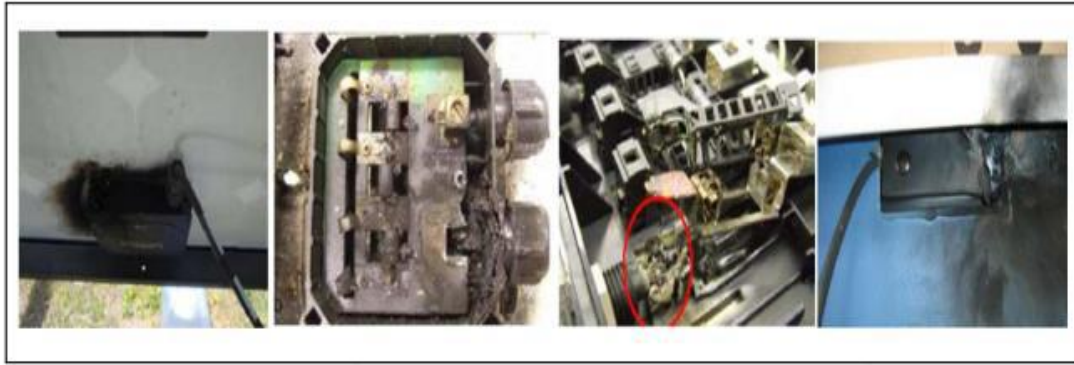


Fig.II .1 : Exemple s de défauts rencontrés dans les boites de jonction.

II-2-1-3 Défauts dans l'onduleur :

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

Défauts	Conséquences	Cri.	Occ.	Ori.
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
Déconnexion	Surtension 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
Panne de l'onduleur	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 .3 : Les défauts dans l'onduleur.

II-2-1-4 Défauts dans le système d'acquisition :

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

Défauts	Conséquences	Cri.	Occ.	Ori.
Coupure de courant	Perte de données	1	3	E
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 .4 : Les défauts dans le système d'acquisition [22].

II-3 Méthodes de détection et de diagnostic des défauts du système photovoltaïque :

Les principales causes d'anomalies dans les différentes étapes du système photovoltaïque, du module au câblage et à la protection, et enfin aux convertisseurs de puissance, comprennent les circonstances climatiques (effets d'ombrage, encrassement des modules), les conditions d'exploitation (vieillesse des modules PV) et les défauts de fabrication [23]. Les systèmes de surveillance, comme tous les systèmes industriels, sont essentiels dans les installations solaires car ils contrôlent et détectent les erreurs [23].

Dans ce domaine, les chercheurs ont développé de nombreux outils de diagnostic pour les centrales solaires. Trois caractéristiques principales séparent une technique d'une autre : la vitesse de détection des anomalies, l'optimisation des données d'entrée et la sélectivité (c'est-à-dire la capacité à distinguer entre différentes défaillances). Elles peuvent être grossièrement divisées en deux types [24] :

- Les méthodes visuelles et thermiques non électriques [25,26] pour détecter les décolorations, les brunissures, les salissures de surface, les points chauds, les ruptures et les délaminations. - Méthodes électriques pour détecter et diagnostiquer les modules, chaînes et réseaux PV défectueux, tels que les défauts d'arc, les défauts de terre, les diodes, etc. Les nombreuses approches de diagnostic sont représentées dans le graphique ci-dessous.

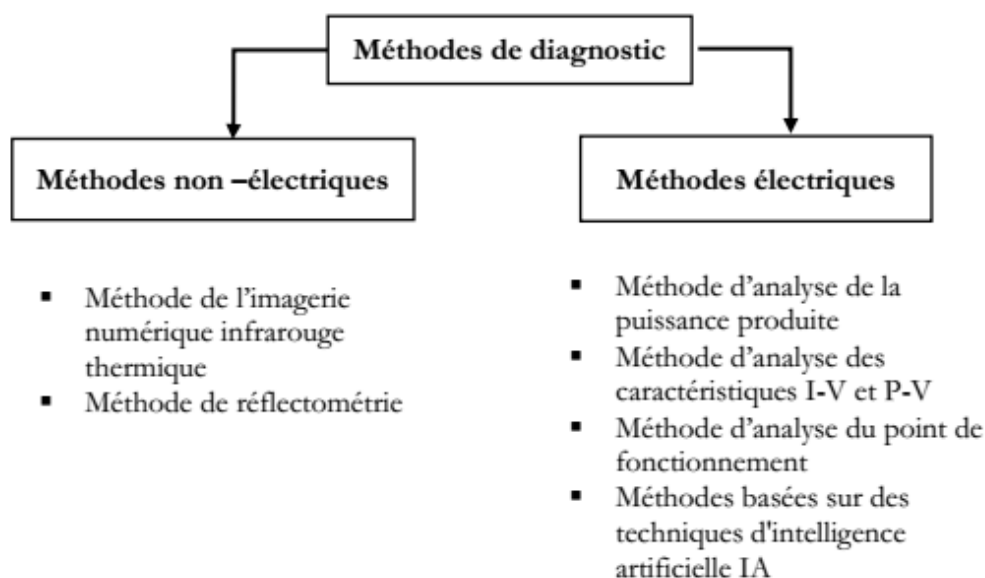


Fig.II.2 : Méthodes de diagnostic de défauts d'un générateur PV.

Méthodes non électriques (II-3-1) Cette catégorie d'approches est principalement destinée à la détection des fissures. Les essais mécaniques de flexion, l'imagerie par photoluminescence et l'imagerie par électroluminescence sont des exemples

d'approches. L'imagerie infrarouge et la réflectométrie sont les plus réactives dans notre cas (diagnostic de modules PV) [27].

II.3.1 Méthode non- électrique :

II.3.1.1 Méthode d'imagerie thermique infrarouge numérique :

Pour la détection, on utilise des inspections visuelles et des analyses d'imagerie infrarouge et thermique.

Les approches non électriques comprennent la détection et la localisation des défauts. Ces méthodes ne reposent pas sur les données électriques du système PV qui ont été mesurées. La décoloration, le brunissement, la salissure, les points chauds, la fracture et la délamination des modules PV sont tous détectés à l'aide de méthodes visuelles et thermiques [23]. L'inspection visuelle des modules prend du temps et n'est pas adaptée aux systèmes PV à grande échelle. Les méthodes de détection des défauts thermiques et infrarouges dépendent généralement de l'équipement (caméras thermiques ou infrarouges, drones, etc.), et les vitesses de détection sont déterminées par la fréquence de surveillance des installations. Bien que ces stratégies se soient avérées efficaces [25-26], elles ne sont pas appropriées pour les installations PV à petite échelle.

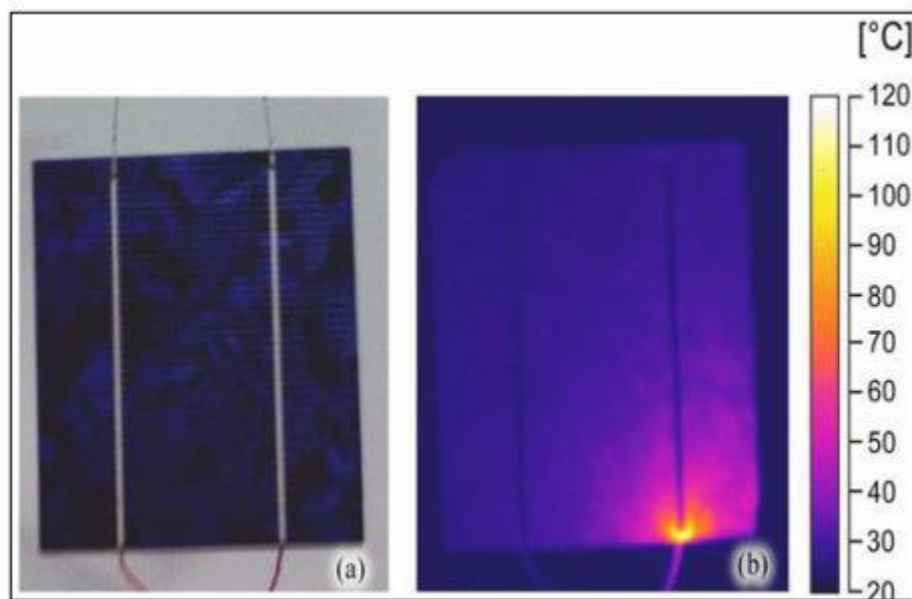


Fig II.3 : Exemple de la localisation de défauts par la caméra thermique.

II.3.1.2 Méthode de réflectométrie :

Le mécanisme de la réflectométrie est similaire à celui du radar : une impulsion ou un signal est émis dans le champ PV à diagnostiquer. Toute discontinuité (fissure, défaut, court-circuit, circuit ouvert) agit comme une pierre d'achoppement sur cette impulsion

incidente, ce qui entraîne une réflexion. On mesure ensuite les échos qui sont renvoyés. Le retard et l'amplitude des échos sont utilisés pour obtenir des informations sur la localisation du défaut, sa caractérisation et éventuellement sa prédiction. Elle ne nécessite qu'un point d'accès, qui doit être déterminé avec précision. Elle est néanmoins idéale pour les réseaux, de topologie complexe Elle peut également être incluse dans les systèmes de contrôle. Cependant, l'identification précoce des problèmes du champ PV nécessite un traitement puissant des données et un échantillonnage rapide, ce qui augmente la complexité et le coût du système de diagnostic. [28-29], ainsi que "T. Takashima et al." [30], ont employé cette stratégie. Pour détecter les défauts de type "circuit ouvert", "court-circuit" et "augmentation de l'impédance du connecteur" dans une chaîne photovoltaïque.

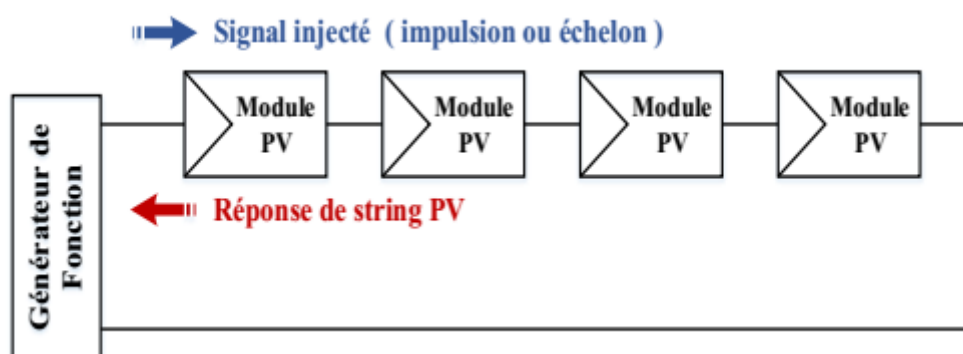


Fig II.4 : Principe de la réflectométrie pour localiser le défaut dans un string PV.

II.3.2 Méthodes électriques:

Les paramètres électriques sont les données d'entrée de ces procédures (courant, tension et puissance). La littérature propose quatre grandes sortes d'approches, sur lesquelles nous allons nous concentrer dans ce paragraphe.

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

Elle est appliquée par [31-32]. 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 [33].

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 [34,35,36].

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 [37-38]. Cette méthode offre la possibilité de détecter automatiquement la présence d'un défaut sans interrompre le système.

II.4 Défaut de la pompe:

Les pompes subissent des dommages au niveau de leurs composants hydrauliques ou mécaniques. Les composants les plus fréquemment défectueux sont les joints à bague glissante et les roulements à billes, bien que les défaillances d'autres composants, notamment le moteur d'entraînement, les pales de la roue et les roulements à billes, ne soient pas rares. Le tableau ci-dessous énumère les types de défaillances les plus courants.

Cavitation :

Développement de bulles de vapeur à l'intérieur du fluide si la pression statique tombe en dessous de la pression de vapeur. Les bulles s'effondrent brusquement, ce qui entraîne des dommages au niveau des pales.

Gaz dans le fluide :

Une chute de pression entraîne la dissolution de gaz dans le fluide. Il en résulte une séparation du gaz et du liquide et une baisse de la hauteur de charge.

Marche à vide :

Le manque de fluide entraîne un manque de refroidissement et une surchauffe du roulement. Important pour la phase de démarrage.

Érosion :

Dommage mécanique des parois à cause de particules dures ou de la cavitation.

Corrosion :

Dommages causés par des fluides agressifs.

Usure des roulements :

Dégradation mécanique par fatigue et frottement du métal, génération de piqûres et de déchirures.

Bouchage des alésages de décharge :

Entraîne une surcharge ou un endommagement des roulements axiaux.

Colmatage des joints à bague glissante :

Augmentation du frottement et diminution de l'efficacité

Augmentation des joints fendus :

Entraîne une perte d'efficacité

Dépôts :

Les dépôts de matières organiques ou par réactions chimiques à l'entrée ou à la sortie du rotor réduisent le rendement et augmentent la température.

Oscillations :

Déséquilibre du rotor par des dommages ou des dépôts au niveau du rotor. Peut causer des dommages aux roulements.

II-4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous montrons comment modéliser des systèmes PV problématiques pour divers défauts et distorsions liés à l'installation PV. Nous avons également passé en revue les différentes méthodes de diagnostic PV, qui sont utilisées pour surveiller le fonctionnement des cellules PV afin de détecter, d'identifier et de diagnostiquer les problèmes qui nuisent à leurs performances et à leur sécurité.

Chapitre III

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 neuronal artificiel (RNA) est un ensemble de cellules interconnectées, chacune d'entre elles étant appelée neurone. Chaque neurone fonctionne indépendamment et en parallèle avec les autres, formant un système qui permet de réaliser des fonctions bien définies ou des tâches complexes dans une variété d'applications. Les informations qu'il reçoit sont traitées en appliquant des méthodes d'apprentissage pour former le réseau plutôt que de le programmer.

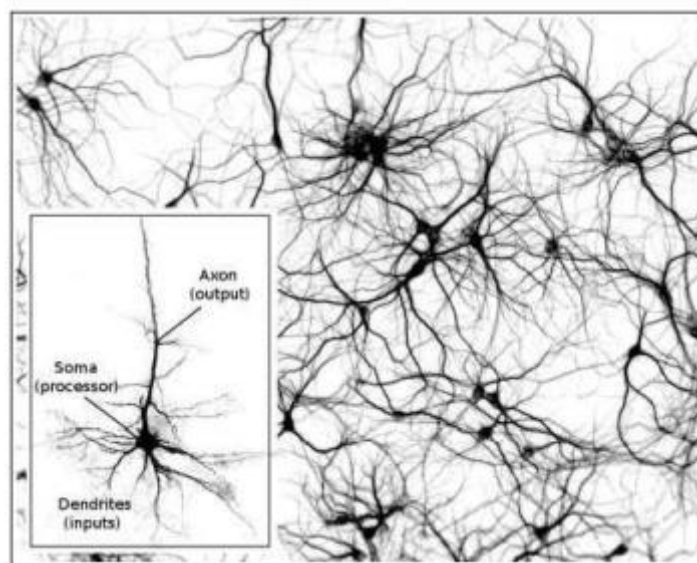


Fig III.1 Un réseau de neurones biologiques composé de plusieurs neurones interconnectés. Cette image est une représentation théorique à quoi pourrait ressembler un réseau de neurones biologiques[39].

III.2.1 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 [40].
- **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 [41], par lequel les informations sont transmises au corps du neurone (le Somme). Les informations traitées par le neurone sont ensuite envoyées à d'autres neurones par l'intermédiaire de l'axone (unique). Les neurones ne sont pas en contact direct les uns avec les autres. La synapse est la connexion ou l'espace entre l'axone d'un neurone et les dendrites d'un neurone voisin.

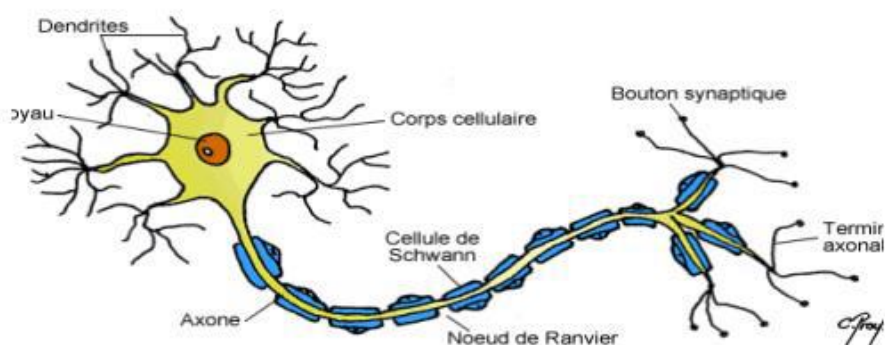


Fig III.2 Exemple de neurone biologique.

Les synapses possèdent une "mémoire" qui leur permet de modifier leur fonction en fonction de l'historique de l'activation entre deux neurones. Les méthodes d'apprentissage sont basées sur cette plasticité.

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 [42],

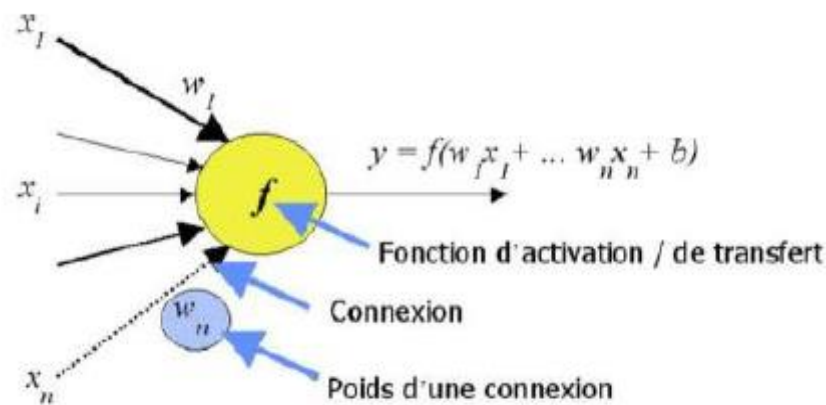
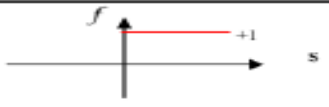
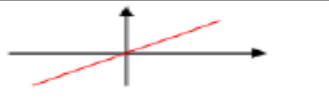
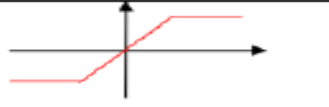
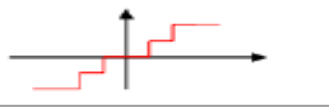
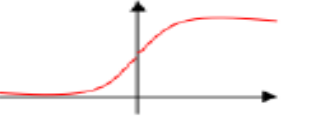
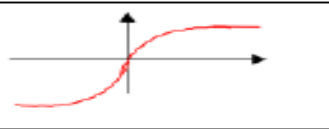


Fig III.3 Schématisation de la fonction d'activation de la somme pondérée

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 [43].

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	

Tab .III.1 Les modèles de fonctions d'activation [44].

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[45].

III.6.1 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 : classifieur des espèces, reconnaissance de motifs (chèques, cartes postales...), estimation boursière...

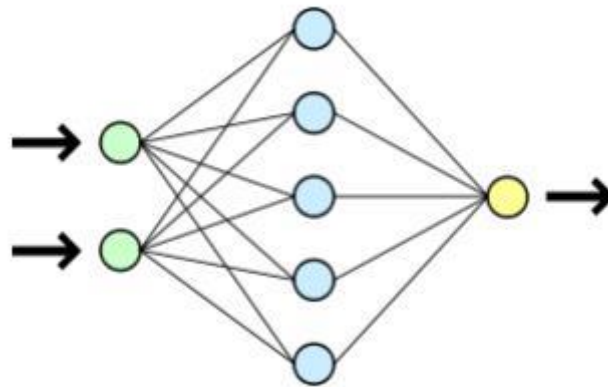


Fig III.4 Réseau de Neurones.

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 [45]. Les architectures de réseaux neuronaux peuvent être divisées en 4 grandes familles :

- * Réseaux de neurones Flux transmis.
- * Réseaux de neurones récurrents (RNA).
- * Réseaux de neurones à résonance.
- * Réseaux de neurones auto-organisés.

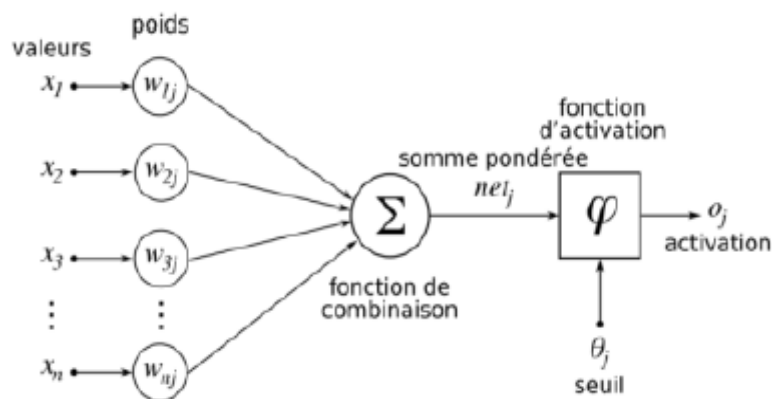


Fig III.5 Architecture réseau neuronal.

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 sûr 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[45].

III.8.1 Apprentissage supervise:

Une connaissance a priori de la sortie souhaitée est nécessaire dans ce scénario. Le réseau reçoit le vecteur d'entrée, après quoi la sortie est calculée. Après avoir comparé cette sortie à la sortie souhaitée, les poids sont modifiés pour combler l'écart entre les deux. Ce processus est exécuté jusqu'à ce qu'un critère de performance soit atteint.

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 [44].

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 [43].

L'apprentissage non supervisé imite la façon dont le cerveau humain trouve des informations par association. À l'entrée du réseau, des exemples connus sont présentés, et le réseau s'organise comme l'auteur d'attracteurs qui correspondent à des configurations stables du modèle dynamique non linéaire du réseau. L'apprentissage

est effectué par l'utilisation de règles qui font varier ou adaptent le poids des coefficients synaptiques en fonction des instances fournies en entrée et, dans certains cas, des sorties souhaitées.

III.9 Quelques Modèles des Réseaux de Neurones Artificiels:

Il existe plusieurs modèles de réseaux de neurones artificiels dans ce paragraphe en va cité quelques un à titre d'exemple[45].

III.9.1 Les perceptrons multicouches:

- **Le perceptron à une seule couche :**

Le perceptron de Rosenblatt est le premier (RNA) réseaux de neurones artificiels de l'histoire. Comme il ne possède qu'une couche d'entrée et une couche de sortie, il s'agit d'un réseau simple. Il peut toutefois être utilisé pour effectuer une classification et des opérations logiques simples (telles que "ET" ou "OU"). Son inconvénient fondamental est qu'il ne peut s'attaquer qu'à des problèmes qui sont linéairement séparables.

- **Perceptrons à couches multiples:**

Parce que les perceptrons multicouches (MLP) font partie des réseaux multicouches, ils sont dépourvus de boucle de rétroaction et sont "en avant libre". Il s'agit d'un perceptron multicouche comportant une ou plusieurs couches cachées entre l'entrée et la sortie. À l'exception des couches d'entrée et de sortie, chaque neurone d'une couche est connecté à tous les neurones des niveaux précédents et suivants, et il n'existe aucune connexion entre les cellules d'une même couche. Les fonctions de seuil ou sigmoïde sont couramment utilisées comme fonctions d'activation dans ce type de réseau. Il peut s'attaquer à des problèmes non linéairement séparables ainsi qu'à des problèmes logiques plus complexes, tels que le célèbre problème XOR .

III.10 Applications des RNA:

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 [46] :

- 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'aplication	Type de RNA
Reconnaissance de formes	MLP,Hopefield,Kohnen
Mémoire Associatives	Hopefield, MLP récurrents, Kohnen
Optimisation	Hopefield,ART,CNN
Approximation de fonction	MLP,RBF
Modélisation et fonction	MLP, MLP récurrents,FLN
Traitement d'images	CNN, Hopefield
Classification et Clustering	MLP, RBF, Kohnen, ART,PNN

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

III.11 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[45].

III.12 Conclusion:

Nous avons présenté dans ce chapitre les réseaux de neurones artificiels, qui sont basés sur un modèle biologique du cerveau humain. Compte tenu des topologies de types particuliers de RNA, nous avons exposé les processus d'apprentissage offerts par ces réseaux. Ces réseaux sont caractérisés par de fortes capacités d'apprentissage et de généralisation et sont utilisés pour des problèmes de classification et de régression dans de nombreux domaines d'application tels que la robotique, le traitement du signal, etc.

Chapitre IV

Détection et prédiction des défauts dans les systèmes Photovoltaïques

IV.1. Introduction :

Une approche pratique de détection des défauts pour les systèmes PV destinés à une mise en oeuvre 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 oeuvre 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 [50], 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 [51]. 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 Tab IV-1., les données caractéristiques du module PV utilisé pour acquérir les données expérimentales dans le présent article sont rapportées dans [52].

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 guaranteed 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

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

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 Fig 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.

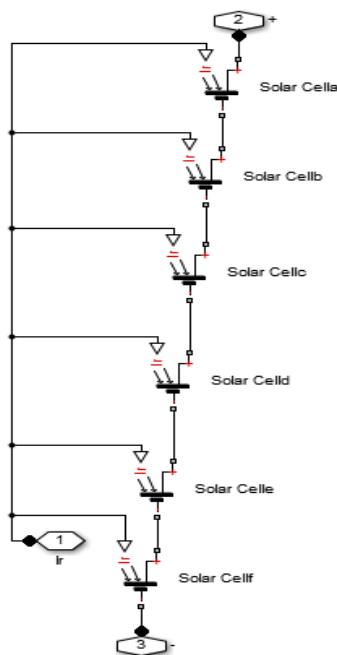


Fig.IV.1 Simulation du module de panneaux photovoltaïque sous Matlab

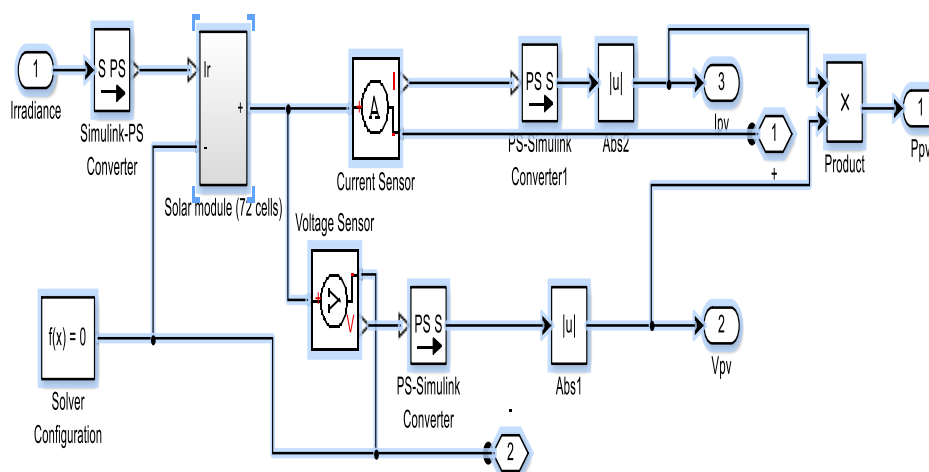


Fig. IV.2. Simulation du système photovoltaïque sous Matlab .

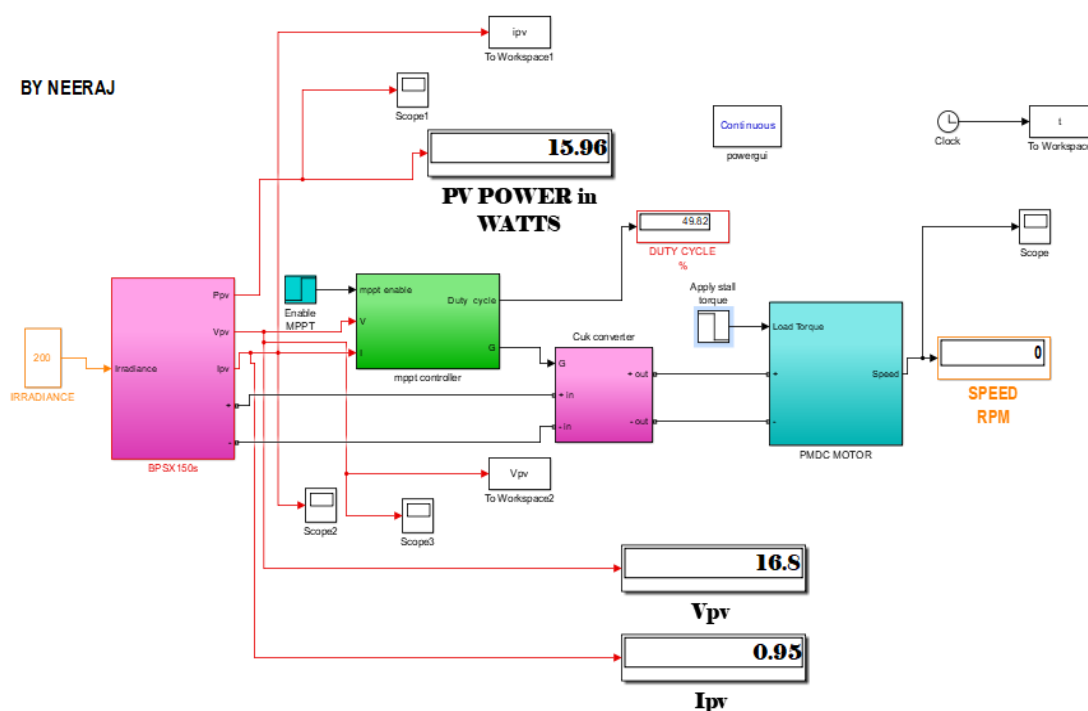


Fig. IV.3. Simulation module

IV.2.2. Simulation de générateur photovoltaïque dans MATLAB/SIMULINK:

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 Fig IV-1- Ici, Cet module contient 72 celill .

IV.2.3. Simulation de défauts dans le générateur photovoltaïque:

Considérant que le générateur photovoltaïque est la seule source de courant de défaut, quatre types de défauts différents sont simulés dans le générateur photovoltaïque, Il existe une variété importante de défauts pouvant modifier la puissance instantanée d'un module photovoltaïque.

L'ombrage est l'un des défauts les plus récurrents et les plus dommageables [52] avec les défauts résistifs sur l'interconnexion entre les sous-chaînes d'un même module ou entre les modules. Dans notre étude, nous présentons quatre scénarios de pannes différentes ; deux on le générateur photovoltaïque et deux on DC Motor :

- **Défaut 1** : une résistance connectée de valeur $R=10\ \Omega$ qui représente des pertes résistives sur les connexions (cas a).
- **Défaut 2** : Condition où 3 cellules par module de chaque module sont grisées (cas B) .
- **Défaut 3** : Court-circuit (cas c) .
- **Défaut 4** : rotor conducteur ouvert (cas D)

Cette méthode consiste à diagnostiquer cinq types de défauts en comparant les paramètres caractéristiques entre la puissance modélisée idéale en condition normale d'une part et la condition de défaut d'autre part. Pour illustrer la méthode de diagnostic proposée, nous avons mesuré séparément la puissance instantanée produite par le système photovoltaïque dans des conditions normales et défectueuses pour chacun défaut considérés . Les valeurs des paramètres caractéristiques nous sont fournies par le modèle Simulink de normalité et de défaut dans chaque cas.

Parameters	Normal condition	case A	case B	case C	case D
I_{pv} [A]	4.738	2.479	2.177e-6	4.677	4.737
V_{pv} [V]	23.68	15.32	1.086e-5	29.12	24.06
P_{pv} [W]	112.2	37.97	2.363e-11	136.2	11.04

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

IV.3. Application de la méthode des réseaux de neurones (RNA) :

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

Echantillon	I _{pv}	V _{pv}	P _{pv}	E (w/m ²)	publier
1	4.651	30.03	139.7	1000	1
2	2.697	12.75	34.4	1000	2
3	2.177e-6	5.741e-5	1.25e-10	1000	3
4	4.677	29.12	136.2	1000	4
5	4.737	24.06	11.04	1000	5
6	3.587	32.69	117.3	800	1
7	2.608	12.08	31.49	800	2
8	2.177e-6	5.741e-5	1.25e-10	800	3
9	3.603	32.45	116.9	800	4
10	3.8	7.022	26.68	800	5
11	2.842	23.36	66.39	600	1
12	2.441	10.63	25.95	600	2
13	2.177e-6	5.741e-5	1.25e-10	600	3
14	2.843	22.77	64.73	600	4
15	2.85	3.093	8.816	600	5
16	0.95	16.41	15.59	200	1
17	0.6394	28.5	18.22	200	2
18	2.177e-6	5.849e-5	1.274e-10	200	3
19	0.95	16.8	15.96	200	4
20	0.9496	15.09	14.33	200	5

Tab .IV.3.: Données collectées pour différentes valeurs d'éclairement dans des conditions de fonctionnement normales et pour différents cas de défaut .

Tab IV-3 présenté ci-dessus sont des données recueillies pour diverses plages d'éclairement énergétique, De même, la simulation a été exécutée au total 20 fois pour obtenir valeurs de tension, de courant et de puissance pour des niveaux d'éclairement allant de 200 à 1000 W/m² comme indiqué dans les Tabx 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 RNA 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 (20) échantillons ont été pris en considération, 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), (05) entrées dans la couche d'entrée, Dix (10) 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 20 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.

(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.

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 Tab IV-5.

Un exemple de jeu de données utilisé pour former le réseau neuronal est présenté dans le Tab 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.

Numéro	Type de défaut
1	Sans faute (état de fonctionnement normal)
2	défaut 1 (cas A)
3	défaut 2 (cas B)
4	défaut 3 (cas C)
5	défaut 4 (cas D)

Tab .IV.4 .: Sortie correspondant au type de défaut

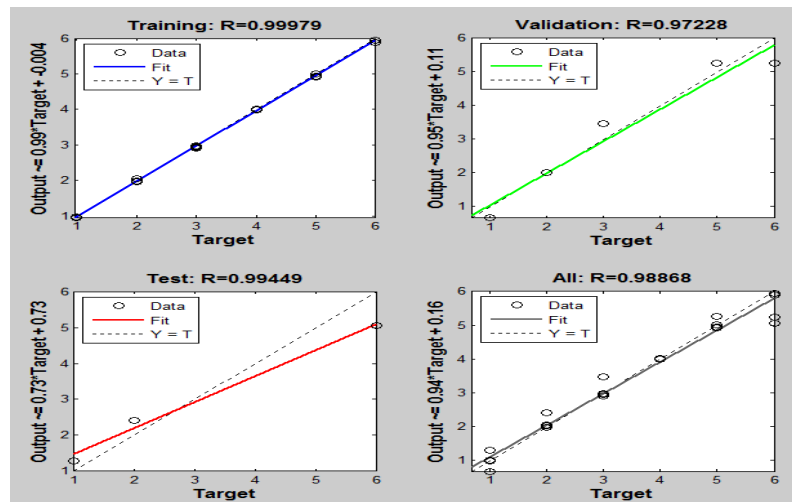


Fig IV.4. Bloc d'apprentissage du réseau de neurones et l'erreur quadratique

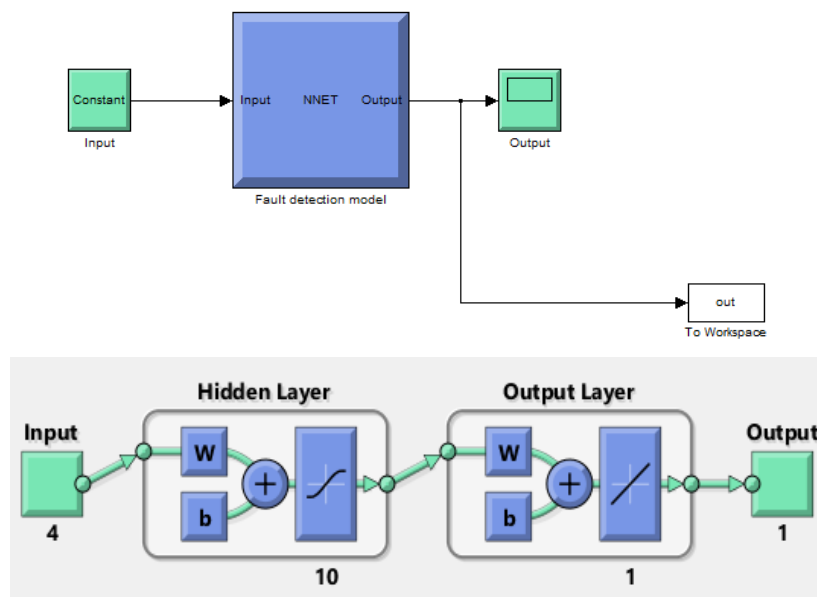
IV.3.3. Détection de fautes :

L'entrée du modèle de détection de défaut est un ensemble de 04 entrées, I_{pv} , V_{pv} , P_{pv} , 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. 5, 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.



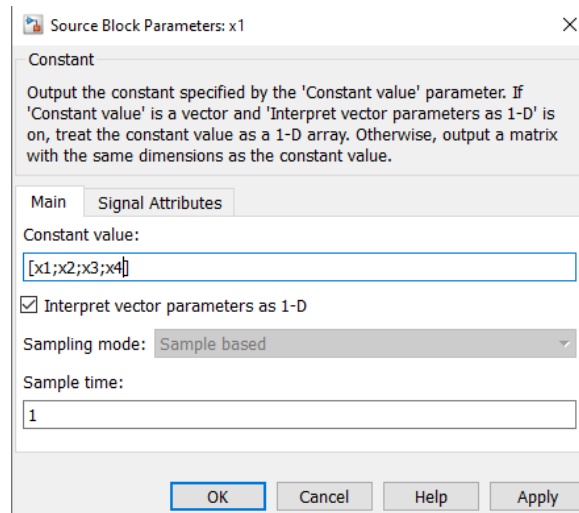


Fig .5. Entrée du modèle de détection de défaut (x1=Ipv,x2=Vpv,x3=Ppv,x4= E).

IV.4. Résultats et discussions :

IV.4.1 05 Entrées du modèle de détection de défaut [Ipv, Vpv, Ppv, 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.

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.

Un ensemble d'entrées est sélectionné au hasard dans l'ensemble de données de test et affecté au modèle de détection de défaut, comme illustré à la Fig IV-8- , La sortie du modèle de détection de défaut , elle apparaît donc dans la fenêtre de commande comme un défaut.

À partir de l'ensemble de données de test, le résultat est une erreur ,et cela est dû à un mauvais apprentissage, comme illustré à la Fig la Fig IV-8 ; Le deuxième ensemble d'entrées est sélectionné au hasard dans l'ensemble de données de test et affecté au modèle de détection de défaut, comme illustré à la Fig IV-9 ; 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 petite différence de tension 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 . 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 Fig IV-10 ; 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 , Ce résultat est vérifié avec la sortie correspondant à l'entrée choisie dans l'ensemble de données de test et s'avère exact. Le quatrième ensemble d'entrées est sélectionné au hasard dans l'ensemble de données de test et affecté au modèle de détection de défaut, comme illustré à la Fig IV-11 ; La sortie du modèle de détection de défaut est 4, elle apparaît donc comme un défaut dégénéré dans la fenêtre de commande, Le résultat est vérifié par rapport à la sortie correspondant à l'entrée sélectionnée dans l'ensemble de données de test et s'avère correct. on cinquième ensemble d'entrées est sélectionné au hasard dans l'ensemble de données de test et affecté au modèle de détection de défaut, comme illustré à la Fig IV-12 ; La sortie du modèle de détection de défaut est 5, Le résultat est vérifié par rapport à la sortie correspondant à l'entrée sélectionnée dans l'ensemble de données de test et s'avère correct.

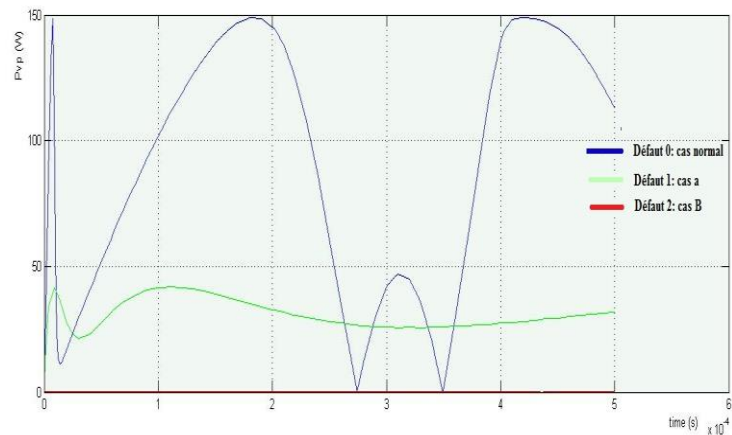


Fig IV.6. du système PV dans différents types de défauts .

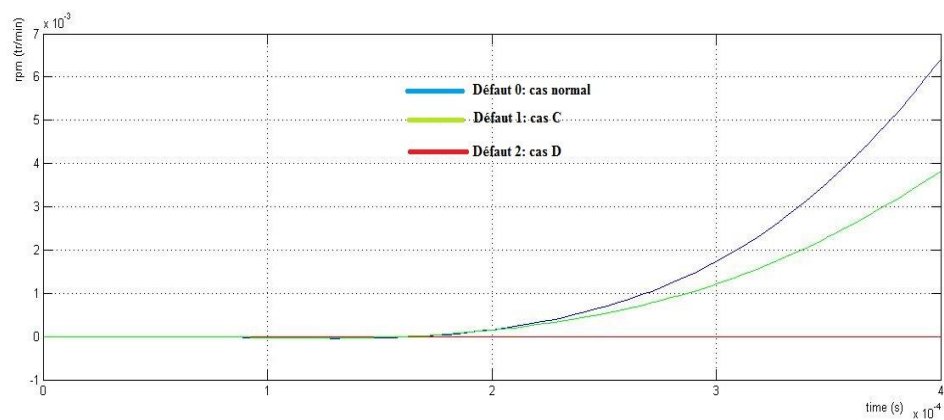


Fig IV.7. Du Motor Dc dans différents types de défauts

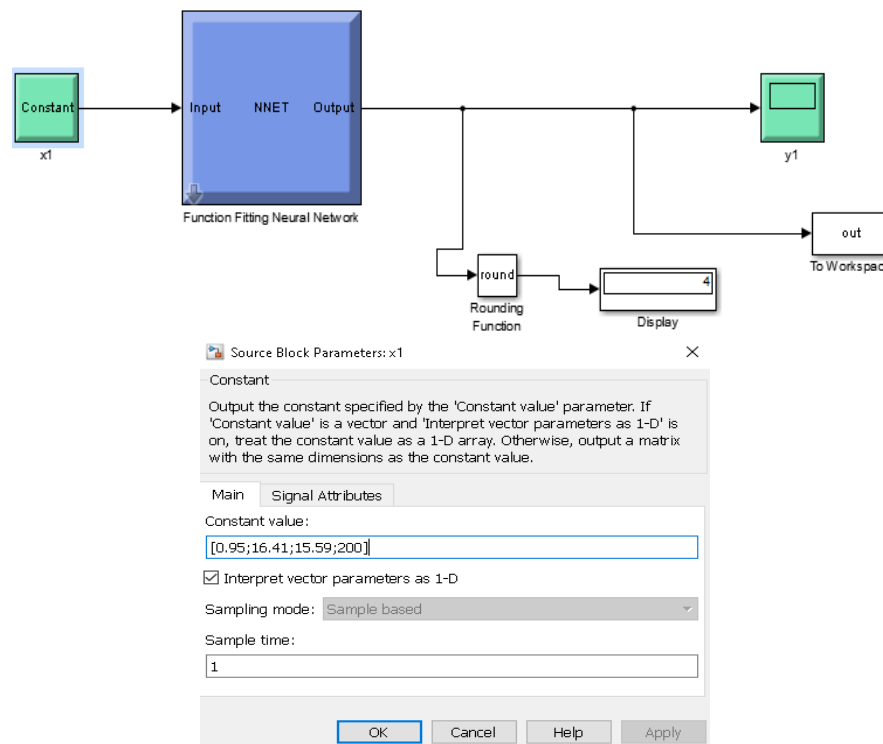


Fig IV.8. Première entrée du modèle de détection de défauts.

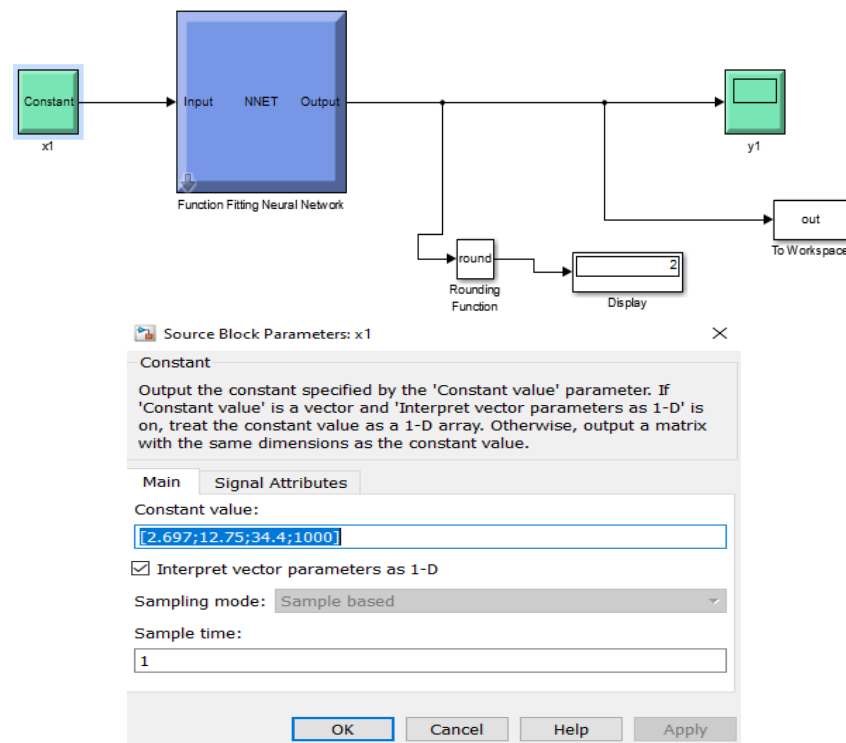
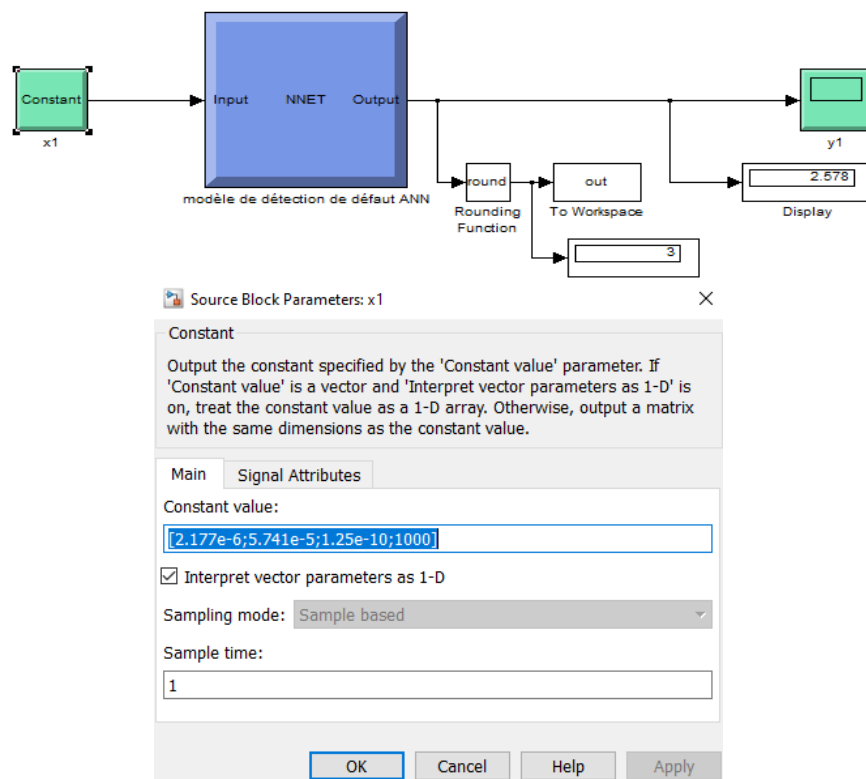


Fig IV.9. Deuxième entrée du modèle de détection de défauts



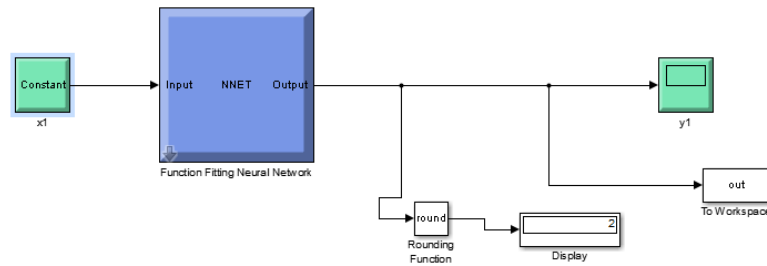


Fig IV.10. Troisième entrée du modèle de détection de défauts.

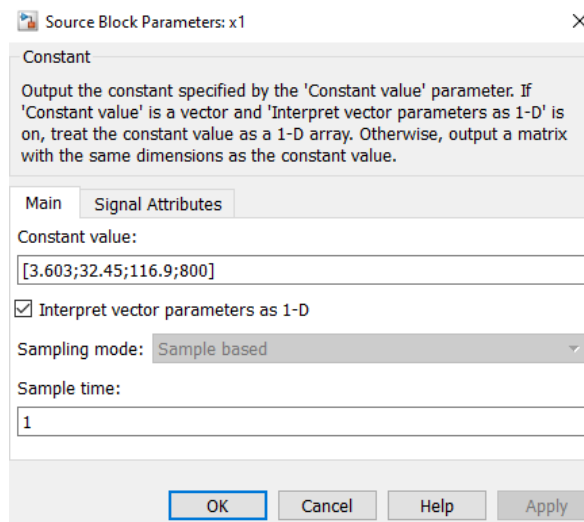
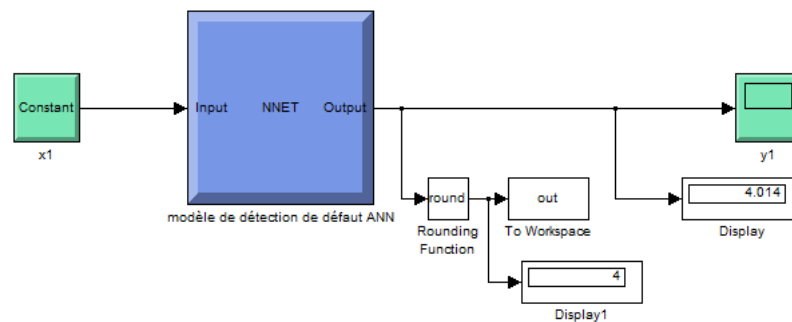
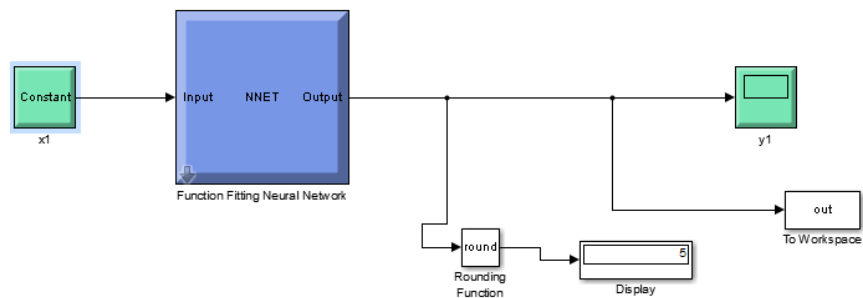


Fig IV.11. Quatrième entrée du modèle de détection de défauts.



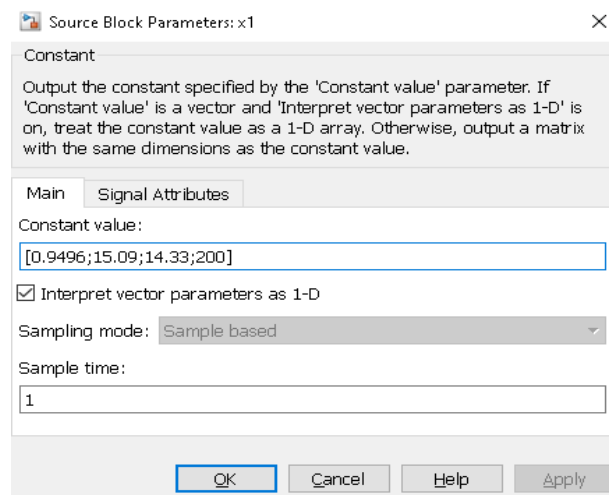


Fig IV.12. Cinquième entrée du modèle de détection de défauts.

IV.5. conclusion :

Par conséquent, on peut conclure à partir des résultats de simulation obtenus que les défauts dans les systèmes photovoltaïques peuvent être clairement identifiés en développant correctement des modèles de détection de défauts. Une collecte de données appropriée est nécessaire pour une détection précise des défauts. , en développant d'abord un modèle de détection de défauts en collectant des données de différentes valeurs d'irradiance et de température, puis en connectant le système photovoltaïque à un système d'acquisition de données (DAQ). DAQ collecte les données des systèmes PV et les transmet aux modèles de détection de défauts. Par conséquent, la puissance de sortie du système photovoltaïque est surveillée en permanence et le type de panne (le cas échéant) est détecté. Plus il y a de données collectées pour former un modèle de détection de défauts, plus la détection de défauts sera précise.

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'énergie photovoltaïque est l'une des sources d'énergie qui intéresse notre pays car

Le désert algérien a une bonne quantité de lumière. Le centre de test est L'installation dans certaines parties du Sahara révèle plusieurs problèmes techniques Cela limite la production de ces plantes.

Pendant le fonctionnement du système photovoltaïque (PV), les cellules photovoltaïques peuvent subir dus à une exposition à des facteurs atmosphériques externes ou à divers Défauts internes, qui peuvent affecter la stabilité du système et réduire son efficacité et ses performances production. Détection efficace et précise des défauts du système photovoltaïque, escorte du système Prévenir les temps d'arrêt ou les pannes tout en augmentant l'efficacité des systèmes PV en Assurer un fonctionnement sûr et réduire les coûts de production d'électricité. Traverser alors,

Dans le cadre de ce diplôme, je me suis particulièrement intéressé à l'investigation diagnostique des pannes des systèmes PV. L'objectif est de développer un algorithme capable de distinguer tous les défauts analysés, grâce à la préservation de la technologie des neurones. Afin d'aboutir au diagnostic dans le cadre de la production d'énergie photovoltaïque, des recherches indispensables ont été menées sur différentes approches théoriques du diagnostic. Grâce à la technologie de l'intelligence artificielle, une procédure basée sur les réseaux de neurones a été lancée pour diagnostiquer la panne du système photovoltaïque. Tout au long de cette étude, la méthode des réseaux de neurones a été appliquée dans le cas de quatre erreurs. Cette méthode nous a également permis d'identifier les défauts en temps réel. Les réseaux de neurones artificiels nécessitent également de grandes bases de données pour estimer les paramètres de sortie avec une excellente précision. Enfin, le diagnostic est réalisé en permettant aux techniques d'intelligence artificielle de mieux détecter les défauts.

Références :

- [1] C. Cai et al., "Enhanced hole extraction by NiO nanoparticles in carbon-based perovskite solar cells," *Electrochim. Acta*, vol. 312, pp. 100–108, 2019.
- [2] 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.
- [3] <https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/la-cellule-photovoltaïque-comment-ca-marche>
- [4] <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/photovoltaïque/comment-fonctionne-le-panneau-solaire-photovoltaïque/fonctionnement-cellule-photovoltaïque/>
- [5] <https://www.lyceedadultes.fr/sitepedagogique/pages/PCTermSpe.html> ECOinfos (Documents Florian Poisson 2020).
- [6] [Angel Cid Pastor. Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques. Micro et nanotechnologies/Microélectronique. INSA de Toulouse, 2006. Français. ff](#)
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] <https://www.yumpu.com/fr/document/read/11216448/protection-dun-generateur-photovoltaïque-socomec>
- [11] http://www.photovoltaïque.guidenr.fr/II_1_constitution-module-photovoltaïque.php [12] snitch, <http://www.docplayer.fr>
- [13] <https://www.voltiat.com/explain-the-work-of-the-mppt-charge-controller/>
- [14] Brahami Mohamed, "Commande PID d'un Moteur à courant continu", Thèse de Master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2009.
- [15] Bounab Alaeddine, "Conception d'une Architecture d'instrumentation en vue de la Modélisation et de la surveillance d'un moteur à courant continu", Thèse de Magister, Université FARHAT ABBAS, SETIF, 2008.

- [16] F. BERNOTN, "Machines à courant continu: Constitution et fonctionnement". D3555 Techniques de l'Ingénieur.
- [17] Q. Kou, S.A. Klein, W.A. Beckman : « A method for estimating the long-term performance of direct-coupled PV pumping systems », Solar Energy, Volume 64, Issues 1–3, September 1998, Pages 33–40.
- [18] M. Akbaba, and al: « Matching Of Separately Excited Dc Motors To Photovoltaic Generators For Maximum Power Output», Solar Energy, Vol. 63, NO. 6, 1998, pp.: 375-385.
- [19] V. C. Mummadi: « Steady State And Dynamic Performances Analysis Of PV Supplied DC Motors Fed From Intermediate Power Converter», Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol-61, 2000, pp.: 365-381.
- [20] A.A. Ghoneim: « Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems». Energy Conversion and Management 47 (2006) 1449–1463.
- [21] M. A. Elgendy, B. Zahawi, Senior Member, IEEE, and D. J. Atkinson: « Comparison of Directly Connected and Constant Voltage Controlled Photovoltaic Pumping Systems». IEEE Transactions on sustainable energy VOL. 1, NO. 3, October 2010.
- [22] 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.
- [23] 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
- [24] 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.
- [25] 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
- [26] J. A. Tsanakas, L. Ha, C. Buerhop. Faults and infrared thermographic diagnosis in operating c-Si photovoltaic modules: A review of research and future challenges. Renewable sustainable energy reviews. Vol 62, pp. 695-709, 2016.
- [27] L. Bun. Détection et localisation de défauts dans un système photovoltaïque. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 2011.
- [28] M. K. Alam, F. H. Khan, J. Johnson, J. Flicker, PV arc-fault detection using spread spectrum time domain reflectometry (SSTDTR). in 2014 IEEE energy conversion congress and exposition (ECCE). 2014. IEEE

- [29] 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.
- [30] T. Takashima, J. Yamaguchi, M. Ishida, Fault detection by signal response in PV module strings. in 2008 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference. 2008. IEEE.
- [31] D. Gaikwad, S. Mehraeen, Reactive power considerations in reliability analysis of photovoltaic systems. in 2012 IEEE Green Technologies Conference. 2012. IEEE
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] Y. Liu, B. Li, Z. Cheng, Research on PV module structure based on fault detection. in Chinese Control and Decision Conference. 2010. IEEE.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] 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).
- [40] H. Abdi. « Les Réseaux de neurones », édition presses universitaires de Grenoble, 1994.
- [41] P.K. Simpson. « Artificial Neural Systems », Pergmon Press Elmsford, New York, 1989.
- [42] 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.

- [43] A. Zergaoui and A. Bennis, "Identification and control of an asynchronous machine using neural networks," *Proc. IEEE Int. Conf. Electron. Circuits, Syst.*, vol. 2, pp. 1043–1046, 1999.
- [44] 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.
- [45] 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.
- [46] 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.
- [47] 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.
- [48] 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.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [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) 914 – 923
- [52] 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