



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS
MOSTAGANEM



كلية العلوم والتكنولوجيا
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GENIE ÉLECTRIQUE

N° d'ordre : M...../GE/2022

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Par

BOUZANA Sanaa

BENZAKHROUFA Kamel

Intitulé du sujet

Diagnostic de Pannes dans un Système Photovoltaïque

Soutenu le 14 / 07 / 2022 devant le jury composé de :

Président :	MESKINE Saïd	MCA	Université de Mostaganem
Examinatrice :	NEDDAR Houaria	MCA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	BENYAMINA Mansour	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2021/2022

Remerciement

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué dans le département de Génie électrique spécialité électrotechnique Industriel de l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.

Nos remerciements, avant tout, à DIEU tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant ces longues années d'études afin qu'on puisse arriver à ce stade.

On tient à souligner l'estime que nous portons à Mr. BENYAMINA Mansour Professeur à l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, pour son soutien et son encadrement scientifique qui nous ont été bénéfiques pour mener à bien ce travail.

On tient à remercier plus particulièrement le jury d'avoir accepté de jugé ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma chère mère et mon honorable père pour leur soutien, leur aide leur patience et leur amour.

A toutes mes enseignants

Toute ma famille

Tous mes amis

A toutes mes collègues chacun par son nom

A chaque personne qui m'a aidée.

BOUZANA Sanaa

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à mes parents que dieu les gardes et les protèges.

A mes adorables sœurs et frères

A mes amis.

A tous ceux qui me sont chères.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que j'aime.

Je dédie ce travail.

Sommaire

Liste des symboles et abréviations	I
Introduction générale	3

Chapitre I : Système Photovoltaïque

I.1	Introduction	5
I.2	Irradiation Solaire	5
	I.2.1.Masse d'air	7
	I.2.2.Mesure de l'irradiation solaire	8
I.3	Présentation d'énergie renouvelable solaire	9
	I.3.1.Effet photovoltaïque	9
	I.3.2.Les différents types des cellules photovoltaïques	9
	I.3.3.Les modules photovoltaïques	10
I.4	Les différents panneaux solaires	11
	I.4.1.LE PANNEAU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	11
	I.4.2.Panneau solaire thermique et thermo dynamique	12
I.5.	Constitution d'un panneau solaire photovoltaïque	12
	I.5.1.Cellule solaire photovoltaïque	12
	I.5.2.Association des cellules photovoltaïque	13
	I.5.3.Modules et générateurs photovoltaïque	13
	I.5.3.1.Implantation des champs photovoltaïque	14
	I.5.3.2. Les configurations des systèmes photovoltaïques	16
I.6	La matrice de cellule	16
I.7	Les constituants d'un module PV	17
I.8	Protection d'un générateur photovoltaïque	18
	I.8.1.Protection d'un générateur photovoltaïque contre les chocs électriques	18
	I.8.2.Protection contre les contacts directs	18
	I.8.3.Protection contre les contacts indirects	18
	I.8.4.Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surtensions	18
	I.8.5.Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités	19
	I.8.5.1.Ombrage d'un générateur	19
	I.8.5.2.Nécessité de protection contre les courants inverses	20
	I.8.5.3.Diode de by-pass	21
	I.8.5.4.Diode anti-retour	22
I.9	Conclusion	22

Chapitre II : Modélisation de system photovoltaïque

II.1	Introduction	24
II.2	Modélisation du panneau photovoltaïque	24
II.3	Modélisation du générateur photovoltaïque(GPV)	27
II.4	Modélisation d'une cellule photovoltaïque	31
	II.4.1 Cas d'une cellule idéale	31
	II.4.2 Cas d'une cellule réelle	32

II.5	Conclusion	33
------	------------	----

Chapitre III : Les défauts et méthode de diagnostic de système photovoltaïque

III.1	Introduction	36
III.2	Défauts du système photovoltaïque	36
	III.2.1. Les défauts les plus fréquents rencontrés dans un champ PV	36
	III.2.1.1. Défauts dans le générateur PV	37
	III.2.1.2. Défauts dans la boîte de jonction	40
	III.2.1.3. Défaut dans le système de câblage	41
	III.2.1.4. Défauts dans le système de protection	42
	III.2.1.5. Défauts dans l'onduleur	44
	III.2.2. Défauts des cellules PV	44
	III.2.3. Défauts des diodes PV	45
	III.2.4. Défauts des câbles PV	45
	III.2.5. Défaut de mismatch et d'ombrage	45
	III.2.5.1. Définition	45
III.3	Diagnostic des défauts dans un système photovoltaïque	46
	III.3.1. Définition du diagnostic	46
	III.3.3. But du diagnostic industriel	46
	III.3.4. Etape de diagnostic	46
	III.3.5. Objectifs	47
	III.3.6. Architecture de diagnostic	48
III.4	Conclusion	49

Chapitre IV : Détection et classification de défauts pour un GPV (simulation)

IV.1	Introduction	51
IV.2	Simulation du GPV en fonctionnement sain	51
IV.3	Simulation du GPV en fonctionnement défaillant	53
	IV.3.1 Génération des défauts dans un système PV	53
	IV.3.2 Détection et classification des différents défauts	54
	IV.3.2.1. Détection et classification d'un défaut 'Rs'	55
	IV.3.2.2 Détection et classification d'un défaut 'Ns'	56
	IV.3.2.3 Détection et classification d'un défaut 'ombrage'	57
	IV.3.3. Application de la méthode des réseaux de neurones (ANN)	58
IV.4	Conclusion	59
	Conclusion générale	61

Résumé: Comme tout processus industriel, un système photovoltaïque peut être soumis, au cours de son fonctionnement, à différents défauts et anomalies conduisant à une baisse de la performance du système et voire à son indisponibilité. Permettre de diagnostiquer finement et de faire de la détection et de localisation de défauts dans une installation photovoltaïque réduit les coûts de maintenance et surtout augmente la productivité. Dans ce travail, nous nous intéressons spécifiquement à la détection et la classification de défauts d'un générateur photovoltaïque (GPV) en utilisant l'approche neuronale.

Mots clés: diagnostic – générateur photovoltaïque – détection et la classification de défauts – réseaux de neurones.

ملخص: مثل أي عملية صناعية ، يمكن أن يتعرض النظام الكهروضوئي ، أثناء تشغيله ، لأعطال وشدوذ مختلفة تؤدي إلى انخفاض أداء النظام وحتى عدم توفره. إن السماح بالتشخيص الدقيق والكشف عن الأعطال وتحديد موقعها في التركيب الكهروضوئي يقلل من تكاليف الصيانة وقبل كل شيء يزيد الإنتاجية. في هذا العمل ، نحن مهتمون بشكل خاص باكتشاف وتصنيف عيوب المولد الكهروضوئي (GPV) باستخدام النهج العصبي.

الكلمات المفتاحية: الكهروضوئي - النظام- التشخيص - النهج العصبي.

Symboles et abréviations

DC-DC : direct curent- direct curent.

GPV : générateur photovoltaïque.

PV : photovoltaïque.

I_{mpp} : Courant au point de puissance maximale.

V_{mpp} : Tension au point de puissance maximale.

I_{sc} : Courant en court-circuit.

V_{oc} : Tension en circuit ouvert.

ΔT_c : Représente la variation de la température.

ΔI_{pv} : Représente la variation du courant par rapport à l'insolation et à la température.

ΔV_{pv} : Représente la variation de la tension par rapport à l'insolation et à la température.

α_{sc} : Représente un coefficient de température.

β_{oc} : Représente un coefficient de température.

I : Le courant délivré par le module.

I_d : Courant de la diode.

I_{sh} : Le courantshunt.

T_a : Température ambiante.

N_{oct} : Condition de température nominale.

I_{sat} : Courant de saturation.

E : L'éclairement absorbé par la cellule.

E_{ref} : L'éclairement de référence (1000 w/m²).

V_t : Tension thermique.

N : Facteur d'idéalité de la photopile.

K : Constant de Boltzmann (1,38.10⁻²³J/K).

q : Charge de l'électron (1,6.10⁻¹⁹C).

E_s : En soleillement dans le plan des panneaux (W/m²).

T_j : Température de jonction des cellules (°C).

Introduction Générale

Introduction générale

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est une énergie durable, non polluante et inépuisable qui peut être une énergie alternative aux énergies fossiles. Elle occupe une importante place dans le domaine de la recherche afin de faire face aux besoins futurs en matière d'énergie. Actuellement, la technologie de fabrication du module PV a considérablement évolué en qualité et en coût de production. Le marché mondial de solaire PV a augmenté de 5 MW en 1982 pour atteindre 93 GW en 2021. [1]

L'évaluation précise et cohérente de performances des systèmes photovoltaïques est cruciale pour un développement durable de l'industrie car elle est considérée, comme un critère essentiel qui leur permet de définir la qualité de leurs produits. Dans le domaine de la recherche et du développement, l'évaluation du rendement est un critère fondamental pour la qualité des produits.

En plus, il est un indicateur essentiel pour identifier les défis à venir. En outre, une procédure effective d'évaluation de fonctionnement et de l'entretien du programme permet à la production des systèmes photovoltaïques d'atteindre son niveau attendu d'efficacité, ce qui rendra par conséquent de tels systèmes plus fiables.

Les défauts que l'on peut retrouver sur une installation photovoltaïque, surviennent autant lors de sa conception, de son installation, que lors de son exploitation, ces défauts réduisent les performances de système photovoltaïque autonome, ce qui affecte la production photovoltaïque.

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

Dans le premier chapitre on a fait une description détaillée des systèmes photovoltaïques. Il s'agit d'abord de relater l'effet photovoltaïque et plus précisément le phénomène physique exploité pour générer une énergie électrique tout en passant par la fabrication des cellules et module photovoltaïques, et les composants principaux qui le constituent. Toutefois l'aspect économique n'est pas mis aux oubliettes afin de donner une idée générale sur le cout totale d'un système photovoltaïque complet et la nécessité de faire un diagnostic [10].

Dans le deuxième chapitre, on a abordé la modélisation du système photovoltaïque. Le

choix du modèle de la cellule PV du module PV et la modélisation du générateur PV.

Le troisième chapitre est un exposé détaillé des méthodes de diagnostic des défauts dans les générateurs PV afin de connaître les défaillances qui peuvent existés dans ces générateurs.

Le quatrième et le dernier chapitre est consacré aux résultats de la simulation de pannes sur un GPV dont nous avons choisis trois types de défauts.

Ce travail s'achèvera par une conclusion générale, et une bibliographie de chaque chapitre qui regroupe l'ensemble des documents consultés au cours du travail réalisé

Chapitre I : Systèmes photovoltaïques

I.1. Introduction

Au niveau mondial, le marché des systèmes photovoltaïques connaît, depuis maintenant plus de 10 ans, un taux de croissance très élevé, de l'ordre de 30 à 40% par an. Cette croissance exceptionnelle, due principalement aux systèmes photovoltaïques raccordés au réseau de distribution d'électricité, se traduit bien évidemment par des innovations technologiques et une baisse de coûts des modules photovoltaïques mais aussi à des efforts importants de recherche et développement dans le domaine de l'électronique de puissance. En effet, les performances techniques pour le raccordement des modules photovoltaïques au réseau de distribution d'électricité, sont des paramètres qui peuvent très fortement faire varier la production d'énergie électrique annuelle et donc la rentabilité financière d'un système

I.2. Irradiation Solaire

La principale source d'énergie dont nous disposons est le soleil. Cette immense source d'énergie située à environ 150 millions de kilomètres de la terre, elle émet un rayonnement électromagnétique qui peut être assimilé, en première approximation, à celui d'un corps noir (parfaitement émissif et parfaitement absorbant) à une température de 5750° K. [2]

La radiation solaire se propage dans l'espace sous forme d'ondes électromagnétiques, et qui arrive à la surface de la terre après huit minutes de son point de départ. Afin de quantifier l'énergie reçue au niveau de la surface terrestre, il est nécessaire de connaître les différentes composantes de l'irradiation solaire.

En effet, quatre composantes de l'irradiation ont été répertoriées dans la littérature.

- *L'irradiation directe* : c'est l'irradiation reçue directement du Soleil au sol.
- *L'irradiation diffuse* : c'est due à l'absorption et à la diffusion d'une partie de l'irradiation solaire globale par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages et les aérosols.
- *L'irradiation réfléchie (l'albédo) du sol* : c'est l'irradiation qui est réfléchie par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige, etc....).
- *L'irradiation globale* : c'est la somme de toutes les irradiances reçues à la surface

terrestre.

Dans la figure I.1 ci-dessous, il est schématisé l'ensemble des irradiations solaires reçu sur une surface terrestre. [2]

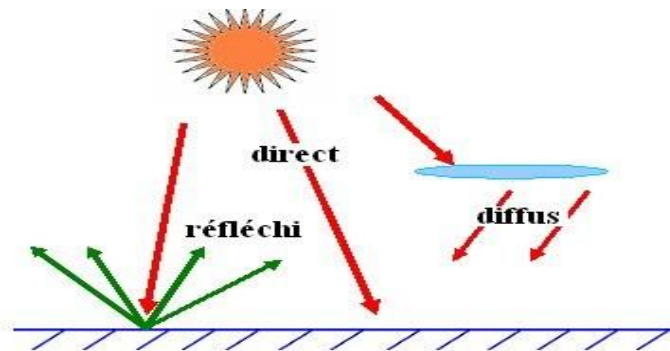


Figure (I.1): Types d'irradiation solaire reçus sur une surface plane.

L'intensité du rayonnement solaire reçu sur un plan quelconque à un moment donné est appelée éclairement (noté généralement par la lettre G), il est exprimé en watts par mètre carré (w/m^2). [2]

La valeur de l'éclairement reçu sur la surface du module photovoltaïque varie selon la position de ce dernier. L'éclairement solaire atteint son intensité maximale lorsque le plan du module photovoltaïque est perpendiculaire aux rayons du Soleil.

Dans les figures ci-après figure I.2 et I.3 est illustré l'effet de l'inclinaison des modules photovoltaïques sur l'intensité du rayonnement reçu sur leurs surfaces du lever au coucher du soleil.

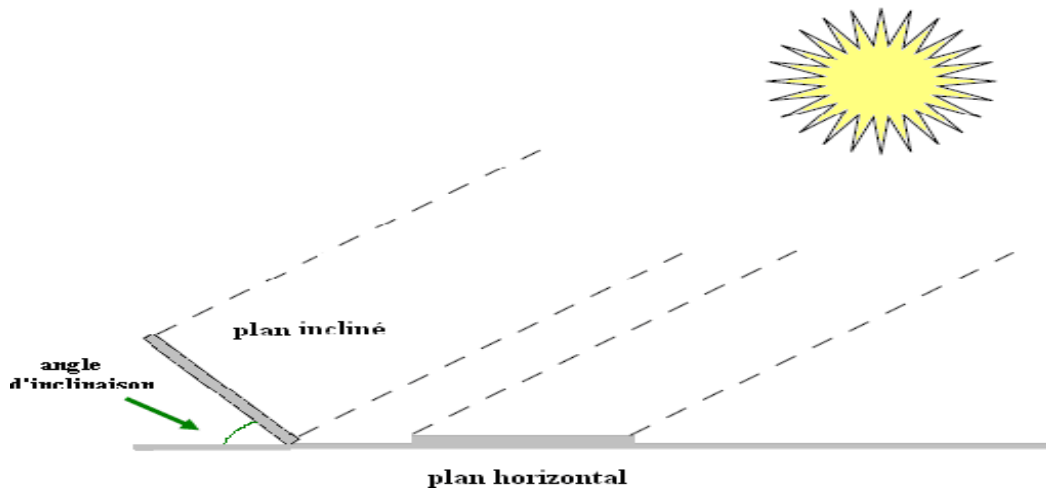


Figure (I.2): Eclairage solaire reçu sur un plan horizontal et incliné.

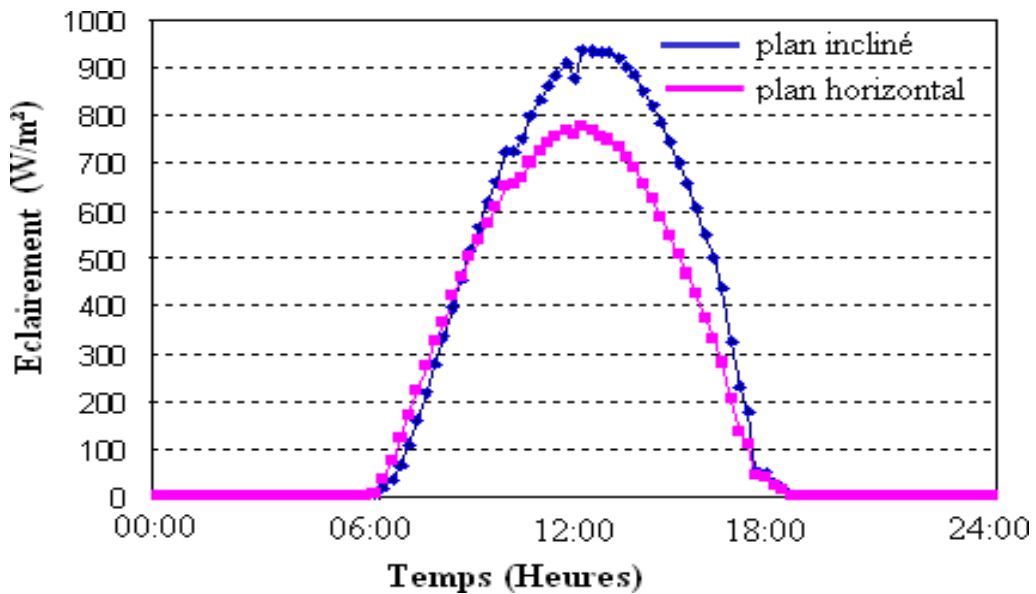


Figure (I.3): Eclairage (w/m²) de l'ensoleillement reçu sur un plan Horizontale et incliné.

I.2.1. Masse d'air

On appelle masse d'air (AM), la perte de l'énergie solaire par l'absorption atmosphérique. Elle est donnée en fonction de l'angle entre le soleil et le zénith. [2]

$$AM \approx \frac{1}{\sin \theta} \tag{I-1}$$

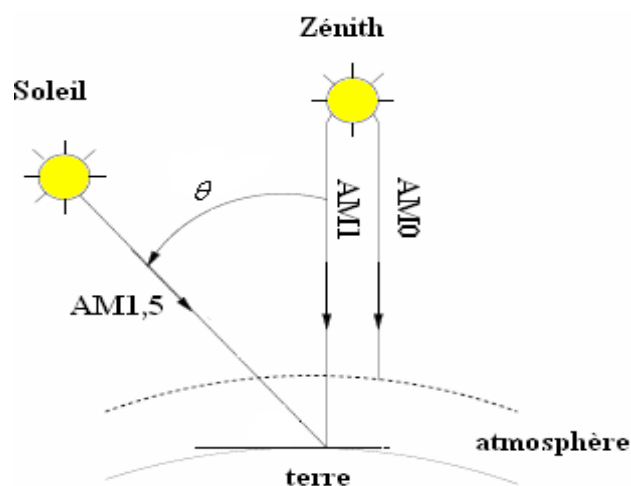
θ : L'angle entre l'incidence des rayons lumineux et l'horizontale à la Terre.

Spectre AM_0 : il correspond à la masse d'air arrivant au-dessus de l'atmosphère (hors atmosphère). Il correspond à la puissance 1367 W/m^2 . Ce spectre est utilisé pour les applications spatiales.

Spectre AM_1 : il correspond à la masse d'air arrivant perpendiculairement à la surface de la terre.

Spectre $AM_{1,5}$: il correspond à un rayonnement arrivant à un angle d'inclinaison du soleil de $48,19^\circ$ par rapport au zénith. La puissance correspondante au spectre $AM_{1,5}$ est de 1000 W/m^2 . C'est le spectre le plus couramment utilisé. Le nombre "1.5" indique que le parcours de la lumière dans l'atmosphère est de 1.5 fois supérieur au parcours le plus court du soleil, c'est-à-dire lorsqu'il est au zénith.

La description de nombre d'air masse (AM) est représentée ci-dessous figure I.4.



Figure(I.4): Description du nombre de masse d'air.

I.2.2. Mesure de l'irradiation solaire

Le Pyranomètre est un appareil qui mesure l'irradiation solaire sur le plan des modules ainsi que sur une surface horizontale. Cet appareil est généralement fixé à proximité des modules PV figure I.5. [2]



Figure (I.5): Mesure de l'irradiation par un pyromètre

I.3. Présentation d'énergie renouvelable solaire

I.3.1. Effet photovoltaïque

Les photopiles ou cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité. Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs.

Le matériau de base est dans la plupart des cas le silicium. Selon le procédé de fabrication, on obtiendra des photopiles plus ou moins performantes, sous forme amorphe, poly-cristallin, ou monocristalline. D'autres matériaux sont utilisables : Arséniure de Gallium, Tellurure de Cadmium.

I.3.2. Les différents types des cellules photovoltaïques:

- **Les cellules monocristallines**

- ✓ La première génération de photopiles;
- ✓ Un taux de rendement excellent (12-16%) (23% en Laboratoire)
- ✓ Une méthode de fabrication laborieuse et difficile, donc très chère
- ✓ Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir du cristal pur

- **Les cellules poly-cristallines**

- ✓ Coût de production moins élevé

- ✓ Procédé nécessitant moins d'énergie
- ✓ Rendement 11-13% (18% en Labo)
- **Les cellules amorphes** (cellules de calculatrices par exemple)
 - ✓ Coût de production bien plus bas;
 - ✓ Rendement plus bas : 8-10% (13% en labo);
 - ✓ Durée de vie plus faible.

C'est le silicium amorphe que l'on trouve le plus souvent dans les produits de consommation comme les calculatrices, les montres etc. ... Toutefois, ils réagissent mieux à des températures élevées ou à une lumière diffuse.

De plus, les cellules mono et poly-cristallines sont les types de cellules les plus répandues sur le marché du photovoltaïque (environ 60% de la production).

Cellule de silicium monocristallin Cellule de silicium poly cristallin Cellule en silicium amorphe



Figures (I.6): Les différents types cellules photovoltaïques.

I.3.3. Les modules photovoltaïques

Le module est l'élément principal d'une installation photovoltaïque. Il est composé de plusieurs cellules qui sont reliées entre-elles par un circuit électrique.

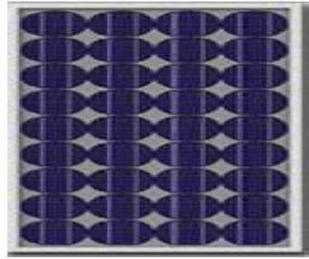


Figure. (I.7) : Module photovoltaïque.

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau). Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension.

La plupart des modules commercialisés sont composés de 36 cellules en silicium cristallin, connectées en série pour des applications en 12 V. Le courant de sortie, et donc la puissance, sera proportionnelle à la surface du module.

L'interconnexion de modules entre eux - en série ou en parallèle - pour obtenir une puissance encore plus grande, définit la notion de champ photovoltaïque. Le générateur photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs. [4]

I.4. Les différents panneaux solaires

I.4.1. Le panneau solaire photovoltaïque

Le panneau solaire ou (générateur photovoltaïque) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le panneau solaire avec un angle d'inclinaison spécifique [4].



Figure (I.8) : panneau solaire [4]

I.4.2. Panneau solaire thermique et thermo dynamique

a) domestique (thermique)

Le principe de ce système est d'utiliser un fluide caloporteur. Le fluide est chauffé dans des panneaux exposés au soleil.

Ce fluide transmet sa chaleur à l'eau à usage domestique dans des échangeurs.

b) Industriel (thermodynamique)

On désigne par une centrale thermodynamique l'ensemble des techniques qui visent à transformer l'énergie rayonnée par le soleil en chaleur à température élevée. L'eau chauffée par la température est transformée en vapeur, envoyée dans une turbine .un alternateur, lié à la turbine, produit alors de l'électricité.

I.5. Constitution d'un panneau solaire photovoltaïque:

I.5.1. Cellule solaire photovoltaïque:

Le phénomène physique dont lequel est basé la cellule photovoltaïque se nomme « effet photovoltaïque».Lorsquelasurfacedelacelluleestexposéeàlalumièruneforceélectromotriceapparaît. L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau diffusent dans le matériau . La zone initialement dopée devient chargée positivement, et la zone initialement dopée chargée négativement.

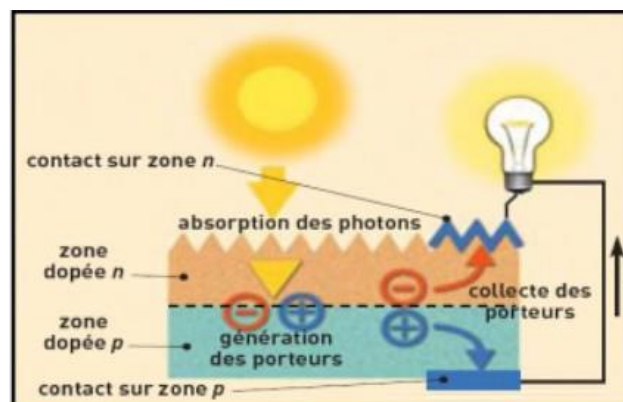


Figure (I.9) : cellule solaire photovoltaïque

Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p . Une jonction (dite $p-n$) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p , une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p *via* la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel: le courant électrique circule [5].

I.5.2. Association des cellules photovoltaïque

a) Association en série

L'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'un seul module.

b) Association Parallèle

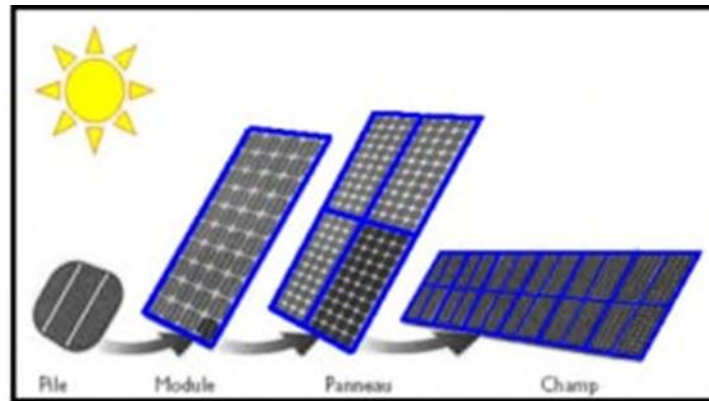
L'association en parallèle des photopiles délivre un courant égal à la somme des courants individuels et une tension égale à celui d'un seul module.

c) Association mixte (Série + Parallèle)

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, on est obligé d'utiliser un groupement mixte, c'est à dire Série-Parallèle. [5]

I.5.3. Modules et générateurs photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont connectées en série afin d'augmenter la tension d'utilisation. La tension nominale du module est habituellement adaptée à la charge de 12V et les modules auront donc généralement 36 cellules. De plus, la fragilité des cellules au bris et à la corrosion exige une protection envers leur environnement et celles-ci sont généralement encapsulées sous verre ou sous composé plastique. Le tout est appelé un module photovoltaïque. Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation. Tandis que pour le générateur photovoltaïque, il est constitué d'un ensemble de modules rangés sous forme de panneaux, dont les caractéristiques sont connues, La structure topologique du générateur est composée d'un nombre de modules séries N_s et d'un nombre de modules parallèle les N_p . En fonction de la puissance désirée, les panneaux eux-mêmes peuvent être assemblés pour constituer le générateur photovoltaïque. Toutefois, il importe de prendre quelques précautions car l'existence de cellules moins efficaces ou l'occlusion d'une ou plusieurs cellules (dues à de l'ombrage, de la poussière, etc.) peuvent endommager les cellules de façon permanente.



Figure(I.10) : de la cellule vers le champ photovoltaïque.

I.5.3.1 Implantation des champs photovoltaïque

L'implantation du panneau solaire nécessite de respecter certains choix et critères qui maximisent les performances :

a) Orientation du champ de modules

Une orientation sud dans l'hémisphère Nord procure un maximum d'ensoleillement dans la journée.

b) Inclinaison des modules

Une inclinaison optimale permet d'optimiser la production des panneaux solaires pendant le mois le moins ensoleillé, pour les régions tempérées ou l'hiver est la plus mauvaise période l'inclinaison est souvent la latitude +10°. [5]

c) L'ombre portée sur le champ de modules

Relevé de profils d'ombre sur le site est primordial au démarrage du projet afin de contrôler la qualité de l'ensoleillement.

d) La distance modules-batteries

En courant continu basse tension, les chutes de tension peuvent être importantes. Une distance importante entre les modules et la batterie peut rendre nécessaire la pose de câble de section importantes (10 ou 16 mm² voir plus). Il faut donc limiter au maximum la distance entre le champ de modules et les usages en courant continu. [5]

e) Influence des conditions climatiques

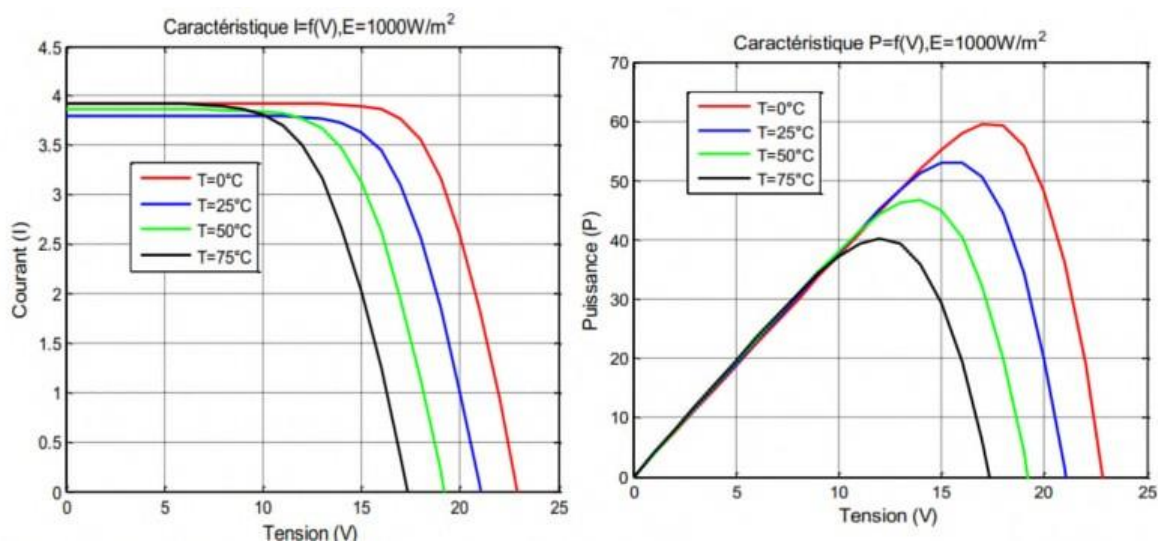
Certaines grandeurs liées aux conditions climatiques telles que la température et

l'ensoleillement agissent de façon directe sur la puissance du générateur photovoltaïque modifiant ainsi les caractéristiques courant-tension et puissance-tension.

f) Influence de la Température

La température est un paramètre important dans le comportement du générateur photovoltaïque.

La figure I.11 montre que l'augmentation de la température entraîne une diminution nette de la tension de circuit ouvert et une augmentation du courant de court-circuit, ainsi qu'une diminution de la puissance maximale. [5]



Figure(I.11) : influence de la température sur les caractéristiques I(V) et P(V) d'un panneau PV.

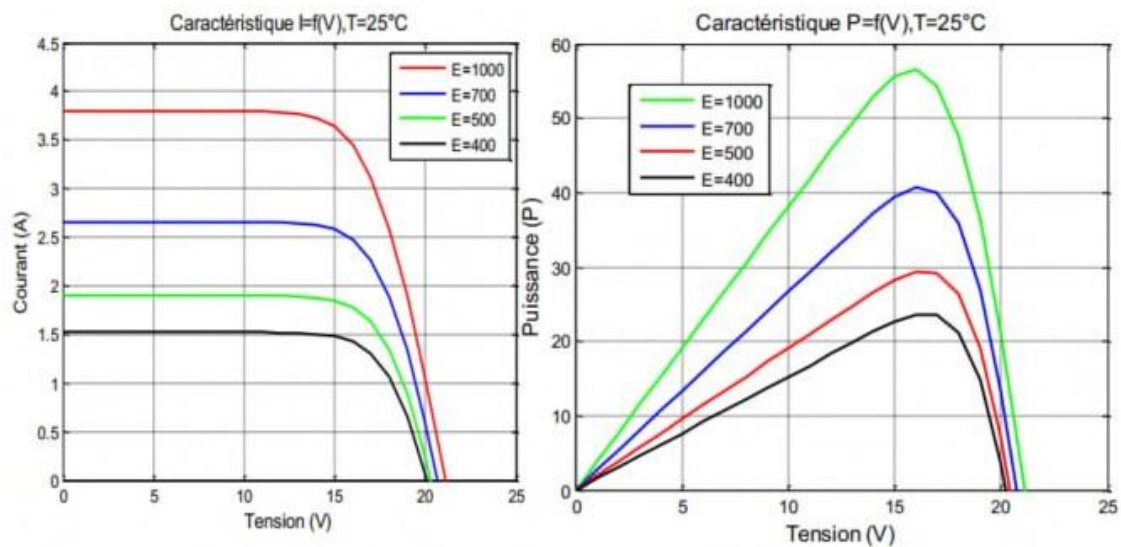
g) Influence de l'ensoleillement:

L'augmentation de l'éclairement est directement proportionnelle à l'intensité du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairement. [5]

La figure I.12 montre que la puissance maximale produite par la cellule est proportionnelle au rayonnement solaire. C'est un paramètre extrêmement influant sur le point de fonctionnement de la cellule solaire. En effet, il est reporté que il' en soleillement

Augmente, l'intensité du courant croit, d'où production de puissance électrique plus

importante. [5]



Figure(I.12) : influence de l'éclairement sur les caractéristiques électriques $I(V)$ et $P(V)$ d'un panneau PV.

I.5.3.2 Les configurations des systèmes photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques sont classés en trois types : systèmes autonomes, systèmes hybrides et systèmes reliés au réseau. Le type de systèmes dépend des besoins, de l'emplacement et du budget. [5]

I.6 La matrice de cellule

Dans un module, les cellules sont arrangées en série. Après que les cellules soient finies, des riblons de cuivre avec de l'étain sont soudés à un barre bus sur la face avant figure I-13.

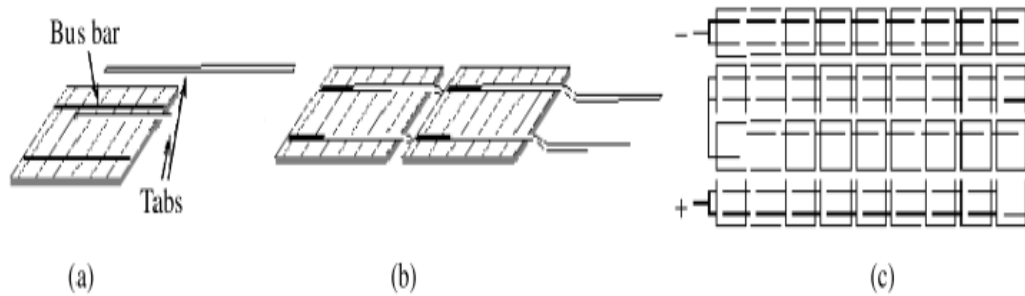


Figure (I.13): (a) interconnexion de la cellule avec la languette ; (b) deux cellules en série ;(c)matrice de 36 cellules connectées en série [5].

I.7. Les constituants d'un module PV

Le tableau des cellules doit être proprement encapsulé pour des opérations extérieures fiables pour plus de 20 ans, faire attention aux facteurs comme la rigidité pour résister à la charge mécanique, la protection contre les agents climatiques et l'humidité, et, l'isolation électrique pour la sécurité des personnes [5].

Les différentes couches qui constituent le module sont empilées. Une structure de base est esquissée dans la figure I-14.

Un verre épais de 2 à 3 mm est utilisé pour protéger le module pendant qu'il laisse la lumière le traverser. Des modules modernes utilisent le verre avec du cérium qui absorbe les radiations UV et augmente le rendement. Un verre traité doit être employé pour augmenter la résistance aux impacts externes.

La matrice des cellules est encapsulée entre deux couches de thermoplastique.

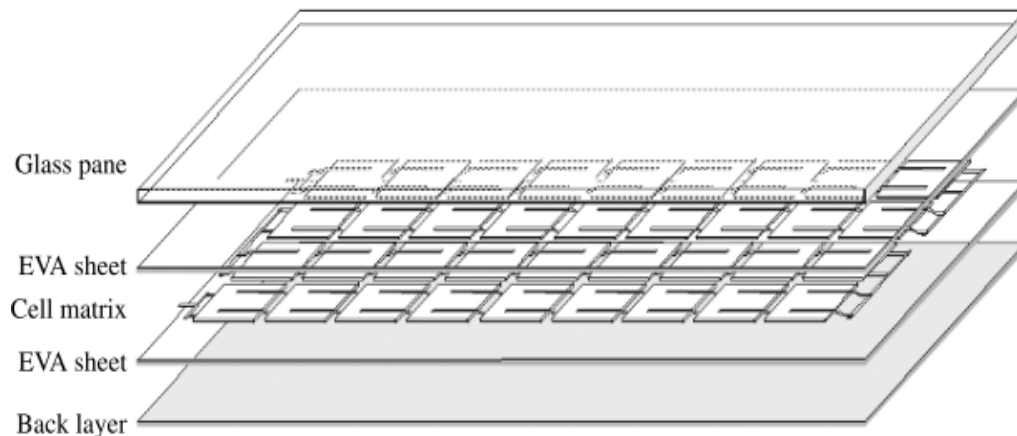


Figure (I.14): les différentes couches constituant un module PV [5].

I.8. Protection d'un générateur photovoltaïque

Comme pour les autres centrales électriques, il existe plusieurs sortes de protection pour une installation photovoltaïque: protection des intervenants, protection contre la foudre, protection du générateur PV. [10]

I.8.1. Protection d'un générateur photovoltaïque contre les chocs électriques

Ce type de protection inclue la protection contre les contacts directs, la protection contre les contacts indirects, comme il est expliqué dans les deux paragraphes suivants:

I.8.2. Protection contre les contacts directs

Les matériels PV partie courant continu doivent toujours être considérés comme sous tension et disposer de protection par isolation des parties actives ou par enveloppe. [10]

I.8.3 Protection contre les contacts indirects

Les modes de protection doivent intégrer les dispositions mises en œuvre côté D.C et

A.C. ainsi que la présence ou non d'une séparation galvanique par transformateur entre les parties D.C. et A.C. [10]

I.8.4. Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surtensions

Les surtensions sont présentes de plusieurs manières dans une installation PV. Elles peuvent être ;

1. transmises par le réseau de distribution et être d'origine atmosphérique (foudre)

- et/ou dues à des manœuvres,
2. générées par des coups de foudre à proximité des bâtiments et des installations PV, ou sur les paratonnerres des bâtiments,
 3. générées par les variations de champ électrique dues à la foudre.

En règle générale, un système de protection contre la foudre destiné à un générateur PV se compose des éléments suivants : [10]

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

I.8.5. Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités

Le générateur PV comme toutes autres générateurs d'énergie électrique doit être protégé contre les surintensités, et autres types de problèmes.

I.8.5.1. Ombrage d'un générateur

L'ombrage partiel d'une cellule va forcer cette dernière à travailler dans le quadrant Q3 (voir figure I-11), c'est-à-dire d'inverser la polarité de la tension de l'élément et de l'élever au seuil tension inverse de la jonction ($U_C \approx -15 \text{ V}$ à -25 V). La puissance absorbée par les cellules à l'ombre dépasse très nettement la puissance normalement dissipée et provoque des points chauds.

Les points chauds peuvent endommager définitivement le module PV. Une protection contre les surintensités est sans effet, car l'augmentation de la puissance à dissiper est liée à l'apparition d'une tension inverse dans la cellule affectée et non à une augmentation significative du courant *ISC*.

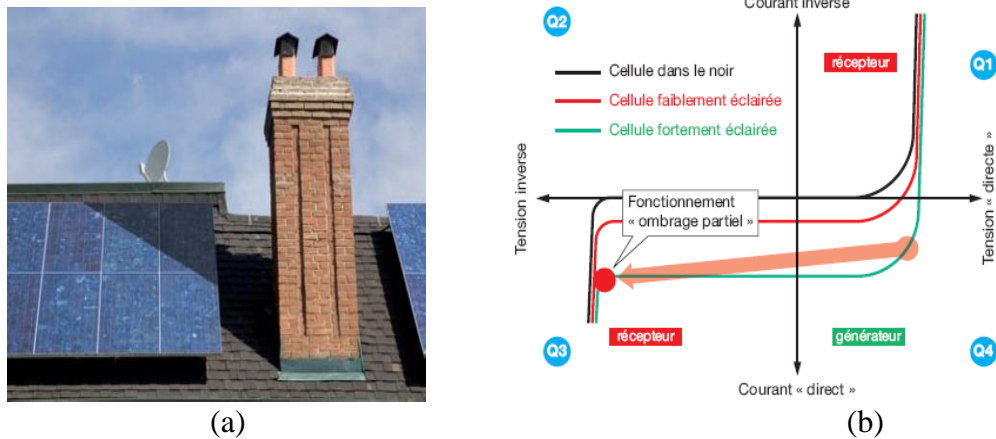


Figure (I.15) :(a) ombrage des panneaux par un cheminé de la maison, (b) fonctionnement de la cellule dans le 3^{ème} quadrant de la caractéristique I-V, à cause de l'ombre.

Une diode By-pass va, en permettant au courant des autres éléments en série de contourner la cellule « ombrée » Figure I.16 :

1. Eviter la surtension inverse ainsi que les points chauds liés à cet ombrage,
2. laisser les autres cellules non ombragées de la chaîne générer leur courant normal, à la place du courant sensiblement égal au courant réduit fourni par la cellule ombragée.

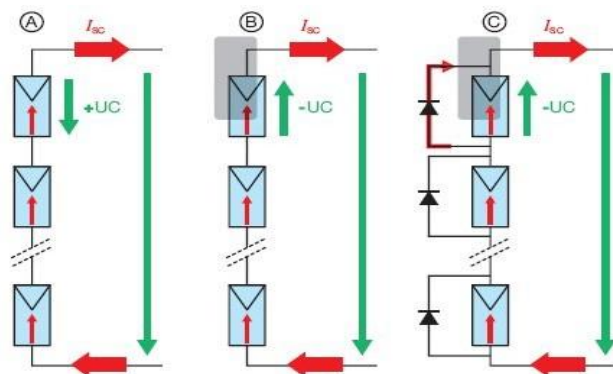


Figure (I.16) : système photovoltaïque en: (a) fonctionnement normale, (b) présence d'une ombre: échauffement de la cellule, (c) protection par la mise en place d'une diode de by-pass.

I.8.5.2. Nécessité de protection contre les courants inverses

Le dimensionnement des câbles de chaînes dépend fortement des chutes de tension ;

les notions de courants admissibles pour la protection des canalisations contre les surcharges sont généralement automatiquement satisfaites et ne nécessitent pas la mise en place de protection pour assurer cette fonction.

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

Du fait que notre travail porte uniquement sur des défauts conduisant à une baisse de production, nous ne nous intéressons donc qu'aux composants servant à la protection du générateur PV : [10]

I.8.5.3. Diode de by-pass

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

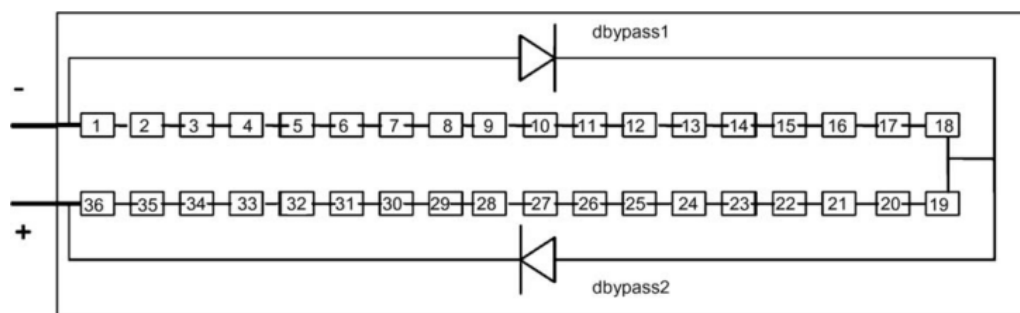


Figure (I.16): Module de 36 cellules protégé par deux diodes de by-pass. [10]

La plupart des modules PV commerciaux sont constitués par association de cellules solaire en série incluant une ou deux diodes de by-pass figure I16. 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 by-pass 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. [1]

I.8.5.4. Diode anti-retour

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

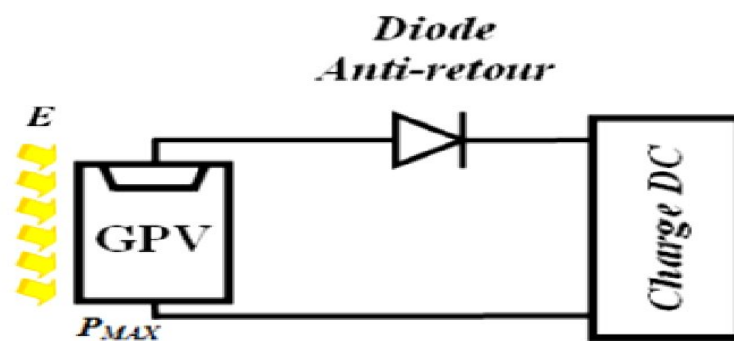


Figure (I.18): diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion des autres strings.

I.9. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait des descriptions générale sur l'énergie photovoltaïque, tous les éléments ont été introduit (cellule, module, panneau) afin de permettre une bonne compréhension fonctionnement des systèmes PV.

Chapitre II :

Modélisation du système photovoltaïque

II.1. Introduction

La modélisation est une étape fondamentale dans l'analyse d'un dispositif, elle consiste à décrire mathématiquement un processus technique d'un système à étudier.

Dans notre cas nous avons étudié la modélisation d'un système PV sein pour mieux comprendre le fonctionnement globale sans défaut et le comparé au même système dans les cas avec différents défauts dans le chapitre 4.

II.2. Modélisation du panneau photovoltaïque

De nombreux modèles mathématiques de générateurs photovoltaïques existent dans la littérature, nous choisissons (avons choisis) un modèle simplifié à cinq paramètres (I_{SC} , v_{OC} , I_{MP} , V_{MP} , R_S) qui tient compte de la variation du courant et de la tension du panneau photovoltaïque en fonction des conditions climatiques.

Le schéma ci-dessous est le schéma équivalent d'un module photovoltaïque qui comprend un générateur de courant modélisant l'éclairement, une diode en parallèle qui modélise la jonction PN et des résistances en série et en parallèle qui tiennent en compte de l'effet résistif des parasites dus à la fabrication.

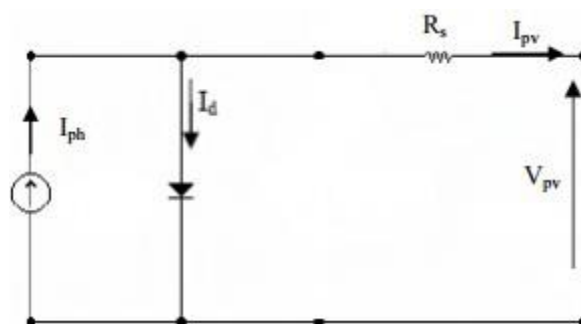


Figure (II.1) : schéma équivalent d'un module photovoltaïque.

A partir de ce schéma nous allons établir les équations utiles et nécessaires pour donner le modèle du panneau photovoltaïque sous Matlab.

L'expression du courant du module photovoltaïque est donnée par :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (\text{II-1})$$

$$I_{pv} = I_{sc} \{1 - K_1 [\exp K_2 K_{pv}^m - 1]\} \quad (\text{II-2})$$

Où les coefficients K_1 , K_2 , K_3 , K_4 et m sont donnés par:

$$K_1 = 0.01175 \quad (\text{II-3})$$

$$K_2 = \frac{K_4}{V_{oc}^m} \quad (\text{II-4})$$

$$K_3 = \ln \left[\frac{I_{sc}(1+K_1) - I_{mpp}}{K_1 I_{sc}} \right] \quad (\text{II-5})$$

$$K_4 = \frac{(1+K_1)}{K_1} \quad (\text{II-6})$$

$$m = \frac{\ln \left[\frac{K_3}{K_4} \right]}{\ln \left[\frac{V_{mpp}}{V_{oc}} \right]} \quad (\text{II-7})$$

I_{mpp} : Courant au point de puissance maximale appelé aussi courant optimum (I_{opt});

V_{mpp} : Tension au point de puissance maximale appelé aussi tension optimum (V_{opt});

I_{sc} : Courant en court-circuit ;

V_{oc} : Tension en circuit ouvert.

Ces paramètres sont donnés dans le tableau des caractéristiques du panneau photovoltaïque se trouvant dans l'annexe.

Ces équations plus particulièrement celle du courant photovoltaïque ne sont applicables que dans les conditions standards de fonctionnement c'est-à-dire un niveau d'ensoleillement G et de température particuliers ($G_{stc} = 1000 \text{ W/m}^2$, $T_{stc} = 25^\circ \text{C}$).

Le modèle du PV étant établi, nous intégrons la variation de la température et de

l'ensoleillement à partir des équations qui suivent :

$$\Delta T_c = T_c - T_{stc} \quad (\text{II-8})$$

$$\Delta I_{pv} = a_{sc} \left(\frac{G}{G_{stc}} \right) \Delta T_c + \left(\frac{G}{G} - 1 \right) I_{sc,stc} \quad (\text{II-9})$$

$$\Delta V_{pv} = -\beta_{oc} \Delta T_c - R_s \Delta I_{pv} \quad (\text{II-10})$$

Avec :

G_{stc} et G : Représentent respectivement, le niveau d'insolation dans les conditions standards de fonctionnement (STC) et dans des conditions quelconques.

T_{stc} et T_c : Représentent respectivement, la température dans les conditions STC et dans des conditions quelconques.

ΔT_c : Représente la variation de la température.

ΔI_{pv} : Représente la variation du courant par rapport à l'insolation et à la température.

ΔV_{pv} : Représente la variation de la tension par rapport à l'insolation et à la température.

a_{sc} : Représente un coefficient de température, d'incrément de courant I_{sc} quand la température de la surface augmente de un degré Celsius ($A/^{\circ}C$) (sous les conditions STC).

β_{oc} : Représente un coefficient de température, d'incrément de la tension V_{oc} quand la température de la surface augmente de un degré Celsius ($V/^{\circ}C$) (sous les conditions STC).

Les nouvelles valeurs de la tension et du courant photovoltaïque sont donnés par:

$$\begin{cases} V_s = \frac{1}{1-\alpha} \cdot V_{pv} \\ I = (1-a) \cdot I_L \end{cases} \quad (\text{II-11})$$

II.3. Modélisation du générateur photovoltaïque(GPV)

Le schéma du circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque qui est largement utilisé dans la littérature, est représenté sur la figure II.2.

Ce modèle sert à étudier les caractéristiques courant-tension (I-V) et puissance-tension (P-V) du générateur photovoltaïque ainsi que son comportement en fonction des paramètres solaires à savoir l'éclairement dans le plan des panneaux (E_s) et la température de jonction (T_j).

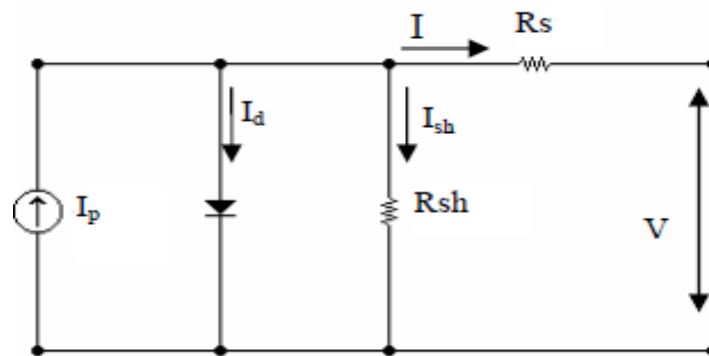


Figure (II.2) : Schéma équivalent du modèle à une diode.

Dans la figure II.2, la résistance R_{sh} caractérise le courant de fuite au niveau de la jonction et la résistance R_s représente les diverses résistances de contact et de connexion.

Le courant généré par le module est donné par la loi de Kirchhoff comme suivant:

$$I = I_p - I_d - I_{sh} \quad (\text{II-12})$$

Avec:

I : Le courant délivré par le module.

I_d : Courant de diode.

I_{sh} : Le courant shunt.

Le courant I_p dépend directement du rayonnement solaire E_s et de la température de la

cellule T_j , il est donné par la relation suivante

$$I_p = P_1 \cdot E_s \cdot [1 + P_2(E_s - E_{ref}) + P_3 \cdot (T_j - T_{jref})] \quad (\text{II-13})$$

La température de la cellule peut être calculée à partir de la température ambiante et celle d'irradiation comme suit :

$$T_j = T_a + E_s \left(\frac{N_{oct} - 20}{800} \right) \quad (\text{II-14})$$

T_a : Température ambiante.

N_{oct} : Condition de température nominale de fonctionnement de la cellule qui est donnée par le constructeur (45°C)

Le courant de la diode est donné par :

$$I_d = I_{sat} \left[\exp \left(\frac{q(V + R_s I)}{A \cdot n \cdot s \cdot k T_j} \right) - 1 \right] \quad (\text{II-15})$$

Avec:

I_{sat} : Courant de saturation, il est fortement dépendant de la température ;

il est donné par l'expression suivante :

$$I_{sat} = P_4 T_j^3 \cdot \exp \left(\frac{-E_g}{k \cdot T_j} \right) \quad (\text{II-16})$$

Le courant de la résistance shunt est calculé par:

$$I_{sh} = \frac{(V + R_s I)}{R_{sh}} \quad (\text{II-17})$$

Le courant du module I est donné par :

$$I = I_p(E_s, T_j) - I_d(V, I, T_j) - I_{sh}(V) \quad (\text{II-18})$$

$$I = P_1 E_s \cdot [1 + P_2 \cdot (E_s - E_{ref}) + P_3 \cdot (T_j - T_{ref})]$$

$$-P_4 T_j^3 \cdot \exp\left(\frac{-E_g}{k \cdot T_j}\right) \cdot \left[\exp\left(\frac{R_s}{n_s \cdot A \cdot k \cdot T_j}\right) - 1\right] - \frac{(V_{pv} R_s \cdot I)}{R_{sh}} \quad (\text{II-19})$$

Le schéma bloc du générateur photovoltaïque est présenté sur la figure II-3, avec :

-Les deux variables d'entrées sont:

E_s Ensoleillement dans le plan des panneaux (W/m^2) et T_j température de jonction des cellules ($^{\circ}\text{C}$).

-Les deux variables de sortie sont:

-I courant fourni par le GPV(A) et V tension aux bornes du GPV(V).

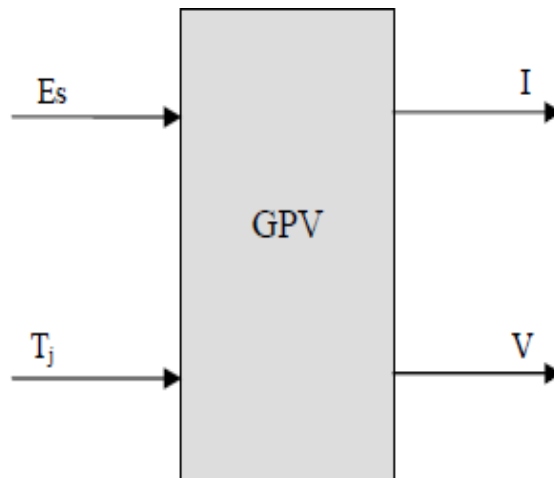


Figure (II.3): Schéma bloc du générateur photovoltaïque.

Les résultats de simulation sont représentés par les courbes II.4 et II.5:

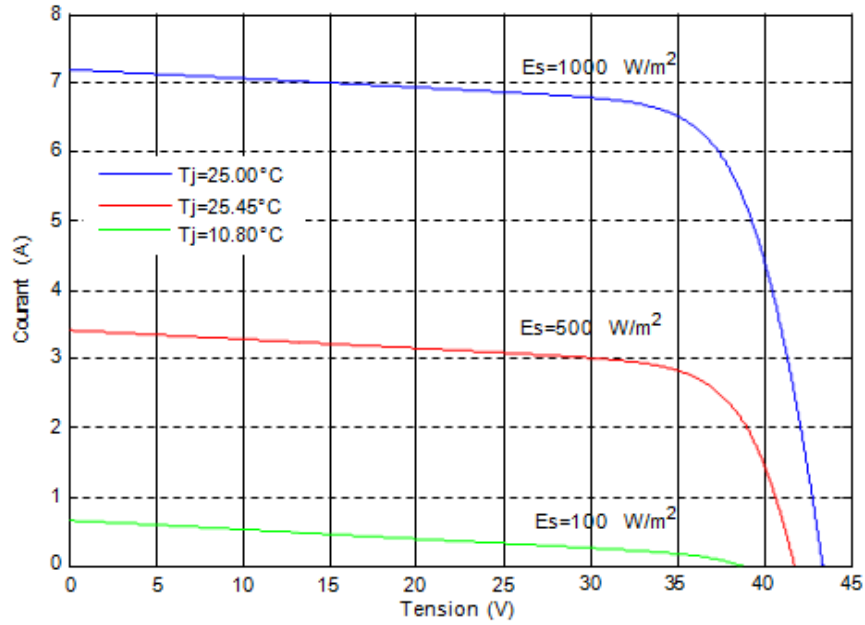


Figure (II.4) : L'influence de E_s et T_j sur la caractéristique (I-V).

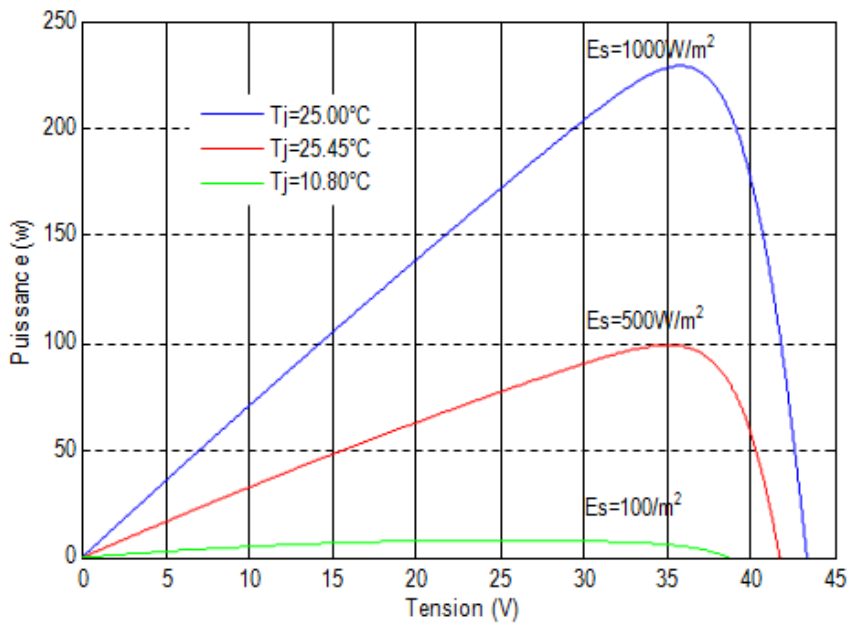


Figure (II-5) : L'influence de E_s et T_j sur la caractéristique (P-V).

II.4. Modélisation d'une cellule photovoltaïque

II.4.1. Cas d'une cellule idéale

Dans le cas idéal, la cellule d'une jonction PN soumise à l'éclairement photovoltaïque connecté à une charge peut être schématisée par un générateur de courant I_{ph} en parallèle avec une diode délivrant un courant selon la figure II-6, qui représente le circuit équivalent d'une cellule solaire e idéale. [7]

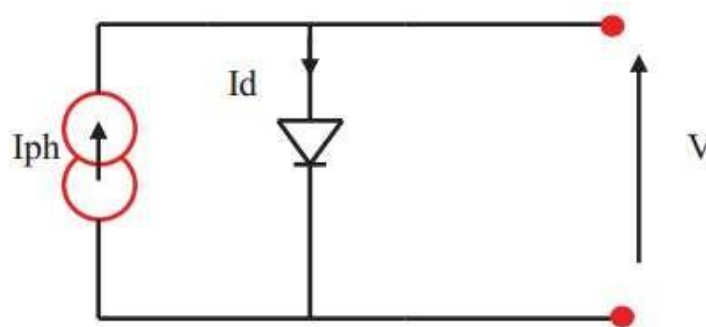


Figure (II-6) Schéma équivalent d'une cellule idéale.

♦ Les équations retenues de ce modèle sont:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (\text{II-20})$$

♦ Le courant I_{pv} est assimilé au courant I_{sc} avec $V_{pv} = 0$, courant de court-circuit

E: L'éclairement absorbé par la cellule

E_{ref}: L'éclairement de référence (1000 w/m²)

$$I_{ph} = I_{sc} = \frac{E}{E_{sc}} I_d = I_0 \left(e^{\frac{V_d}{V_0}} - 1 \right) \quad (\text{II-21})$$

I₀ : Courant de saturation inverse de la diode

$$I_t = \frac{NKT}{q} \quad (\text{II-22})$$

V_t : Tension thermique

N : Facteur d'idéalité de la photopile

K : Constant de Boltzmann ($1,38.10^{-23}\text{J/K}$)

q : Charge de l'électron ($1,6.10^{-19}\text{C}$)

II.4.2. Cas d'une cellule réelle

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réelle tient compte d'effets résistifs parasites dues à la fabrication et représenté sur la figure II.7. Ce schéma équivalent est constitué d'une diode (d) caractérisant la jonction, une source de courant (I_{ph}) caractérisant le photo-courant, une résistance série (R_s) représentant les pertes par effet Joule, et une résistance shunte (R_{sh}) caractérisant un courant de fuite entre la grille supérieure et le contact arrière qui est généralement très supérieure à (R_s). [7]

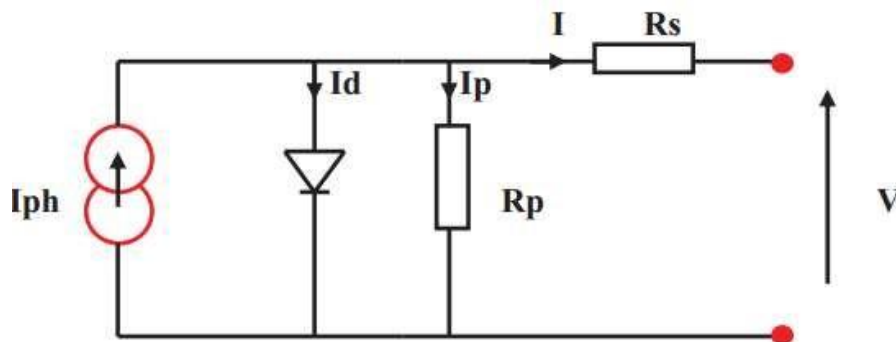


Figure (II.7) : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle.

Dans notre travail, nous avons utilisé le modèle mathématique du module solaire à exponentiel simple.

♦ Le courant de sortie d'une cellule photovoltaïque se met sous la forme mathématique

Suivant :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_p \quad (\text{II-23})$$

I_{pv} : Courant généré par la cellule photovoltaïque

I_{ph} : Photo courant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident)

I_d : Le courant circulant dans la diode

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right) \tag{II-24}$$

$$I_0 = I_{0r} \left(\left(\frac{T}{T_n} \right)^3 e^{\left[\frac{E_g}{BK} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right) \right]} - 1 \right) \tag{II-25}$$

I_{0r} : est le courant de court-circuit de la cellule à la température de référence T_n et l'éclairement de référence

T : Température de la jonction des cellules PV [°K]

T_n : Température de référence des cellules PV [°K]

B : Facteur d'idéalité de la jonction

E_g : Énergie de gap [ev]

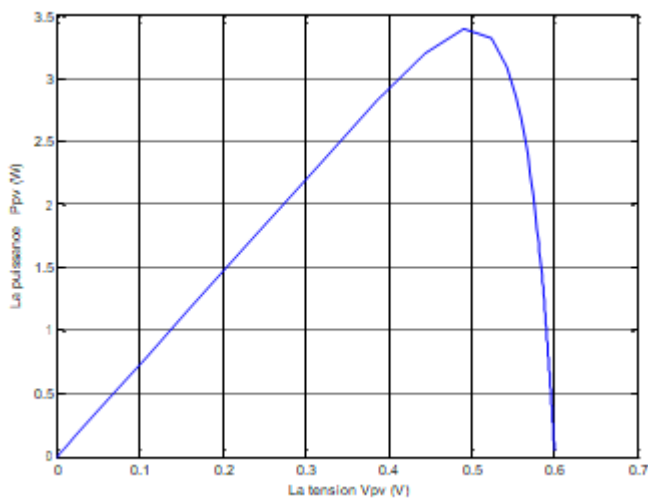


Figure (II.8) Caractéristique (P-V) d'une Cellule PV.

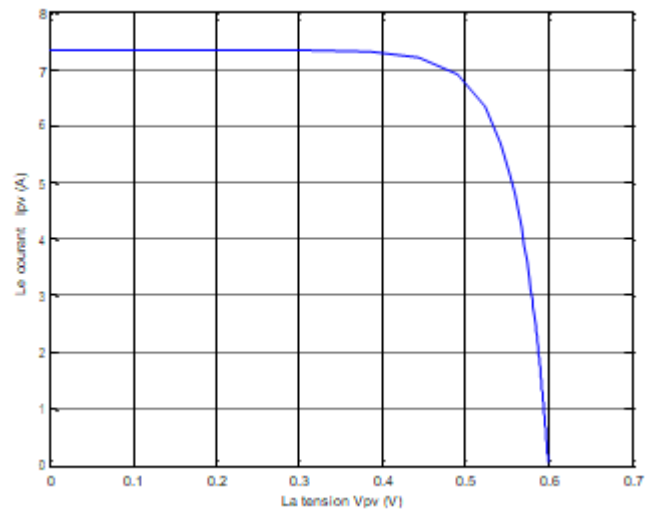


Figure (II.9) Caractéristique (I-V) d'une Cellule PV

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré la démarche de modélisation pour les systèmes PV en fonctionnement normale dont l'intérêt réside dans l'obtention de la caractéristique I-V du système PV (Panneaux solaire, la cellule et GPV).

Chapitre III :
***Diagnostic des défauts dans un système
photovoltaïque***

III.1. Introduction

Le générateur photovoltaïque est le seul convertisseur direct pour transformer la lumière en énergie électrique, et offre la possibilité de produire de l'électricité directement à partir d'une ressource renouvelable et largement disponible.

Le champ d'utilisation des systèmes photovoltaïques est large avec beaucoup de configurations autonomes et reliées au réseau de distribution.

Les applications de l'énergie solaire incluent le pompage d'eau, réfrigération, climatisation, sources lumineuses, véhicules électriques, centrales photovoltaïques, utilisation militaire, domaine spatial, et dans systèmes hybrides.[10]

A travers ce chapitre, nous essayons de mettre en relief l'intérêt du diagnostic à établir sur un système photovoltaïque P.V. en défaillance. L'objectif à viser est d'arriver à assister le concepteur ou le réparateur à mieux cerner le problème de la défaillance affectant ce dispositif PV.

III.2. Défauts du système photovoltaïque

III.2.1. Les défauts les plus fréquents rencontrés dans un champ PV

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

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

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

Dans ce chapitre, quelques exemples de défauts sont également illustrés sous forme d'images.

III.2.1.1 Défauts dans le générateur PV

Tableau 3.1 : Les différents défauts dans le générateur PV

Défaut	Conséquences	Cri.	Occ.	Ori.
Salissure (pollution, sable, neige)	Perte de puissance	3	3	E
Inversion des liaisons de sortie	Module mal câblé, diminution des performances	3	2	I,C
Air marin	Corrosion	3	2	E
Dégradation des modules par vandalism	Diminution des performances, Non fonctionnement de installation	3	2	E
Vole des modules	Non fonctionnement de l'installation	3	2	I,E
Mauvaise orientation et/ou inclinai sont des module	Ombrage, diminution des performances	2	3	C,I
Couple galvanique dû au mélange de matériau de la jonction module/support	Corrosion	2	3	C
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 cable	Diminution des performances	2	2	I,C
Fissure	Perte d'étanchéité, détérioration des cellules, diminution du shunt, diminution des performances	3	1	E
Rouille par infiltration d'eau	Perte d'étanchéité, détérioration des cellules	3	1	E
Mauvaise isolation entre modules et Onduleur	Court-circuit, destruction du module, incendie	3	1	I,C
Détérioration des joints d'étanchéité	Perte d'étanchéité, détérioration des cellules	3	1	E
Déformation du cadre des modules	Infiltration d'eau	3	1	E
Corrosion du cadre des modules	Perte d'étanchéité, détérioration des cellules	3	1	E
Délaminage	Diminution des performances, échauffement	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
Faiblesse au vent des structures	Module arraché, cassé	3	1	C,I
Foudre sur l'installation	Destruction des modules	3	1	E

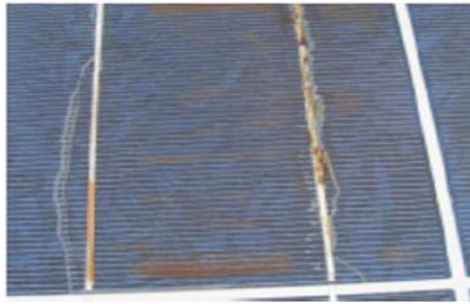
Modules de performances différentes	Diminution des performances du champ	1	3	I,C
Sortie par le bas des boîtes de connexions impossible	Mauvais câblage	1	3	C,I
Bouchons de presse-étoupe manquant sur la boîte de connexion	Pénétration d'eau, corrosion des liaisons	1	3	I,C
Boîte de connexion montée à l'envers	Entrée d'eau dans le boîtier par le presse-étoupe	1	3	I,C
Ombage partiel (feuilles d'arbre, déjections)	Hot spot, détérioration de cellules	2	1	E
Dégradation de l'encapsulant à cause des ultraviolets, EVA jaunissant	Absorbe les photons qui n'arrivent plus jusqu'à la cellule, diminution des performances	2	1	E
Augmentation de la résistance série due au cycle thermique	Diminution des performances	2	1	E
Détérioration de la couche anti-reflet	Diminution des performances	2	1	E
Dégradation à cause de la lumière	Diminution des performances, surtension, destruction de diodes	2	1	E
Dégradation à cause de la chaleur	Diminution des performances, échauffement, détérioration des joints	2	1	E
Inclinaison des modules trop faible	Stagnation d'eau, dépôt de terre, prolifération de champignons, problème d'étanchéité	2	1	C,I
Dégradation des interconnexions	Détérioration des joints, diminution des performances, augmentation de la résistance série de la chaleur	2	1	E
Support mécanique des modules inadéquat ou mal posé	Efforts mécaniques importants sur les modules	2	1	C,I
Mauvaise résistance mécanique des supports des modules	Déformation du support	2	1	C,I
Diffusion du phosphore (dopant) vers la surface	Perte d'adhérence de l'encapsulant	2	1	E
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



(a) Salissure



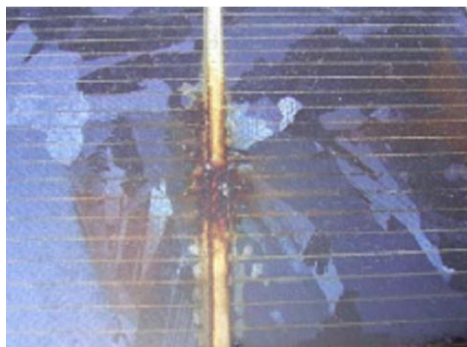
(b) Ombrage



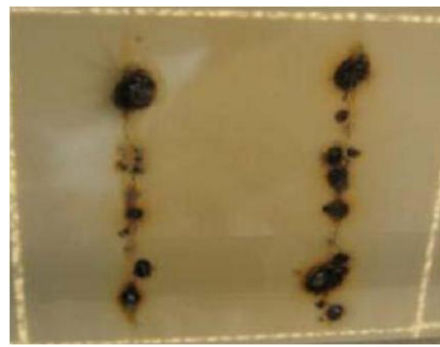
(c) Echauffement de la cellule (face-avant)



(d) Echauffement de la cellule (face arrière)



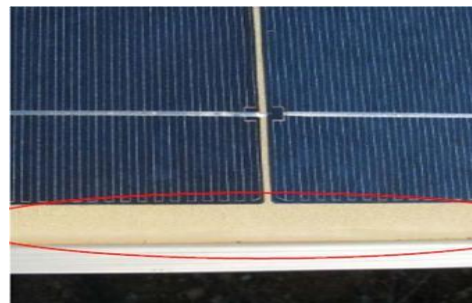
(e) Echauffement des soudures (face-avant)



(f) Echauffement des soudures (face-arrière)



(g) Dégradation de EVA



(h) défaut mécanique de la face arrière

Figure (III.1): Exemples de défauts rencontrés dans des générateurs PV.

III.2.1.2. Défauts dans la boîte de jonction

Tableau 3.2 : Les différents défauts dans la boîte de jonction :

Défaut	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
Boîtier infesté d'insectes	Rupture du circuit électrique	2	1	E
Fourreaux non prévus pour usage Extérieur	Destruction de la protection	2	1	C
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 borne, incendie	2	1	I



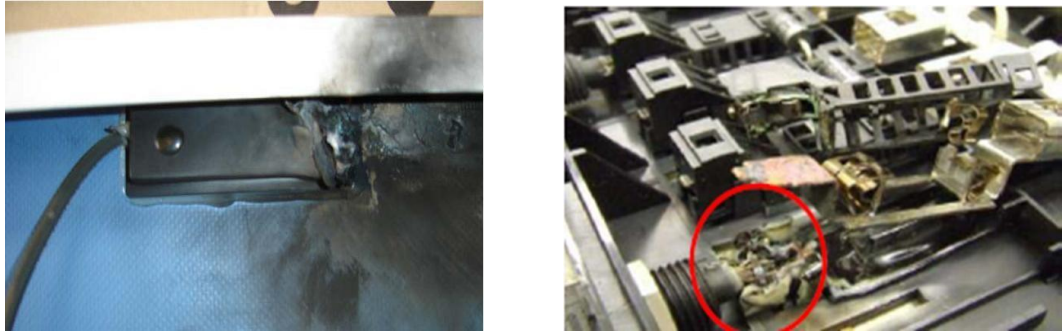


Figure (III.2) : Exemples de défauts rencontrés dans des boîtes de jonction

III.2.1.3 Défaut dans le système de câblage

Tableau 3.3 : Les différents défauts dans le système de câblage :

Défaut	Conséquences	Cri.	Occ.	Ori.
Mauvais dimensionnement des câbles	Chute de tension > 3%, échauffement	2	3	C
Connexion desserrée ou cassée	Arc électrique, incendie, destruction de la boîte de jonction, destruction de diodes	2	3	I,E
Principe de câblage en goutte d'eau non respecté	Mauvais câblage	2	3	I
Câbles inter module de section trop faible par rapport au presse-étoupe	Corrosion des contacts, rupture du circuit Électrique	2	3	C,I
Mauvais dimensionnement des Câbles	Chute de tension > 3%, échauffement	2	3	C
Connexion desserrée ou cassée	Arc électrique, incendie, destruction de la boîte de jonction, destruction de diodes	2	3	I,E
Principe de câblage en goutte d'eau non respecté	Mauvais câblage	2	3	I
Câbles inter module de section trop faible par rapport au presse-étoupe	Corrosion des contacts, rupture du circuit Électrique	2	3	C,I
Bornes rouillées	Faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	E
Câbles non fixes	Boucle de câblage, circuit ouvert	2	2	I
Mauvais câblage	Court-circuit, claquage des diodes anti-retour, destruction des connecteurs (circuit ouvert), aléas de fonctionnement sur disjoncteur	2	2	I
Toron	Boucle électromagnétique	2	2	I
Câbles d'arrivée des sous-champs entamés lors du dénudage	Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	I
Absence de graisse de silicone	Humidité	2	2	I
Câble mal denude	Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	I

Câble rongé par des rats	Faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	E
Modification du câblage par l'utilisateur non compétent	Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	E
Bornes rouillées	Faux contacts, circuit ouvert, arc électrique	2	2	E
Câbles non fixes	Boucle de câblage, circuit ouvert	2	2	I
Boîte de connexion décollée	Connexion des cellules en série endommagée	2	1	E
Boîte de connexion décollée	Connexion des cellules en série endommagée	2	1	E



Figure (III.3) : Exemples de défauts rencontrés dans le système de câblage.

III.2.1.4 Défauts dans le système de protection

Tableau 3.4 : Les différents défauts dans le système de protection :

Défaut	Conséquences	Cri.	Occ	Ori.
Protections inappropriées ou mal Dimensionnées	Court-circuit, hot spot, incendie, arrêt de l'installation	2	2	C
Interrupteur, disjoncteur inapproprié	Arc électrique, incendie, destruction à l'ouverture	3	1	C

Disjoncteur différentiel non conforme à la norme	Non déclenchement, tension entre neutre et terre	3	1	C
Armoire électrique posée à même le sol à l'extérieur	Dysfonctionnement en cas de pluie	3	1	C,I
Parafoudre non connecté à la terre	Pas de protection	3	1	I
Impossibilité de déconnecter les modules par branche	Problème de sécurité	1	3	C,I
Pas de possibilités de sectionnement extérieur au coffret	Problème de sécurité	1	3	C
Mauvaise dissipation de la chaleur des diodes	Echauffement	2	1	C,I
Sous dimensionnement des diodes de Bypass	Hot spot, destruction des diodes, échauffement de la boîte de jonction	2	1	C
Absence de protection contre les courants inverses	Hot spot, destruction des diodes, échauffement de la boîte de jonction	2	1	C
Diode mal connectée	Non fonctionnement des diodes, absence de protection contre les courants inverses	2	1	I,E
Inversion de la polarité des diodes au Montage	Non fonctionnement des diodes, court-circuit, hot spot	2	1	I,E
Phénomènes de résonance	Non fonctionnement des fusibles et des protections de surtension	2	1	C
Dégradation à cause de la lumière	Non fonctionnement des diodes de bypass	2	1	E
Echauffement des diodes placées dans un endroit mal ventilé	Température de destruction atteinte	2	1	C,I
Vieillessement des disjoncteurs	Non fonctionnement des disjoncteurs	1	1	E

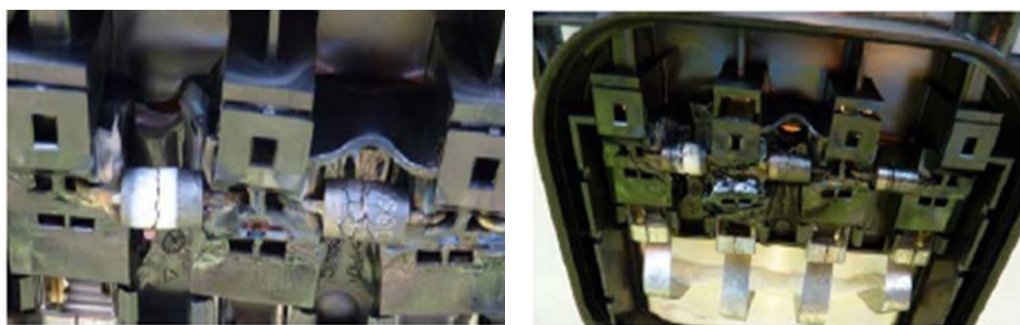


Figure (III.4) : Exemples de défauts de diodes de by-pass

III.2.1.5 Défauts dans l'onduleur :**Tableau 3.5 :** Les différents défauts dans l'onduleur :

Défaut	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
Surtension	Déconnexion de l'onduleur	3	2	C
Fusible fondu	Arrêt de l'onduleur	3	2	E,C,I
Foudre sur le réseau	Surtension, destruction de l'onduleur	3	2	E
Tension du générateur inférieure à la limite basse de l'onduleur	Déconnexion de l'onduleur	3	2	C
Onduleur sous dimensionné	Destruction de l'onduleur	2	3	C
Bobine des filtres, thyristors, capacités en défaut	Arrêt de l'onduleur	3	1	E,C,I
Problème d'interface avec le réseau	Découplage de l'onduleur	3	1	E
Défaut d'isolement	Détérioration de l'onduleur	3	1	C,I
Surchauffe des onduleurs	Diminution des performances	3	1	E
Onduleur installé dans un lieu non Étanche	Panne de l'onduleur	3	1	I,C
Onduleur mal fixé	Chute de l'onduleur	3	1	I
Onduleur surdimensionné	Perte de puissance, diminution des performances	2	1	C
Visserie et bouton de commande Oxydés	Réglage impossible	2	1	E
Mauvais choix de la tension nominale d'entrée	Diminution des performances	2	1	C
Pile de sauvegarde HS	Perte des données	1	2	E
Témoins de défaut d'intensité allumé en permanence	Mauvaise information sur l'intensité	1	2	E,I
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 liquid endommagé ou illisible	Pas d'information sur le fonctionnement	1	1	E

III.2.2 Défauts des cellules PV

Une cellule PV peut-être soumise au cours de son fonctionnement à différents défauts pouvant changer carrément sa caractérisation. Parmi ces défauts l'inversion de polarité, l'oxydation, la formation de sable, le point chaud, la dégradation de l'encapsulant, la fissure, l'impédance, le

court-circuit, la rayure, le circuit-ouvert, la détérioration, l'échauffement, la pénétration de l'humidité, la cellule PV arrachée ou cassée, la déformation, l'obscurcissement...

III.2.3 Défauts des diodes PV

Les diodes constituant un champ PV de type by-pass et anti-retour peuvent être soumis à différents défauts comme : inversion de la polarité, mal connectée, mal adaptée, mal montée, défectueuse, diode impédance, court-circuit, destruction, circuit-ouvert, vieillissement, absence ou non fonctionnement de la diode...

III.2.4. Défauts des câbles PV

Les câbles d'un champ PV créant un champ électrique peuvent être soumis au cours de leur fonctionnement à plusieurs types de défauts comme : ramollissement, rupture du circuit électrique, dégradation des interconnexions, corrosion des liaisons entre les cellules PV, surchauffe, impédance, court-circuit, mauvais câblage, circuit-ouvert...

III.2.5. Défaut de mismatch et d'ombrage

Les défauts de mismatch et d'ombrages sont des défauts fréquents aux systèmes PV, dans ce qui suit, on parle de ces défauts (les définir), leur modélisation, et la caractéristique I- V résultante de ces deux défauts.

III.2.5.1. Définition

Le défaut de ‘**mismatch**’ est le défaut causé par le groupement de cellules possédant une caractéristique non identique. Conduira à la dissemblance de leur caractéristique.

Le défaut d'ombrage est un cas particulier du défaut de mismatch car sa présence conduit à une réduction de l'ensoleillement reçu par des cellules. Le changement de ces paramètres provient de deux facteurs principaux.

Premièrement, des cellules pourraient posséder des propriétés physiques différentes suite à une tolérance dans la fabrication. Seule la tolérance de la puissance du module est donnée par les fabricants de la cellule ou du module. Elle peut varier entre +/-3% et +/-5% selon les fabricants. [1]

III.3. Diagnostic des défauts dans un système photovoltaïque

III.3.1. Définition du diagnostic

Le diagnostic est le raisonnement menant à l'identification de la cause (l'origine) d'une défaillance, d'un problème ou d'une maladie, à partir de symptômes relevés par des observations, des contrôles ou des tests.

Il ne doit pas être confondu avec la diagnose qui est la détermination d'une espèce biologique par rapport à une autre (c'est une des activités principales d'une science appelée la taxinomie), à partir de caractères distinctifs.

III.3.2. Le diagnostic industriel

C'est l'utilisation d'un raisonnement logique pour identifier les causes possibles d'une défaillance sur la base d'un ensemble d'informations provenant d'inspections, de contrôles ou d'essais. Il existe deux tâches de diagnostic de base :

- Observez les symptômes de panne.
- Utiliser un raisonnement logique basé sur l'observation pour identifier les causes de défaillance. Le diagnostic est l'étape pour trouver la cause première de la panne. Cette recherche ne sera effectuée que si une panne est détectée.

III.3.3. But du diagnostic industriel

Diagnostic industriel dont le but principal est la détection et la localisation

La défaillance des équipements du système industriel joue un rôle clé détection. Enregistrez les diagnostics, le dépannage d'assimilation stricte et maintenant fait partie de la fonction de maintenance.

Selon l'AFNOR (Association Française de Normalisation), la maintenance c'est « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et managériales tout au long du processus

Le cycle de vie d'une marchandise, destiné à la maintenir ou à l'établir dans l'état dans lequel elle se trouve peut exécuter la fonction requise"

III.3.4. Etape de diagnostic

Tout système est susceptible de présenter des symptômes révélateurs de défauts. Le défi est de pouvoir détecter et localiser ces défauts d'une manière automatique.

Les étapes sont détaillées comme suit :

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

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

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

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

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

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

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

III.3.5. Objectifs

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

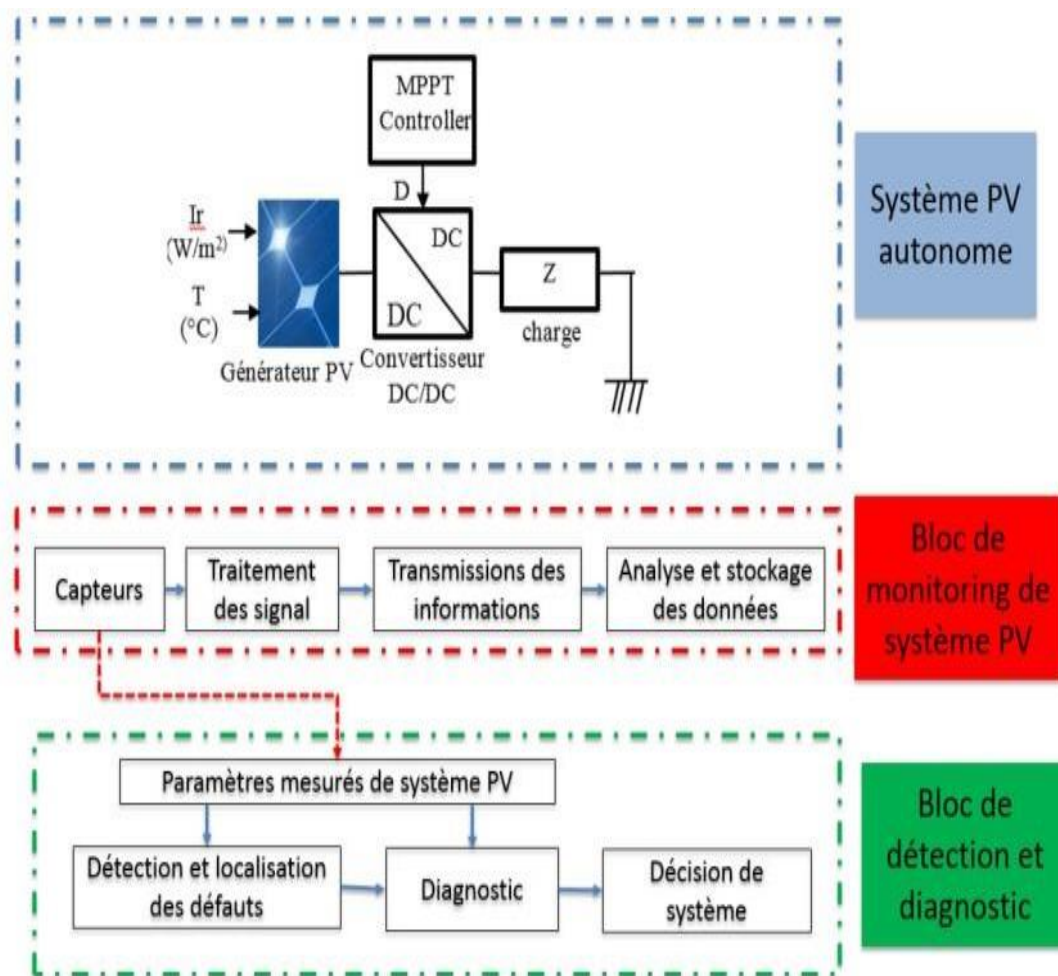


Figure (III.5) : Organigramme de diagnostic des défauts

III.3.6. Architecture de diagnostic

Les principaux objectifs de la surveillance du système PV sont la détection de la défaillance, l'évaluation de la performance et l'assurance du bon fonctionnement du système. Ceci nécessite des données électriques et environnementales à des panneaux photovoltaïques. Pour atteindre ces objectifs, des composants dédiés, tels que les capteurs, l'acquisition de données systèmes, les systèmes de communication de données et le logiciel dédié et les algorithmes pour l'analyse de données sont utilisés.

La taille et le fonctionnement du système et des coûts d'entretien sont des paramètres déterminent le système de surveillance adéquat. En revanche, la taille de l'installation photovoltaïque est importante pour la conception du système de surveillance. L'adoption des



capteurs câblés dans les petites installations PV est économique et moins complexe.

Figure (III.6) : Schéma global de détection et de diagnostic des défauts

III.4. Conclusion

L'objectif de ce chapitre est de présenter les défauts liés aux systèmes photovoltaïques et les différentes étapes de diagnostic de ces défauts à fin de rendre notre système de protection fiable.

Le chapitre suivant fait l'objet d'une simulation de diagnostic de détection des défauts à partir de la caractéristique du système PV (I-V et P-V).

Chapitre IV :
Simulation de la détection et classification
de défauts pour un GPV

IV.1. Introduction

La simulation joue un rôle très important dans l'analyse et la conception des systèmes, et depuis quelques années le développement des calculateurs a rendu la simulation du fonctionnement et le comportement d'un système quelconque possible. Ceci a permis un gain du temps énorme dans la vérification et la mise en épreuve d'une conception d'une part, l'évaluation des performances et les limites d'une réalisation d'autre part. Le logiciel utilisé est MATLAB/SIMULINK, il permet la représentation facile, par des blocs accomplissant chacun une fonction prédétermine les systèmes dynamiques.

Ce chapitre présente la simulation de la détection et classification de défauts pour un GPV par réseau de neurones.

IV.2. Simulation du GPV en fonctionnement sain

Pour faire la simulation, et ensuite le diagnostic de certains défauts considérés comme fréquents et importants à détecter et à classifier, nous choisissons le module photovoltaïque **Luxor LX-190M** puisqu'il est très utilisé et facile à simuler, les caractéristiques de ce module sont détaillées dans le Tableau 1.

Le schéma de système photovoltaïque dans l'environnement Matlab/Simulink est représenté par la figure 1.

La figure 2 et la figure 3 représentent les courbes des caractéristiques (I-V et P-V) dans les conditions standards avec un éclairement $E = 1000\text{W}/\text{m}^2$, et une température de $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$.

Tableau 4.1: Caractéristiques électriques du module **Luxor LX-190M** dans les conditions standards :

Caractéristiques	Spécification
Nombre de cellules, N_s	72
Puissance maximale, P_{max}	190 [W]
Tension à P_{max} , V_{mp}	36.14 [V]
Courant à P_{max} , I_{mp}	5.26 [A]
Courant de court-circuit, I_{cc}	5.69 [A]
Tension de circuit ouvert, V_{co}	43.66 [V]

Taille de cellule	125mm x 125mm
-------------------	---------------

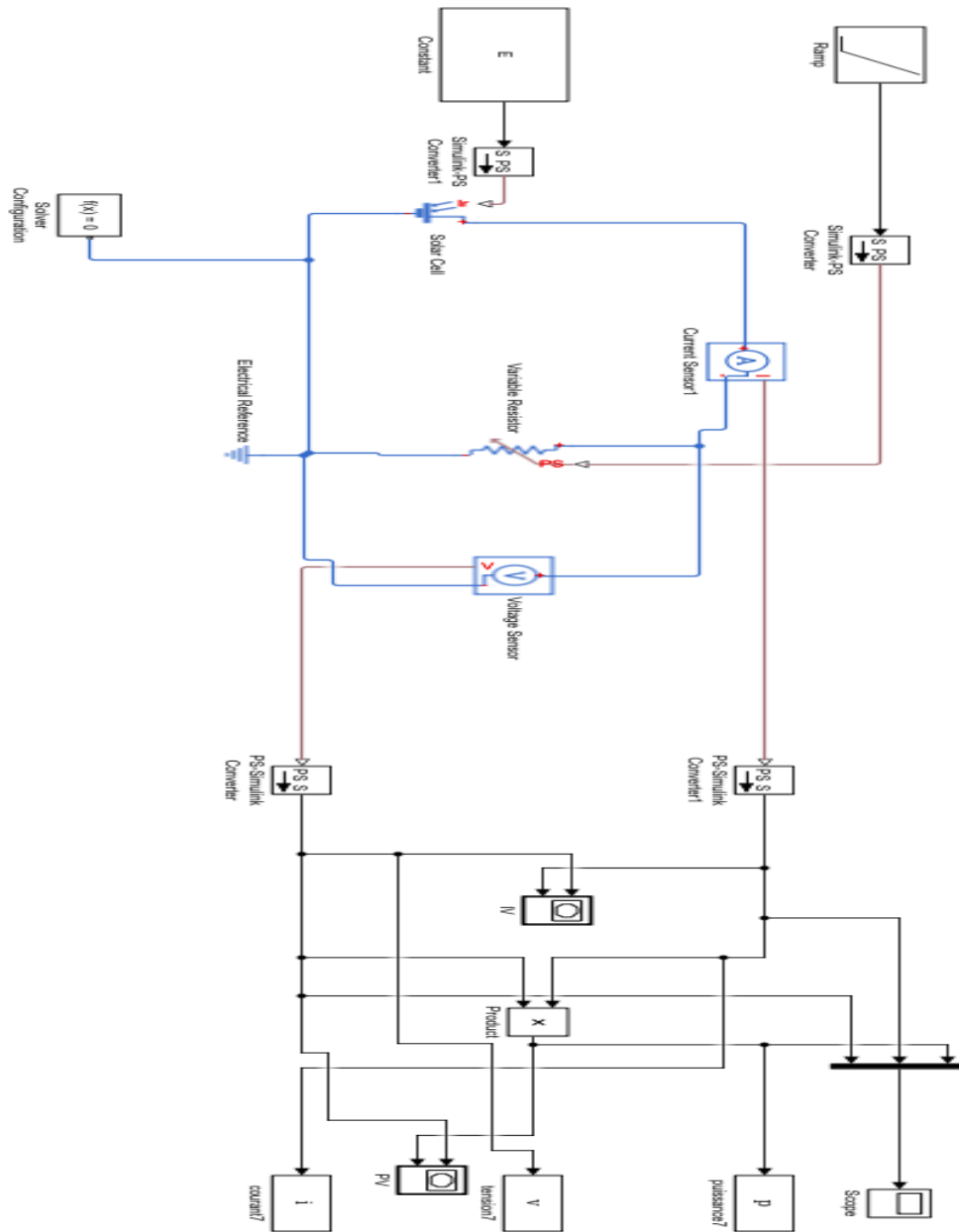


Figure (IV-1) : Schéma bloc de simulation du système photovoltaïque sous Matlab/Simulink

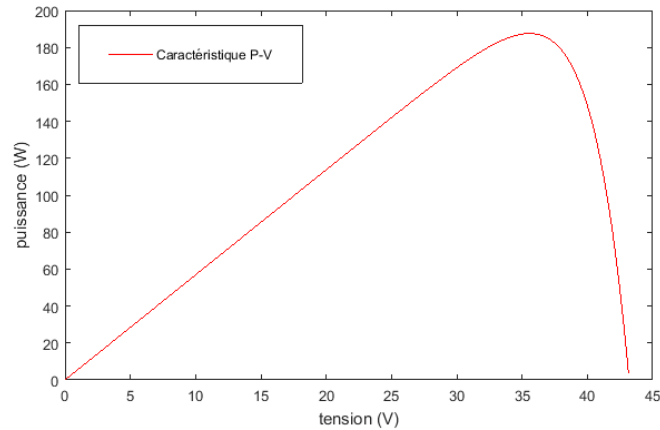


Figure (IV-2) : Caractéristique (P–V) du module PV sans défaut.

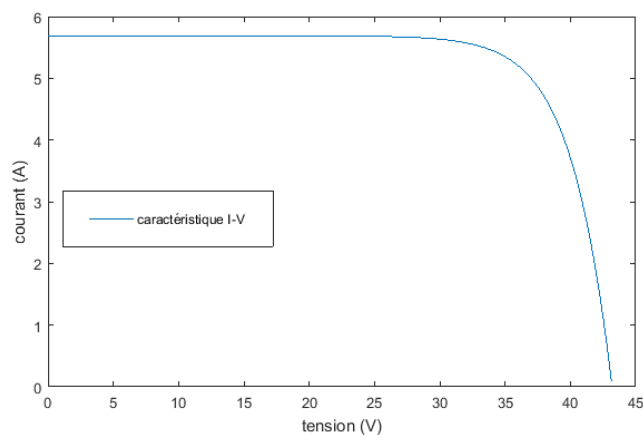


Figure (IV-3) : Caractéristique (I–V) du module PV sans défaut.

IV.3. Simulation du GPV en fonctionnement défaillant

IV.3.1. Génération des défauts dans un système PV

Le terme défaut désigne une modification physique d'une partie du système ou du système complet. Il implique par conséquent une déviation importante par rapport au comportement normal pour être acceptable. Nous effectuons une simulation de quelques défauts sur ce système:

- *Défaut sur la résistance série R_s*

Le défaut de R_s est un cas particulier du défaut de mismatch qu'on peut le simuler à travers le changement de la valeur de la résistance série R_s de la cellule PV en augmentant sa valeur.

- Défaut sur le nombre de cellules N_s

La diminution de nombre de cellules dans le module PV fait apparaître un défaut qui influence sur les caractéristiques du GPV surtout sur la tension de circuit ouvert. Nous allons effectuer ce défaut en changeant le nombre de cellules.

- Défaut d'ombrage

L'ombrage est aussi un cas particulier du défaut de mismatch car sa présence conduit à une réduction de l'ensoleillement reçu par des cellules. Le défaut de mismatch et d'ombrage peut être simulé par la variation des différents paramètres de la cellule mais nous choisissons de générer ce défaut par la variation du photo courant I_{ph} .

IV.3.2. Détection et classification des différents défauts

Après avoir identifié quelques défauts, on a relevé les erreurs entre les signaux de sortie : le courant, la tension et la puissance du système sain et celle du système avec défaut pour les utiliser dans la classification de ces défauts par la méthode des réseaux de neurones. La figure 4 représente la génération des résidus.

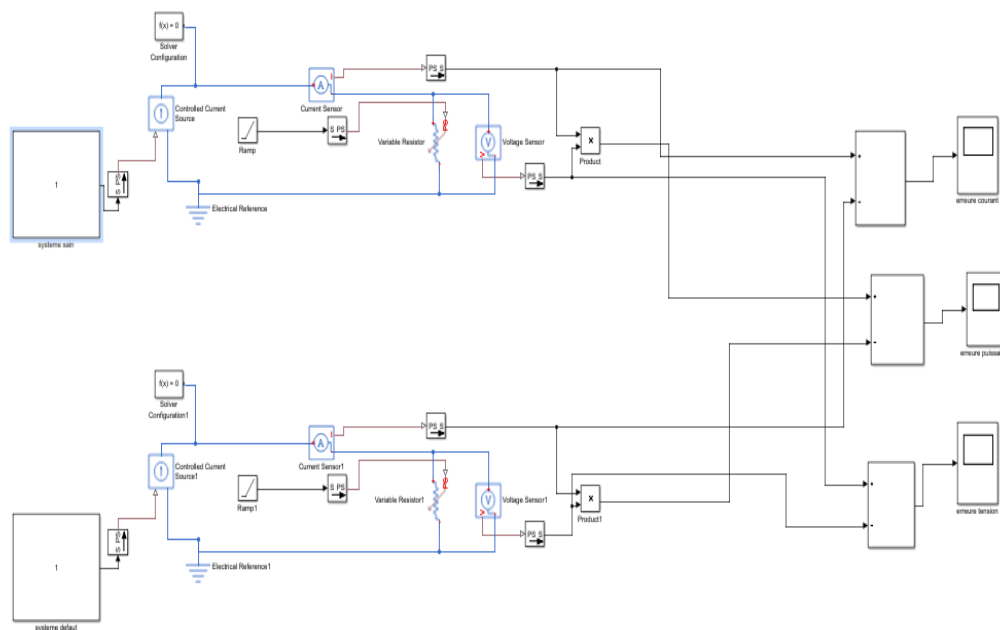


Figure (IV-4) : Schéma bloc destiné à la génération des résidus

IV.3.2.1. Détection et classification d'un défaut 'Rs'

Le défaut R_s est réellement causé par les males connexions et les fissures au niveau des cellules photovoltaïques, pour cela on va changer la valeur de la résistance série de la cellule PV comme exemple on prend $R_s = 0.01\Omega$. Les caractéristiques (I–V) et (P–V) du système en fonctionnement sain et celle en défaut sont représentées respectivement dans la figure 5 et figure 6.

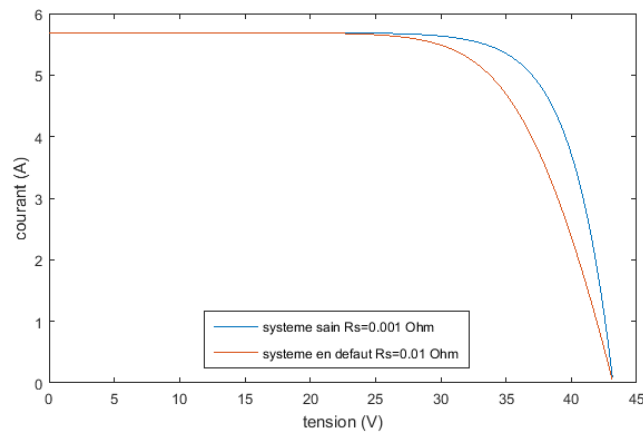


Figure (IV-5) : Caractéristique (I–V) d'un système PV sain et avec défaut R_s

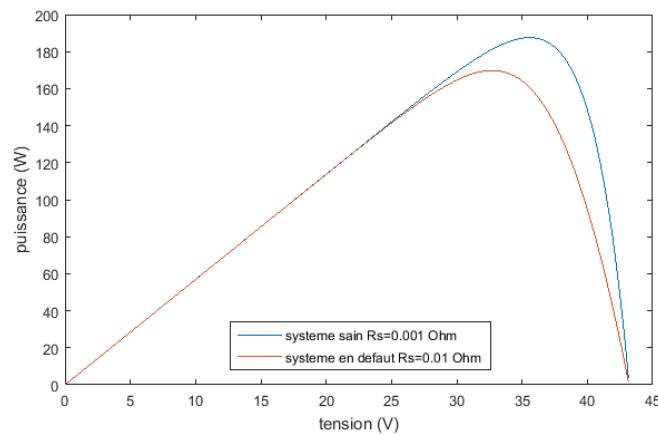


Figure (IV-6) : Caractéristique (P–V) d'un système PV sain et avec défaut R_s

-Nous notons à partir de la courbe (I–V) et (P–V) comme indiqué que lorsque nous changeons la résistance série R_s de 0.001 **Ohm** qui est considérée dans le système sain à 0.01 **Ohm** dans un système avec un défaut qui devient inférieur au système normal en **Imp**, **Vmp** et **Pmp** seulement **Icc** et **Vco** restent tels quels et c'est le cas du défaut de la résistance R_s .

IV.3.2.2. Détection et classification d'un défaut 'Ns'

Pour effectuer ce défaut, on fait diminuer le nombre de cellules dans le module PV. On prend comme exemple $N_s = 36$. Les caractéristiques (I-V) et (P-V) du système en fonctionnement sain et celle en défaut sont représentées respectivement dans la figure 7 et 8.

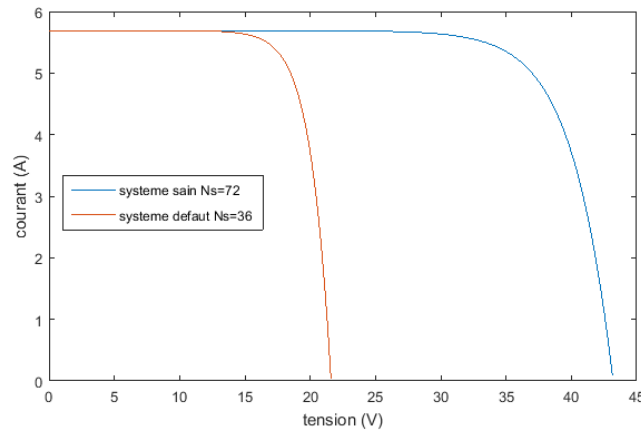


Figure (IV-7) : Caractéristique (I-V) d'un système PV sain et avec défaut N_s

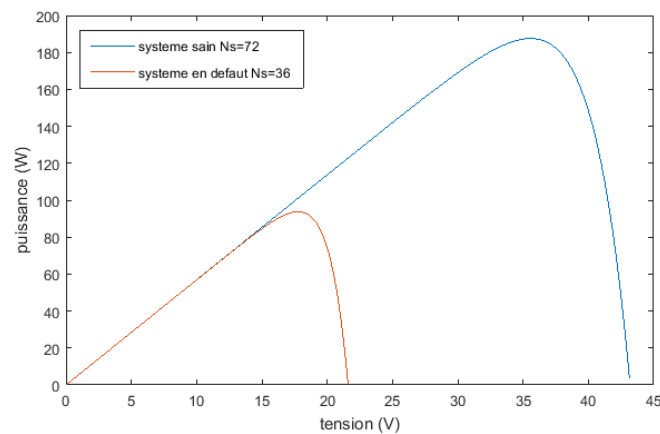


Figure (IV-8) : Caractéristique (P-V) d'un système PV sain et avec défaut N_s

Nous avons réduit le nombre de cellules de 72 cellules à 36 cellules et nous avons remarqué à partir de la figure 4.7, I_{cc} reste le même, V_{co} , V_{mp} et I_{mp} changent, proportionnellement à la courbe (P-V) de la figure 4.8, la valeur de la tension V et la puissance P diminuent également et c'est tout ce qui arrive au panneau solaire lorsque le nombre de cellules est diminuées.

IV.3.2.3. Détection et classification d'un défaut 'd'Ombrage'

Le défaut d'ombrage est un cas particulier d'un défaut de mismatch, pour générer ce défaut on doit changer la valeur de photo courant tel que $I_{ph} = 2.85A$. Les caractéristiques (I-V) et (P-V) du système en fonctionnement sain et celle en défaut sont représentées respectivement dans la figure 9 et 10.

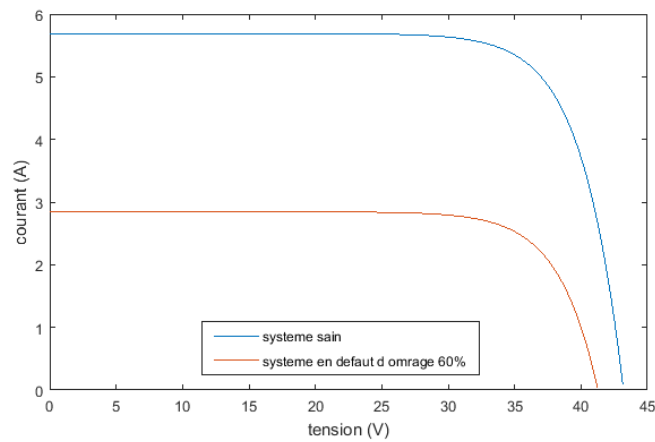


Figure (IV-9) : Caractéristique (I-V) d'un système PV sain et avec 60% d'ombrage

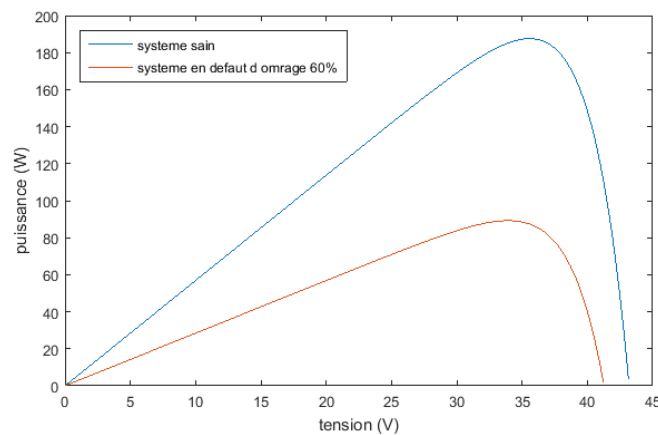


Figure (IV-10) : Caractéristique (P-V) d'un système PV sain et avec 60% d'ombrage

Dans cette étape, nous réduisons la valeur du photo courant I_{ph} de 5.69 A à 2.85 A et cela est dû au défaut d'ombrage, nous avons remarqué à travers la figure 4.9 que les valeurs de I_{cc} , I_{mp} , V_{mp} diminuent et même V_{co} diminue, mais d'une petite valeur correspondant au courbe normal, comme pour la courbe (P-V) représentée par la figure 4.10, la valeur de P_{mp} diminue sur la valeur de la normale et même la tension V diminue légèrement.

IV.3.3. Application de la méthode des réseaux de neurones (ANN) :

Le processus de mise au point du réseau comporte quatre étapes, La première étape de cette méthode est la détection des défauts qui consiste à générer quelques défauts sur un GPV, on va calculer les valeurs maximales et moyennes des erreurs de courant, tension et de puissance, 90 échantillons ont été pris en considération, tels que 10 mesures pour chaque défaut.

La deuxième étape est la collection des mesures précédentes qui est réalisée à l'aide d'un fichier pour réaliser la base des données qui contient les informations nécessaires de chaque défaut et qui permette de classifier ces défauts. La troisième étape est la construction du réseau de neurones qui est un réseau multicouche (4-20-4), six (04) entrées dans la couche d'entrée, vingt (20) neurones dans la couche cachée et quatre (04) neurones dans la couche de sortie. L'algorithme d'apprentissage utilisé est l'algorithme de rétropropagation. La dernière étape est l'apprentissage du réseau de neurones. Pour cela nous avons utilisé la base de données qui représente 90 échantillons. Le processus de mise au point du réseau comporte les étapes suivantes: génération des résidus, collection des données, architecture du réseau et apprentissage du réseau. La figure 11 et 12 montre le bloc d'apprentissage du réseau par logiciel Matlab. On remarque que l'erreur maximale désirée est atteinte pour un nombre d'itérations égales à 39 sans faire toutes les itérations choisies (1000 itérations)

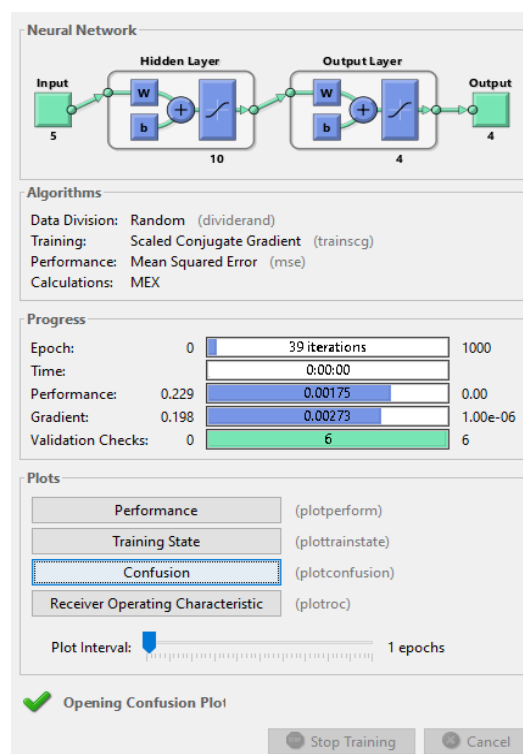
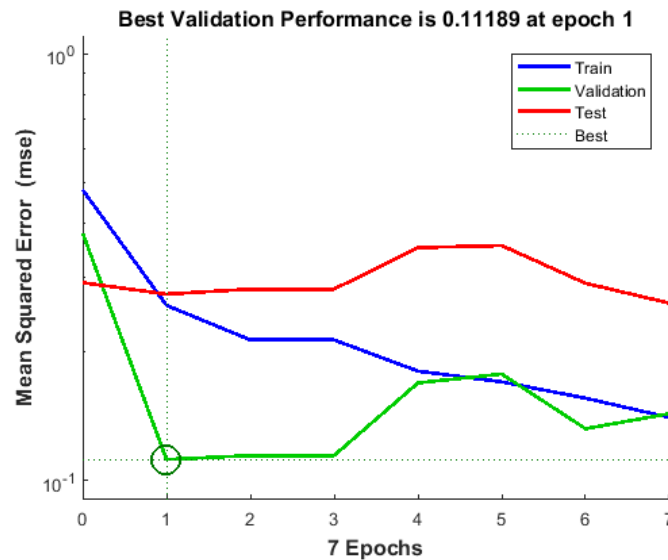


Figure (IV-11) : Le bloc d'apprentissage du réseau par logiciel Matlab avec 1000 itérations**Figure (IV-12)** : Bloc d'apprentissage du réseau de neurones
L'erreur tripartite**Tableau 4.2** : Le tableau suivant résume les pourcentages de classification des trois défauts par réseaux de neurones pour 1000 itération avec leur codage.

Le Pourcentage des différents défauts	Codage	1000 itérations
Pourcentage du système Sain	[0 1 0 1]	85 %
Pourcentage défaut 1- résistance série R_s	[1 0 1 1]	80 %
Pourcentage défaut 2- nombre de cellules N_s	[1 1 0 0]	80 %
Pourcentage défaut 3- photo courant I_{ph}	[0 0 1 1]	60 %

IV.4. Conclusion :

Le chapitre 4 constitue une étude qui est scindée en deux parties et qui vise à traiter le problème de diagnostic des systèmes PV avec l'analyse de la caractéristique (I-V) et (P-V).

Dans la première partie, nous avons mis en place une étude comparative entre un système sain et un système avec défaut, nous avons extraire des données de la courbe en utilisant le système de réseau de neurones dans l'environnement Matlab/Simulink.

Après l'analyse des résultats, nous avons été convaincus que le système à l'aide du ANN est le plus adapté pour fournir des résultats clairs et net sur le type de défaut.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le développement d'une méthode pour la détection et la localisation de défaut dans un system PV, soit raccordé au réseau électrique ou non, permet de réduire les couts de maintenance et surtout augmenter la productivité. Dans le cadre du travail de ce mémoire en s'est principalement concentré sur la détection et la localisation de défaut du système PV c'est à dire du coté générateur PV par analyse de la caractéristique courant tension et puissance fournie par le générateur.

Ce travail a été orienté vers le diagnostic des défauts d'ombrage, l'augmentation de la résistance série et le nombre de cellules au niveau des panneaux photovoltaïques. Une approche globale a été proposée en se basant essentiellement sur l'analyse de la caractéristique (I-V). La motivation majeure de ce travaille réside dans le fait que les défauts cités précédemment engendrent de la même signature sur la caractéristique (I-V).

La contribution apportée dans ce travail apparait dans la capacité de séparer les trois signatures de chaque caractéristique I-V et P-V associée au type de défaut dans n'importe quel PV d'une manière automatique et de fournir des informations concernant les types de défauts cités précédemment.

Dans le premier chapitre. Nous avons donné un aperçu général sur les systèmes photovoltaïques. Et nous avons ensuite expliqué le fonctionnement des cellules photovoltaïques et leurs caractéristiques principales et la technique de fabrication des éléments constituant un générateur photovoltaïques en allant de la cellule jusqu'à l'injection de l'énergie électrique au réseau.

Le second chapitre nous avons étudié la modélisation du système PV sain en fonctionnement normal à travers les différentes caractéristiques de chaque partie constituant le GPV.

Dans le troisième chapitre on a fait une recherche pour quelque type de défauts liés au système photovoltaïque et on a défini le diagnostic et ses étapes.

Finalement, dans le quatrième chapitre nous avons appliqué une simulation numérique de l'installation PV à l'aide du logiciel Matlab/Simulink dans des conditions normales et défectueuses d'un système PV, nous avons ainsi fait une comparaison entre les résultats obtenus par simulation pour voir les caractéristiques électriques I-V et P-V en temps réel, en premier temps dans un cas sain sans défaut et dans d'autres cas où le système PV est en défaut.

A partir de ces caractéristiques nous avons procédé à l'application d'un algorithme basé sur le réseau de neurones, afin de détecter et de classifier en temps réel les différents défauts choisis dans notre étude subis par le PV, à travers les résultats obtenus nous pouvons conclure que notre algorithme ANN appliqué à donner des résultats satisfaisants.

Perspectives :

Pour la continuité de ce travail, il nous vient à l'esprit de définir les axes de recherches qui sont, à notre avis, prometteurs pour le développement de système photovoltaïque.

1-Généraliser le système ANN propose a fait de détecter d'autre défauts qui prouvent subir un système PV.

2-Ajouter la détection des défauts sur l'ensemble GPV et convertisseurs statique.

3-passage à la réalisation d'une photo type qui sert dans un laboratoire pour les travaux pratique aux étudiants de filière ER.

Référence Bibliographies

- [1] : Lete. Agence d'information globale (AFP). www.letemp.eh 2021.
- [2] : B. Farida « diagnostic de pannes d'un système pompage photovoltaïque », mémoire de magister. Université Tizi-Ouzou 2012.
- [3] : k. Djamila « commande d'un système de pompage photovoltaïque », mémoire de magister. Université Bejaia 2009.
- [4] : A. Lynda et Z. Djamila « étude d'un système pompage photovoltaïque », mémoire de magister université de Bejaia 2013.
- [5] : Z. Yanis D. Brahim « modélisation et simulation d'un système pompage photovoltaïque », mémoire de magister. Université Bejaia 2018.
- [6] : B. Hamza « modélisation d'un module photovoltaïque par les réseaux de neurones », mémoire de master. Université Oum El boughi 2017.
- [7] : T. Nacer G. Slimane « modélisation d'un système photovoltaïque », mémoire de magister. Université d'el oued 2015.
- [8] : T. Maamar « Détection et classification de défauts pour un GPV », mémoire de magister. Université de Chleff 2018.
- [9] : N. Aouchiche « défauts liés aux systèmes photovoltaïques autonomes et techniques de diagnostic », centre développement d'énergie Alger bouzaréah 2018.
- [10] : B. Abdeslam « étude et diagnostic des défauts fréquents au système photovoltaïque PV par emploi de la caractéristique courant-tension », mémoire de magister. Université Stif 2014.