

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département : Génie Electrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

Mameri Idir

Aberkane Faouzi

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : Electromécanique

Option : Electromécanique

Thème :

**Détection des défauts d'un générateur photovoltaïque par la méthode
d'analyse en fréquence FRA**

Devant le jury composé de :

Mme. YASSA	MCA	UAMOB	Présidente
Mr. ISSAOUNI	MCA	UAMOB	Examineur
Mr HOUASSINE	MCA	UAMOB	Encadreur
Mme OUADFEL	MAB	UAMOB	Co-encadreur

Année Universitaire 2019/2020

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Seigneur Dieu Tout Puissant, très miséricordieux de nous avoir donné le courage et la force d'accomplir ce modeste travail.

*Nous tenons à adresser nos vifs remerciements à nos promoteurs **Mr. HOUASSINE et Mm OUADFEL** pour leurs aides et leurs attentions durant tout le travail*

Nous remercions également les professeurs de génie électrique pour le savoir qui nous ont transmis et à tous les étudiants de génie électrique

En fin, nos remerciements aux membres de jury qui ont acceptés de juger avec volonté notre travail et d'avoir contribué à notre formation.

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma famille, elle qui ma doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui

Je dédie ce modeste travail en premier lieu à ma mère qui ma soutenu pour me permettre de réaliser tous mes objectifs et qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance et ma gratitude.

Particulièrement à mon père **A Rachid**, pour le gout a l'effort qu'il a suscité en moi, de par sa rigueur.

A vous mes frère (**azzeddinne, samir, rafik, salim, abdou**) qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

A mes oncles et tantes.

A toute ma famille **Aberkane** et **Kessouri** sans exception.

A mon binôme **IDIR** et sa famille.

A mes chers amis

Dédicace

Je dédie ce travail au Modèle de sacrifice, d'amour et de générosité. La lumière de mon chemin et les étoiles de ma vie, ma très chère mère.

A mon très cher père

A mes chers frères et sœurs.

A mes oncles et tantes.

A toute ma famille sans exception.

A mon binôme **FAOUZI** et sa famille.

A mes chers amis :

Madjid, Nabil, Hocine, Larbi, Nabil, Fahem

A mes amis de mon village

TABLE DES MATIERES

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I.1 Introduction..... 3

I.2 L'effet photovoltaïque 3

I.3 Principe de la conversion photovoltaïque 3

I.4 Structure d'une cellule photovoltaïque 4

I.5 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque 5

I.6 Les types de cellules P-V à base de silicium 6

 I.6.1 Cellules monocristallines 7

 I.6.2 Cellules poly-cristalline..... 7

 I.6.3 Cellules amorphes / à couches minces 8

I.7 Constitution d'un module photovoltaïque 8

I.8 Système de protection 9

I.9 Générateur photovoltaïque..... 10

I.10 Représentations électriques d'une cellule PV 11

I.11 Paramètre de la cellule photovoltaïque 12

 I.11.1 Courant de court-circuit I_{SC} 12

 I.11.2 Tension à circuit ouvert V_{oc} 13

 I.11.3 La puissance caractéristique d'une cellule photovoltaïque 13

 I.11.4 Rendement de la cellule η 13

 I.11.5 Factor de forme FF 13

I.12 Association des cellules photovoltaïques..... 14

 I.12.1 Association série 14

 I.12.2 Association en parallèle 14

 I.12.3 Association hybride (en série et en parallèle) 15

I.13 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque 15

I.14 Conclusion 16

Chapitre II : Méthodes de détection et localisation de défauts d'un PV

II.1 Introduction	17
II.2 Définition de quelques notions	17
II.3 Types de défauts dans le système photovoltaïque	18
II.4 Types de défauts du module PV (défaut liés aux Sys PV) 1 2 3 9 10	19
II.4.1 Défaut d'encapsulation	19
II.4.2 Perte d'adhérence de back-sheet	19
II.4.3 Fissuration des cellules	20
II.4.4 Défaut de mis-match et d'ombrage	20
II.4.5 Défaut de diodes de by-pass	20
II.4.6 Défaut de module	21
II.4.7 Le défaut de connectique	22
II.4.8 Le défaut de diode anti retour	22
II.4.9 Défaut de mise à la terre	23
II.4.10 Défaut d'arc	23
II.5 Méthodes de diagnostic de défauts dans un champ PV	23
II.6 Méthodes de diagnostic courantes industrialisées	24
II.6.1 Méthodes non-électrique	24
II.6.2 Méthode électrique	24
II.7 Méthodes dans littérature	25
II.7.1 Méthode de réflectométrie	25
II.7.2 Méthode d'analyse du point de fonctionnement	25
II.7.3 Méthode Analyse de la puissance et de l'énergie produite	25
II.7.4 Méthodes analyse de la caractéristique statique :	25
II.8 Méthode de l'analyse en fréquence	26
II.8.1 Principe de la FRA	27
II.8.2 Méthode de balayage	27
II.9 Conclusion	28
 Chapitre III :Résultats et interprétations	
III.1 Introduction	29
III.2 Identification des paramètres de la cellule photovoltaïque	29
III.3 Spectroscopie d'impédance	29
III.3.1 Principe de la méthode	29
III.4 La réponse fréquentielle d'une cellule selon Bode	30
III.5 Représentation de la cellule	31

III.6 Réponse fréquentielle d'un panneau solaire.....	32
III.7 Application des défauts	33
III.7.1 Défaut de court-circuit.....	33
III.7.2 Défauts de circuit ouvert.....	35
III.7.3 Défaut de la diode by-pass.....	36
III.7.4 Défaut de connectique	39
III.8 Représentation de 24 cellules en branchement mixte	40
III.9 Réponse fréquentielle	40
III.10 Application des défauts	41
III.10.1 Défaut de court circuit	41
III.10.2 Défaut de circuit ouvert	42
III.10.3 Défaut de connectique	43
III.10.4 Défauts de la diode anti retour.....	44
III.10.5 Défaut de l'arc	45
III.10.6 Défauts de module	46
III.11 Conclusion.....	47
Conclusion générale	49

Bibliographie

Résumé

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Figure I.1 : Schéma de principe de la conversion photoélectrique	4
Figure I.2 : Structure d'une cellule photovoltaïque.....	4
Figure I.3 : Cellule photovoltaïque	5
Figure I.4 : Principe de fonctionnement d'une cellule solaire(Présence d'une jonction PN)	6
Figure I.5 : Cellule monocristalline.....	7
Figure I.6 : Cellule poly-cristalline	7
Figure I.7 : Cellules amorphes / à couches minces	8
Figure I.8 : Groupement de cellules PV	8
Figure I.9 : Composants d'un générateur PV	9
Figure I.10 : Module PV avec deux diodes de by-pass	10
Figure I.11 : Protection avec une diode anti-retour.....	10
Figure I.12 : Structure d'un champ PV	11
Figure I.13 : Schéma équivalent d'une cellule solaire idéale.....	12
Figure I.14 : Schéma équivalent d'une cellule solaire réelle	12
Figure I.15 : Caractéristique résultante d'un groupement en série de n_s cellules identique.....	14
Figure I.16 : Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de n_p cellules identiques	14
Figure I.17 : Caractéristique résultante d'un groupement hybride de (n_p+n_s)	15

Chapitre II : Méthodes de détection et localisation de défauts d'un PV

Figure II.1 : Schéma bloc d'un groupe de cellules PV avec la diode de bypass défailante	21
Figure II.2 : Schémas bloc d'un module PV défailant	21
Figure II.3 : Schéma bloc d'un string PV avec la résistance de connectique non nulle.....	22
Figure II.4 : Schémas bloc d'un champ PV ave la diode anti retour défailante.....	22
Figure II.5 : La localisation des défauts par la caméra thermique	24
Figure II.6 : Allure de la caractéristique I-V d'un champ PV en fonctionnement défailant...	26

Chapitre III : Résultats et interprétations

Figure III.1 : Diagramme de Nyquist caractéristiques du modèle dynamique d'une cellule PV	30
Figure III.2 : Diagramme de Bode illustre le changement des parametres d'une cellule	30

Figure III.3 : Modèle simulink d'une cellule PV	31
Figure III.4 : La réponse fréquentielle d'une seule cellule ainsi que son angle.....	31
Figure III.5 : Réponse fréquentielle pour un panneau de 24 cellules en série	32
Figure III.6 : Défaut de court-circuit des cellules	33
Figure III.6.1 : Zoom sur la zone de variation de R_p+R_s	34
Figure III.6.2 : Zoom sur la zone de variation de C_p	34
Figure III.6.3 : Zoom sur la zone de variation de R_s	34
Figure III.7 : Comparaison entre le défaut de circuit ouvert et l'état sain	35
Figure III.7.1 : Zoom sur les variations de R_p+R_s	35
Figure III.7.2 : Zoom sur les variations de C_p	35
Figure III.7.3 : Zoom sur les variations de R_s	36
Figure III.8 : Réponse de 24 cellule en série avec et sans diodes by-pass	37
Figure III.9 : Résultats de défaut de la diode by-pass (CC)	37
Figure III.10 : Défaut de circuit ouvert	38
Figure III.11 : Défaut d'impédance	39
Figure III.12 : Défaut de connectique	39
Figure III.13 : Etat sain parallèle.....	40
Figure III.14 : Défaut de court-circuit	41
Figure III.14.1 : Zoom sur la zone de variation de C_p	41
Figure III.15 : Défaut de circuit ouvert	42
Figure III.15.1 : Zoom sur la zone de variation de $R_s + R_p$	42
Figure III.15.2 : Zoom sur la zone de variation de C_p	42
Figure III.15.3 : Zoom sur la zone de variation de R_s	43
Figure III.16 : Défaut de connectique	43
Figure III.16.1 : Zoom sur la zone de variation C_p	44
Figure III.16.2 : Zoom sur la zone de variation R_s	44
Figure III.17 : Comportement de la réponse fréquentielle lors de l'application des défauts (Branche 1).....	44
Figure III.18 : Comportement de la réponse fréquentielle lors de l'application des défauts (Branche 2).....	45
Figure III.19 : Défaut de l'arc	46
Figure III.20 : Défaut de module « shunté »	46
Figure III.21 : Défaut de module « court-circuit ».....	47

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Chapitre II : Méthodes de détection et localisation de défauts d'un PV

Tableau II.1 : Types de défauts dans le système photovoltaïque 18

Tableau II.2 : Les types des défauts rencontrés au niveau du générateur 23

Chapitre III : Résultats et interprétations

Liste des abréviations

I-V : caractéristique courant-tension

P-V : caractéristique puissance-tension

PV : photovoltaïque

Z_{pv} : impédance photovoltaïque

R_s : résistance série

R_p : résistance parallèle

C_p : capacité parallèle

n_p : nombre de cellule en parallèle

n_s : nombre de cellule en série

CC : court-circuit

CO : circuit-ouvert

STC : condition de test standard

FRA : analyse de la réponse en fréquence

Introduction générale

Dans les dernières années, la croissance du besoin en énergie ainsi que la pollution provenant de l'utilisation des énergies fossiles poussent le grand public à utiliser les énergies renouvelables. Dans ce contexte, l'énergie photovoltaïque est l'un des importantes sources d'énergie renouvelable qui présente un dénouement à nos problèmes de production d'énergie. De plus, cette énergie semble la plus prometteuse, non polluante et inépuisable. Néanmoins, la production de cette énergie est non linéaire et elle varie en fonction de l'intensité lumineuse et de la température.

Le principe photovoltaïque a été découvert par le physicien français A. Becquerel en 1839 et expliqué par Albert Einstein en 1905, c'est pour cette explication qu'il a reçu le prix Nobel de physique en 1921. L'effet photovoltaïque permet la transformation de l'énergie lumineuse en électricité. Ce principe repose sur la technologie des semi-conducteurs. Il consiste à utiliser les photons pour libérer les électrons et créer une différence de potentiel entre les bornes de la cellule qui génère un courant électrique continu.

Les systèmes photovoltaïques sont comme tous autres systèmes électrique, puisque il est exposé à plusieurs défauts, ces derniers 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.

Les systèmes photovoltaïques sont connus par leurs caractéristiques I-V et P-V, qui détermine leur état actuel, et on l'utilise souvent pour détecter la présence d'une défaillance. Les caractéristiques I-V et P-V nous aident aussi pour obtenir une puissance maximum.

Plusieurs méthodes de diagnostic sont utilisées pour détecter les différents défauts qui se manifestent sur un générateur photovoltaïque, parmi ces méthodes on s'intéresse à l'analyse de la réponse en fréquence de ces derniers.

L'analyse en fréquence, souvent appelée FRA et une méthode fiable et efficace dans la détection des défaillances, elle est basée sur le principe de comparaison entre une réponse fréquentielle d'un système dans son état sain et lorsque il est défaillant

Le présent travail est structuré en trois chapitres.

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.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les différents défauts qui peuvent se produire dans une installation photovoltaïque. Les méthodes de diagnostic des défauts dans un générateur PV.

Les mesures du SI fournissent une valeur d'impédance complexe (Z_{PV}) pour une gamme de fréquences de signaux AC. En utilisant une méthode d'ajustement sur les données mesurées, il est possible d'extraire les paramètres du circuit équivalent du panneau PV.

Introduction générale

L'analyse des paramètres extraits, tels que la capacité C_p , la résistance R_p en parallèle et la résistance R_s en série devraient nous permettre d'évaluer l'état de dégradation des différentes parties du module PV

Le troisième et le dernier chapitre est consacré aux résultats de la simulation des différents défauts et leur discussion. Il s'agit ici de faire une comparaison effectuée entre la modélisation du générateur PV sain et en défaut est abordé.

Nous terminons par une conclusion générale.

CHAPITRE I
Généralités sur les
systemes
photovoltaïque

I.1 Introduction

Dans ce premier chapitre nous présentons la cellule photovoltaïque, l'élément de base d'un générateur PV. Et le phénomène de conversion photovoltaïque ainsi que le phénomène de production de l'électricité, on présentera aussi les différents types des cellules ainsi que son schéma électrique équivalent.

I.2 L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque dont le terme souvent abrégé par les lettres P et V est un phénomène physique propre à certains matériaux communément appelés les semi-conducteurs (souvent le silicium). Il est composé à partir de trois étapes qui se résument en l'absorption de lumière par le matériau de la cellule P.V. Le transfert d'énergie des photons vers les charges électriques et finalement la collecte de charge.

La puissance du champ photovoltaïque est directement proportionnelle aux nombres de cellules employées dans une installation. Seulement, une exposition au rayonnement homogène de l'ensemble de la surface est exigée pour une meilleure rentabilité. Pailleurs, l'obtention de puissance maximale peut être assurée par observation des trois critères : l'orientation, l'inclinaison et la température. Cette dernière doit être maintenue à un niveau minimal au sein du dispositif par une ventilation importante. [1]

I.3 Principe de la conversion photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque utilise les rayonnements solaires et les transforme en électricité, l'énergie des photons arrivant à la surface de la terre. La lumière solaire (photons) transmet son énergie aux électrons contenus dans un semi-conducteur (qui constitue une cellule photovoltaïque), cette transformation (effet photovoltaïque) est sans action mécanique, sans bruit, sans pollution et sans combustible. [2] La figure I.1 montre schéma de principe de la conversion photovoltaïque.

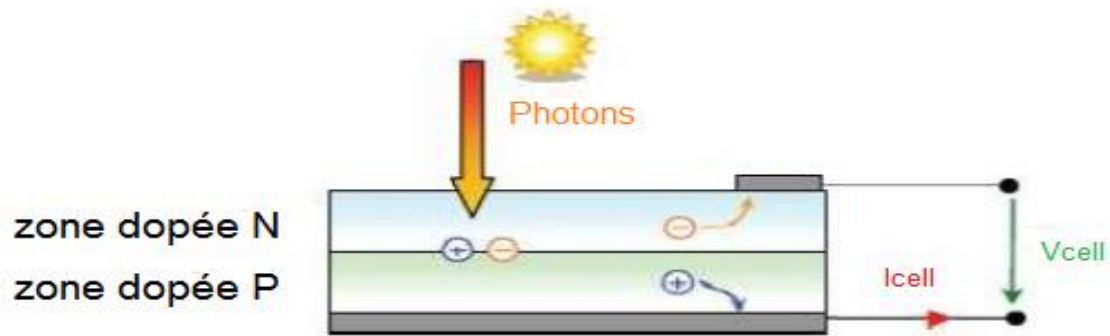


Figure I.1 : Schéma de principe de la conversion photoélectrique [3]

I.4 Structure d'une cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques permettent la conversion directe de l'énergie solaire en énergie électrique, la cellule photovoltaïque est capable de créer une différence de potentiel à partir d'orienter les électrons, en présence de lumière, la couche supérieure de la cellule est composée de silicium, elle contient une quantité importante d'électrons libres, qui donnant une charge négative, même la couche inférieure est composée de silicium et contient une quantité d'électrons libres, qui donnent une charge positive, la cellule génère un champ électrique, lorsque les deux couches entrent en contact.

Cet effet photovoltaïque doit être à cause de la forme de deux couches, une couche conductrice p avec un excédent de porteurs de charge positifs et une couche conductrice n avec un excédent de porteurs de charge négatifs, à cause de ce déséquilibre et en présence de la lumière un champ électrique interne se provoque. La figure I.2 montre la structure d'une cellule photovoltaïque. [4]

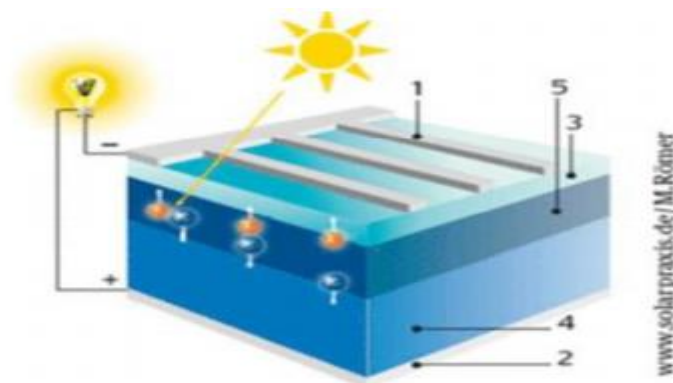


Figure I.2 : Structure d'une cellule photovoltaïque [5]

1 : électrode négative

3 : silicium dopé N

5 : couche limite

2 : électrode positive

4 : silicium dopé P

Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire (ou module photovoltaïque). Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés champ photovoltaïque. La figure I.3 représente un model d'une cellule photovoltaïque. [3]



Figure I.3 : Cellule photovoltaïque

I.5 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque

Une cellule solaire photovoltaïque est composée d'une jonction p-n, la couche supérieure étant un matériau de type n et la couche inférieure de type p, c'est-à-dire d'un contact entre deux semi-conducteurs de type différent : l'un de type positif, l'autre de type négatif. Dans la pratique, pour le cas du silicium, on obtiendra un semi-conducteur de type P (positif) en dopant le silicium avec du bore et on obtiendra celui de type N (négatif) en le dopant avec du phosphore.

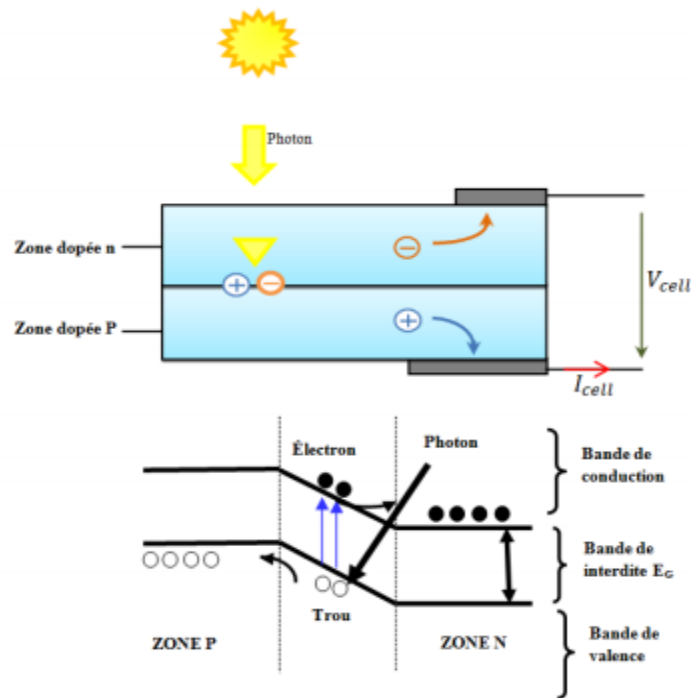


Figure I.4 : Principe de fonctionnement d'une cellule solaire

(Présence d'une jonction PN) [6]

Quand ces semi-conducteurs sont exposés à la lumière (composée de photons), un photon possède une énergie supérieure à celle correspondant à la bande interdite (dite énergie de Gap E_g), ce photon pourra "arracher" un électron à la bande de valence et l'amener à la bande de conduction. Cependant tout arrachement d'électron occasionne la création d'un trou. En définitive, à chaque fois qu'un photon arrive avec une énergie supérieure à l'énergie de Gap, il y a création d'une paire électron-trou. Normalement, l'électron trouve rapidement un trou pour se replacer, et l'énergie apportée par le photon disparaît. Le principe d'une cellule photovoltaïque est de forcer les électrons et les trous à se diriger chacun vers une face opposée du matériau photovoltaïque au lieu de se replacer simplement dans la même position qu'avant : ainsi apparaîtra une différence de potentiel, c'est à dire une tension entre les deux faces, comme dans une pile. Il s'agit en somme de faire déplacer tous ces électrons et ces trous dans une seule et même direction pour créer un courant continu. [6]

I.6 Les types de cellules P-V à base de silicium

Les panneaux solaires en silicium composent, de nos jours, la majorité des systèmes convertisseurs de lumière solaire en électricité. Cependant, en raison d'un rendement qui peut être amélioré et d'un coût qui reste relativement élevé, les chercheurs cherchent

continuellement des alternatives. Des cellules solaires en pérovskite pourraient être une nouvelle solution. Actuellement sur le marché, les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont : le silicium mono ou poly-cristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou CIS (Cuivre Générateur photovoltaïque 23 Indium Sélénium). [7]

I.6.1 Cellules monocristallines

Les cellules au silicium monocristallin offrent le meilleur rendement parmi les panneaux solaires disponibles dans le commerce; leur rendement est de l'ordre de 14 à 16% équivalent d'environ 7m² pour obtenir 1 kilowatt crête (kWc). (Le watt crête étant l'unité utilisée pour mesurer la puissance d'un panneau photovoltaïque dans des conditions standards : ensoleillement de 1.000W/m², température des cellules de 25°). La figure I.5 montre un modèle d'une cellule monocristalline. [8]

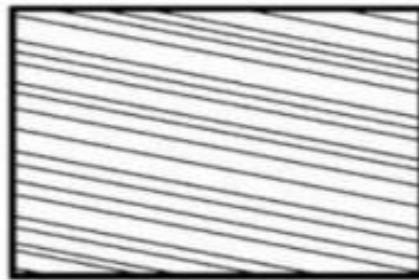


Figure I.5 : Cellule monocristalline [8]

I.6.2 Cellules poly-cristalline

Il est constitué de multiples petits cristaux de tailles et de formes variées, Le silicium poly-cristallin est la technologie la plus répandue sur le marché mondial vu son bon rendement (environ 15 %) et de sa garantie (jusqu'à 20 ans), Il offre actuellement un bon rapport qualité/prix. [8]

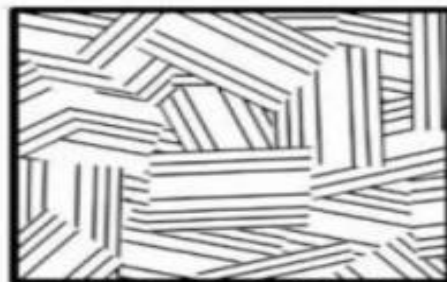


Figure I.6 : Cellule poly-cristalline [8]

I.6.3 Cellules amorphes / à couches minces

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs. Son rendement est (de 7 à 10 %) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière. La plupart des garanties du produit sont de 10 ans. [8]



Figure I.7 : Cellules amorphes / à couches minces [8]

I.7 Constitution d'un module photovoltaïque

Un module PV est constitué de plusieurs groupes PV qui est à la base un ensemble de cellules PV raccordées en série ayant pour objectif d'augmenter leur tension. Ces cellules sont rassemblées en parallèle avec une seule diode by-pass [9] comme le montre la figure I.8

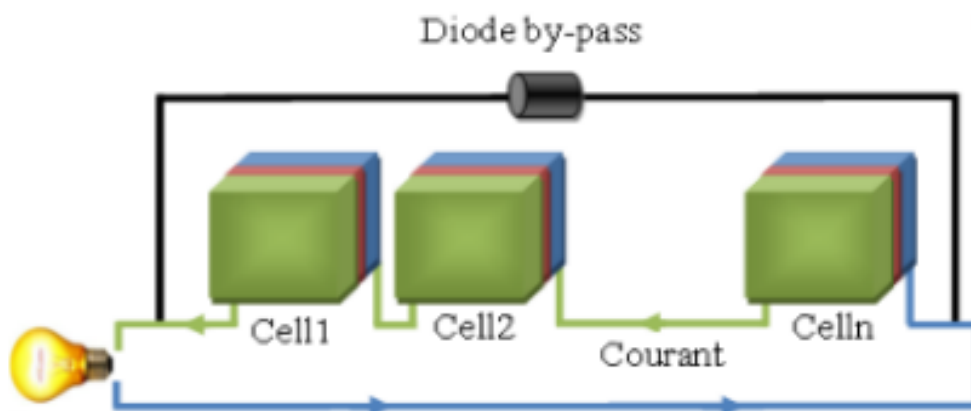


Figure I.8 : Groupement de cellules PV [10]

Ensuite ces groupes PV sont raccordés entre eux en parallèle afin d'augmenter le courant ainsi la puissance va être augmenté à des dizaines ou des centaines de watt par module (panneau).

Plusieurs autres composants sont ajoutés tels que (boîte de jonction, verre dur, verre trempé, joint silicone, cadre en aluminium et autres...) pour une sécurité mécanique du panneau et avoir un meilleur rendement [11]. Comme le montre la figure I.9



Figure I.9 : Composants d'un générateur PV [12]

I.8 Système de protection

Des protections électriques sont ajoutées aux modules PV, afin d'augmenter sa durée de vie, en évitant les pannes liées à l'association des cellules. Pour cela, deux types de protections sont employées dans l'installation PV. [13]

a) Diode de by-pass

Les cellules dans un module sont associées en plusieurs groupes. Chaque groupe est ensuite connecté en antiparallèle avec une diode, appelée diode de by-pass ou diode de dérivation. Cette diode sert à protéger les cellules contre leur fonctionnement en régime inverse. On compte généralement 18 cellules pour une diode de by-pass. Par contre, ce nombre peut varier selon les différents fabricants des modules. Par ailleurs, pour mieux protéger les cellules, la connexion de chaque cellule individuelle à une diode de by-pass, d'autres architectures de connexion des diodes de by-pass dans le module, comme on peut le voir dans la figure I.10, mais ces propositions ne sont pas largement appliquées du fait de la difficulté de fabrication. [14]

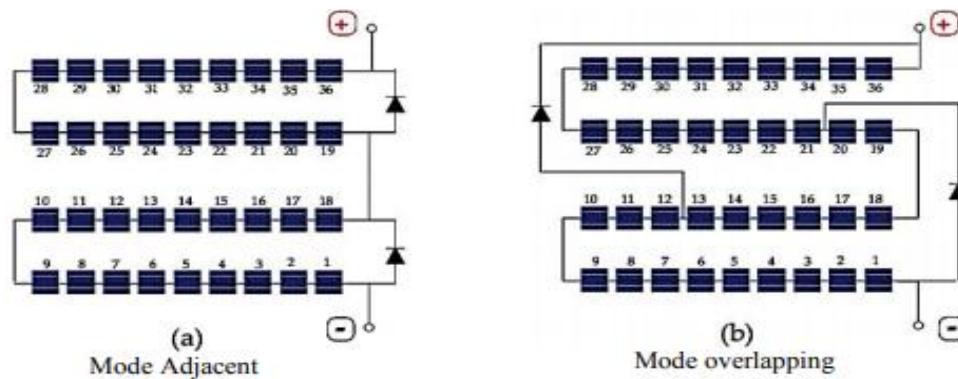


Figure I.10 : Module PV avec deux diodes de by-pass [13]

b) 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. [15]

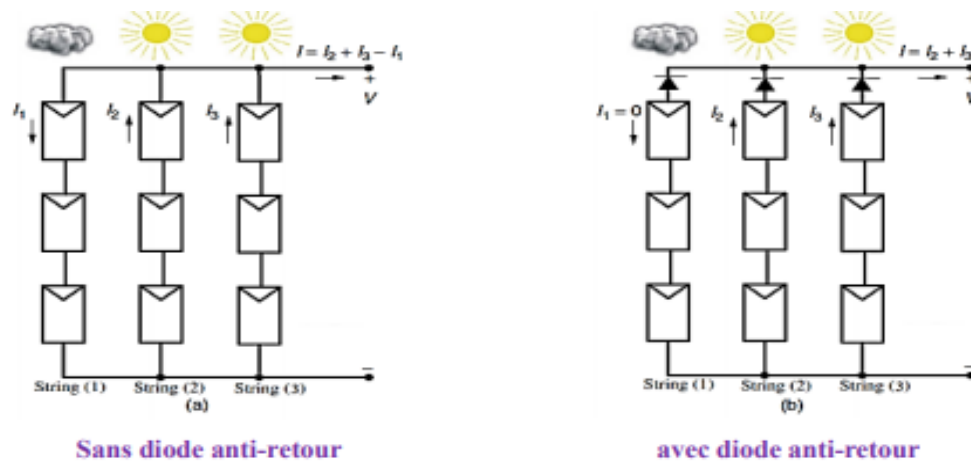


Figure I.11 : Protection avec une diode anti-retour [13]

I.9 Générateur photovoltaïque

C'est un dispositif qui permet de convertir l'énergie solaire en énergie électrique. Il est constitué d'un certain nombre de panneau selon la puissance crête souhaitée. Ces derniers sont formés à partir des modules reliés entre eux en série ou en parallèle. Le module est un ensemble de cellules PV.

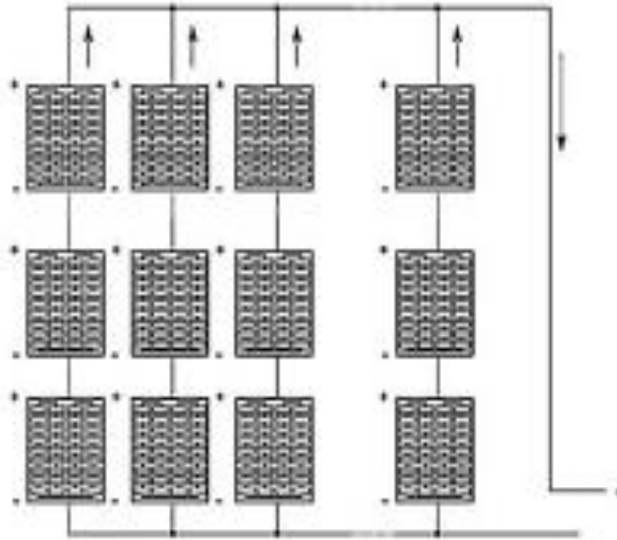


Figure I.12 : Structure d'un champ PV [13]

I.10 Représentations électriques d'une cellule PV

La cellule solaire dans l'obscurité n'est pas un composant actif. Elle se comporte comme une jonction PN c'est-à-dire une diode. Dans le cas idéal, le courant circulant dans une cellule est donc donné par la relation de Shockley.

$$I_D = I_S \left[\exp\left(\frac{qV}{AkT}\right) \right] \quad (\text{I.1})$$

Où I_S est le courant de saturation, q la charge de l'électron, k la constante de Boltzmann, T la température et A le facteur d'idéalité de la diode.

Lorsque la photopile est éclairée il y a création d'un photo-courant dû au rayonnement solaire. La photopile pourra donc être assimilée à une source de courant en parallèle avec une diode, le courant circulant dans celle-ci devient :

$$I(V) = I_L - I_D \quad (\text{I.2})$$

$$= I_L - I_S \left[\exp\left(\frac{qV}{AkT}\right) - 1 \right] \quad (\text{I.3})$$

Pour tenir compte de l'ensemble des pertes dans la cellule, on introduit une résistance série et résistance parallèle et la caractéristique courant-tension de la cellule devient :

$$I(V) = I_L - I_D - I_{R_{Sh}} \quad (\text{I.4})$$

$$= I_L - I_S \left[\exp\left(\frac{qV}{AkT}\right) - 1 \right] - \frac{V + I R_S}{R_p} \quad (\text{I.5})$$

La résistance série R_S et une résistance interne de la cellule PV qui dépend principalement de la résistivité au niveau des grilles collectrices. La résistance shunt R_p est une résistance due au courant de fuite au niveau de la jonction P-N d'une cellule PV. [16]

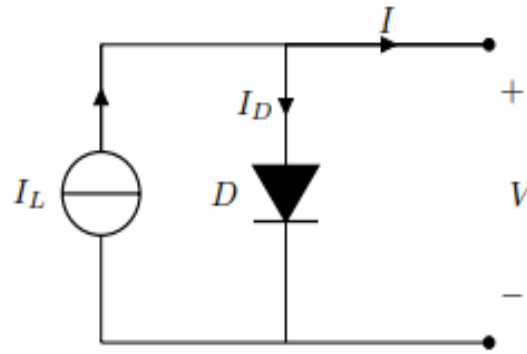


Figure I.13 : Schéma équivalent d'une cellule solaire idéale

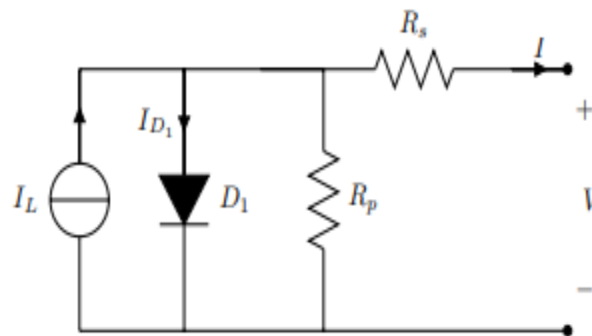


Figure I.14 : Schéma équivalent d'une cellule solaire réelle

I.11 Paramètre de la cellule photovoltaïque

La cellule solaire est caractérisée par le rendement de conversion, une tension à circuit ouvert V_{oc} , un courant de court-circuit I_{sc} et un facteur de forme FF . Ces paramètres sont déterminés à partir de la caractéristique courant-tension.

I.11.1 Courant de court-circuit I_{sc}

Le courant de court-circuit I_{sc} est le courant obtenu quand les bornes de cellules sont peu court-circuitées ($V = 0$). Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement solaire et de la température.

I.11.2 Tension à circuit ouvert V_{oc}

La tension à circuit ouvert V_{oc} est obtenue quand le courant qui traverse la cellule est nul. Elle dépend essentiellement du type de cellule solaire, de la résistance shunt et de la barrière d'énergie. Sa valeur diminue avec la température et varie peu avec l'intensité lumineuse. [16]

I.11.3 La puissance caractéristique d'une cellule photovoltaïque

Dans des conditions ambiantes de fonctionnement fixes (éclairage, température, vitesse de circulation de l'air ambiant, etc.), la puissance électrique P disponible aux bornes d'une cellule PV est égale au produit du courant continu fourni I par la tension continue de la cellule V .

$$P = V \cdot I \quad (\text{I.6})$$

I.11.4 Rendement de la cellule η

Le rendement η des cellules PV, désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme le rapport de la puissance maximale fournie par la cellule à la puissance lumineuse d'incident.

$$\eta = \frac{V_m I_m}{E A} \quad (\text{I.7})$$

A est la surface génératrice en m^2 et E est l'ensoleillement en W / m^2 .

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le courant de court-circuit et la tension à circuit ouvert.

I.11.5 Factor de forme FF

Un paramètre important est souvent utilisé à partir de la caractéristique $I(V)$ pour qualifier la qualité d'une cellule ou d'un générateur PV, c'est le facteur de remplissage ou facteur de forme, encore souvent appelé par sa dénomination anglaise « Fill Factor » correspond à la puissance maximum délivrée par la cellule, divisée par la puissance formée par le produit $V_{oc} \cdot I_{sc}$, correspondant à la puissance maximale idéale. Plus la valeur de ce facteur sera grande, plus la puissance exploitable le sera également. Les meilleures cellules auront donc fait l'objet de compromis technologiques pour atteindre le plus possible les caractéristiques idéales. [16]

$$\eta = \frac{P_{max}}{V_{OC}I_{SC}} \quad (I.8)$$

I.12 Association des cellules photovoltaïques

I.12.1 Association série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné, la figure I.15 montre la caractéristique résultante obtenue en association série n_s cellules identiques. [17]

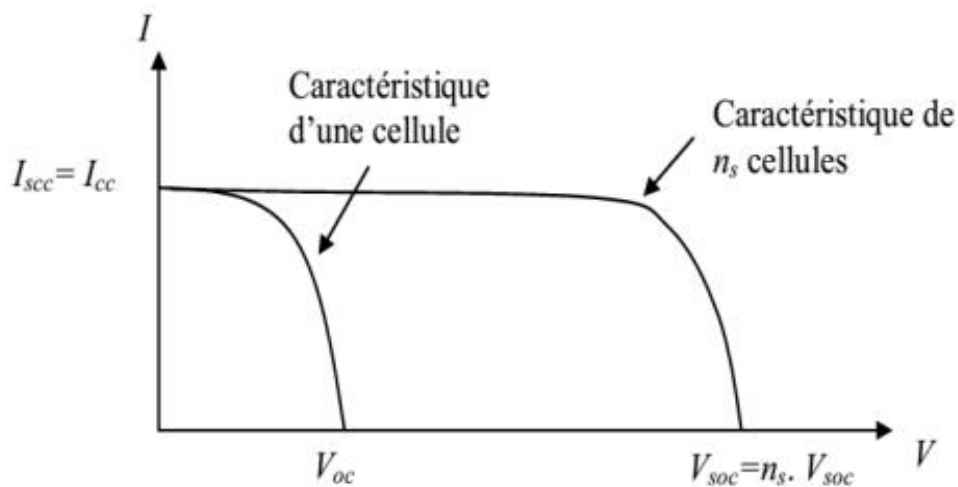


Figure I.15 : Caractéristique résultante d'un groupement en série de n_s cellules identiques [17]

I.12.2 Association en parallèle

Dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante de groupement est obtenue par addition des courants à tensions donnée. La figure I.16 montre la caractéristique résultante obtenue en associant en parallèle n_p cellules identiques. [17]

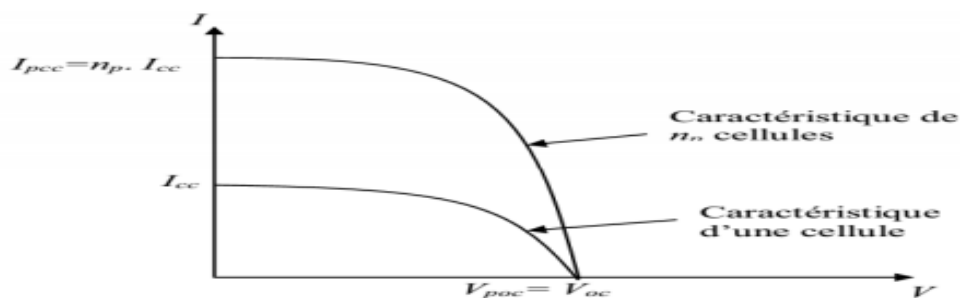


Figure I.16 : Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de n_p cellules identiques

[17]

I.12.3 Association hybride (en série et en parallèle)

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit total et de la tension à vide totale sont données par les relations :

$$I_{cc}^t = n_p \cdot I_{cc} \quad (\text{I.9})$$

$$V_{oc}^t = n_s \cdot V_{oc} \quad (\text{I.10})$$

Avec :

n_p : nombre des cellules en parallèle.

n_s : nombre des cellules en série.

La figure I.17 montre la caractéristique résultante obtenue en associant, en série et en parallèle n_p cellules identiques. [17]

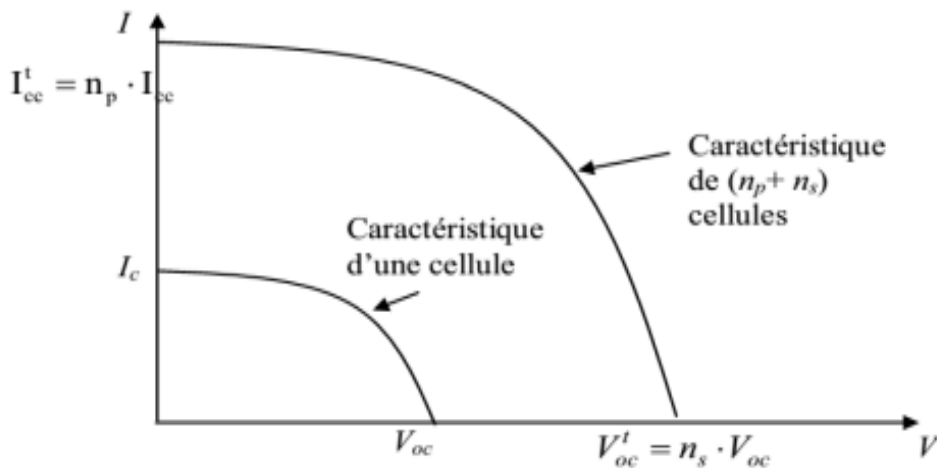


Figure I.17 : Caractéristique résultante d'un groupement hybride de (n_p+n_s) [17]

I.13 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

Malgré les avantages qu'elle présente, l'énergie photovoltaïque présente certains inconvénients qui peuvent être résumés comme suit :

1) **Avantage**

Les systèmes photovoltaïques ont plusieurs avantages :

- Ils sont non polluants sans émissions ou odeurs discernables ;
- Ils peuvent être des systèmes autonomes qui fonctionnent sûrement, sans surveillance pendant de longues périodes ;
- Ils n'ont besoin d'aucun raccordement à une autre source d'énergie ou à un approvisionnement en carburant ;
- Ils peuvent être combinés avec d'autres sources d'énergie pour augmenter la fiabilité du système ;
- Ils peuvent résister à des conditions atmosphériques pénibles comme la neige et la Glace ;
- Ils ont une longue durée de vie. [18]

2) Inconvénients

- La fabrication des modules photovoltaïques relève de la haute technologie, ce qui rend le cout très élevé ;
- le rendement réel d'un module photovoltaïque est actuellement de l'ordre de 15 à 23 % ;
- ils sont tributaires des conditions météorologiques ;
- L'énergie issue du générateur photovoltaïque est continue et de faible voltage. Donc, elle doit être transformée par l'intermédiaire d'un convertisseur statique ;
- beaucoup d'appareils vendus sur le marché fonctionnent avec du 220 V alternatif. [18]

I.14 Conclusion

Le premier chapitre est consacré pour définir les différents paramètres de la cellule photovoltaïque ensuite on a donné plusieurs avantages ainsi que les inconvénients, ce qui rend l'énergie photovoltaïque a plus d'avenir et une croissance prometteuse dans les années qui suivent, suite à l'achèvement des sources d'énergies fossiles. Comme tous les systèmes, le système subit plusieurs défauts causé par la nature quelquefois et d'autre fois par mauvaise installation. Le prochain chapitre est consacré à l'étude de ces défauts et leurs techniques de diagnostiques.

CHAPITRE II
Méthodes de détection
et localisation de
défauts d'un panneau
PV

II.1 Introduction

Les panneaux solaires photovoltaïques sont les plus utilisés et les plus répandus dans le marché, ils sont privilégiés pour leur rentabilité et leur fiabilité ainsi que leur facilité d'installation et d'utilisation, ils sont de plus en plus appliqués dans différents domaines allant des installations résidentielles, commerciales et centrales de production d'électricité jusqu'aux systèmes spatiaux .

Nous allons voir dans ce chapitre, la description des types de défauts d'une manière générale dans un système photovoltaïque, ensuite en site les défauts les plus fréquents dans un générateur photovoltaïque, et à la fin nous allons voir les méthodes de diagnostic des défauts d'un panneau photovoltaïque.

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. Ils sont alors responsables d'une baisse voire d'un arrêt total de la production photovoltaïque.

II.2 Définition de quelques notions

II.2.1 Une cellule photovoltaïque

C'est l'élément de base de la conversion photovoltaïque. Son fonctionnement est basé sur les propriétés des matériaux semi-conducteurs qui ont pour but de convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique.

II.2.2 Défaut

On appelle défaut tout écart entre la caractéristique observée sur le dispositif et la caractéristique théorique.

II.2.3 Symptôme

C'est le changement de la quantité observée du comportement normal.

II.2.4 Détection

Elle consiste à reconnaître qu'un dispositif est dans un mode de dysfonctionnement à partir de la connaissance de certaines caractéristiques.

II.2.5 Localisation

Elle consiste à déterminer les causes physiques ou fonctionnelles d'une panne, c'est-à-dire à déterminer le ou les éléments à l'origine du défaut.

II.3 Types de défauts dans le système photovoltaïque

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. Ils sont alors responsables d'une baisse voir d'un arrêt total de la production photovoltaïque. Les défauts sont classés dans un tableau suivant l'emplacement de leur apparition dans une installation PV (panneaux, connexion, câblage, système de protection).

Tableau II.1 : Types de défauts dans le système photovoltaïque [19]

Éléments du générateur PV	Origines de défauts d'anomalies
Générateur PV	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pollution, sable, neige etc. ▪ Détérioration des cellules, fissure, échauffement des cellules neige etc. ▪ pénétration de l'humidité, corrosion des liaisons. ▪ module de performances différentes, ▪ Module arraché ou cassé ▪ Modules court-circuité ▪ Modules inversés ▪ Mauvaise orientation et inclinaison des modules
Boite de jonction	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rupture du circuit électrique ▪ destruction de la liaison ▪ corrosion des connexions
Câblage et connecteur	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Circuit ouvert ▪ Court-circuit ▪ mauvais câblage ▪ corrosion des contacts ▪ rupture du circuit électrique
Diodes de protection	<ul style="list-style-type: none"> ▪ inversion de la polarité des diodes au montage, diodes mal connectée. ▪ absence ou no fonctionnement de diodes

Onduleur	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dégradation à cause de la chaleur ou défaut d'isolement ▪ Surtension ou onduleur non mis a la terre
Le système d'acquisition	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coupure de courant ou défaut de paramétrage ▪ Carte électronique mal positionnée

II.4 Types de défauts du module PV

Le générateur PV est le principal composant de l'installation PV. Toute rupture liée au module PV affectera les performances du système PV. Les types de défauts rencontrés à ce niveau du générateur sont présentés dans le tableau ci-dessus. On citera quelques défauts qui se produisent au niveau de générateur PV

II.4.1 Défaut d'encapsulation

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

Parmi les techniques recommandées pour la détection de la délamination, on peut citer, la thermographie, le scanner à ultrasons et la tomographie à rayons X. L'irrégularité peut être quantifiée par un réflectomètre. Quant à la décoloration, c'est un autre défaut d'encapsulation qui engendre la corrosion la diminution de la résistance en série, ce problème est considéré comme le type de dégradation plus fréquent des panneaux PV. [20]

II.4.2 Perte d'adhérence de back-sheet

Une back-sheet d'un panneau est une protection des composants électroniques de facteurs externes et une sécurité de hautes tensions continues. Cette anomalie être causée par la délamination. Si elle se produit, les composants électriques actifs seront exposés. Cela se

traduirait par un défaut d'isolement qui présente des problèmes de sécurité. La forme et la composition des matériaux en de back-sheet peuvent être la cause de ce défaut. [21]

II.4.3 Fissuration des cellules

La fissure peut survenir à n'importe quel moment. Elle peut être causée au cours de processus de fabrication ou au cours de l'emballage et le transport par une mauvaise manipulation et vibration. Processus d'installation est autre cause de ce défaut. [22]

II.4.4 Défaut de mis-match et d'ombrage

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

Le défaut d'ombrage est un cas particulier du défaut de mis-match 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.

Deuxièmement, des cellules PV peuvent être exposées à des conditions de fonctionnement différentes causées par les différents défauts. [9] notamment les défauts mentionnés dans le Tableau II.1.

II.4.5 Défaut de diodes de by-pass

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

Leur détection est difficile car ils n'apparaissent que lorsque le problème de mismatching dans la courbe de la cellule se produit. Ces défauts peuvent être apparaitre suite à la rupture de la connexion de la diode ou le montage inverse de la diode by-pass. [21]

Dans son bon état, la diode de by-pass est passante quand la somme de la tension des cellules qu'elle protège est négative et elle est bloquée dans le cas contraire. Dans son état défaillant, ce rôle de protection n'est plus assuré. Les défauts électriques associés à cette diode sont : Diode court-circuitée, diode déconnectée et diode inversée. En plus de ces défauts électriques,

cette diode pourrait être éventuellement claquée en cours de fonctionnement et se comporter comme une impédance d'une valeur quelconque. [9]

La Figure II.1 montre un schéma d'un groupe de cellules dans lequel la diode de by-pass est remplacée par un élément qui peut, à chaque fois, prendre un des états défectueux de la diode : court-circuit, circuit ouvert ...

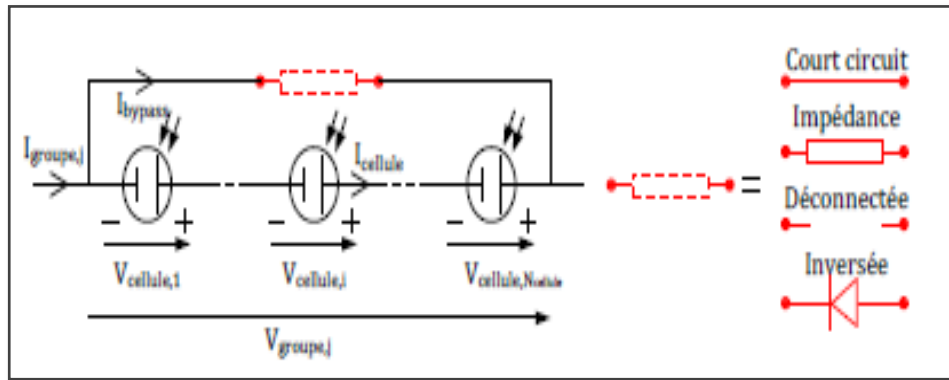


Figure II.1 : Schéma bloc d'un groupe de cellules PV avec la diode de by-pass défectueuse [23]

II.4.6 Défaut de module

Le défaut de module se réfère à tous les défauts électriques associés à la connexion d'un module dans un string PV. Selon le Tableau II.1, ces défauts électriques sont : module court-circuité, module connecté en parallèle avec une impédance et inversion de la polarité du module. La Figure II.2 montre le schéma d'un module avec l'élément qui représente, à chaque fois, un des états défectueux de la connexion du module. [9]

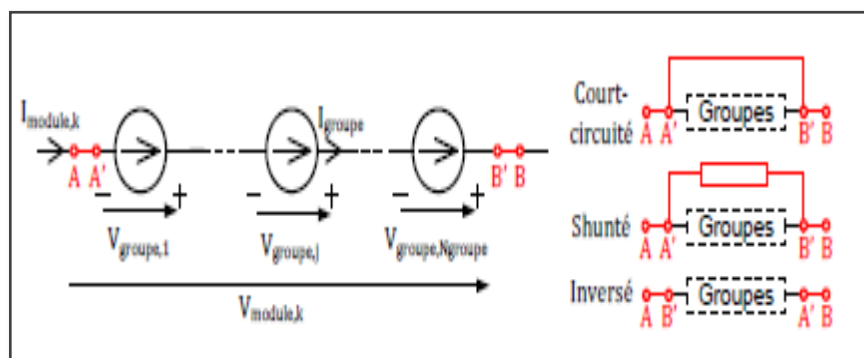


Figure II.2 : Schémas bloc d'un module PV défectueux

II.4.7 Le défaut de connectique

Le défaut de connectique est lié au problème de l'augmentation de la résistance de connectique entre deux modules PV. En fonctionnement normal, cette résistance de connectique est quasi nulle. La valeur de cette résistance peut être augmentée dans plusieurs cas anormaux (corrosion de la connectique, vis mal serrée...etc). Dans le cas extrême, une résistance infinie peut être utilisée pour représenter un module qui est déconnecté du string PV. [9]

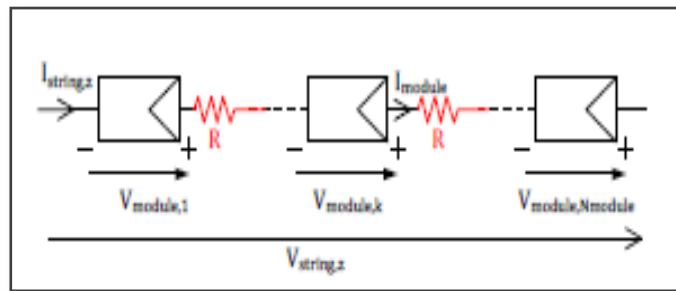


Figure II.3 : Schéma bloc d'un string PV avec la résistance de connectique non nulle

II.4.8 Le défaut de diode anti retour

De la même manière que pour la diode de by-pass, 4 types de défauts peuvent être envisagés pour la diode anti-retour : court-circuit, impédance quelconque, circuit ouvert et inversée. La Figure 2.4 montre un schéma d'un champ PV dans lequel la diode anti-retour est remplacée par un élément qui peut, à chaque fois, représenter un des états défectueux de la diode. [9]

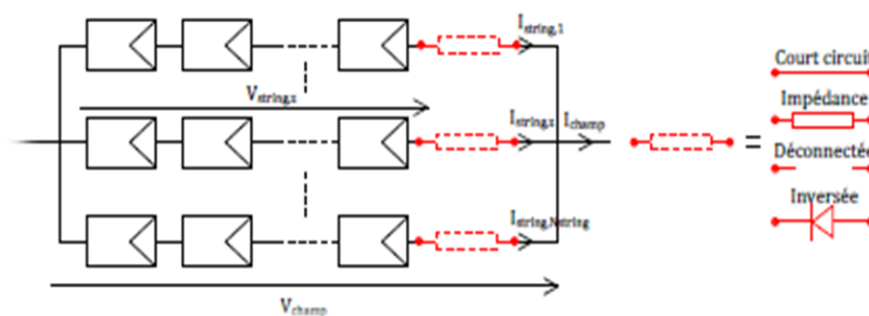


Figure II.4 : Schémas bloc d'un champ PV avec la diode anti retour défectueuse

II.4.9 Défaut de mise à la terre

Il se produit accidentellement par un court-circuit électrique. La majorité des systèmes PV sont équipés de dispositif de détection de défaut de terre et d'interruption de courant de défaut. [23]

II.4.10 Défaut d'arc

Il se produit en raison de la discontinuité et de rupture d'isolation en courants conducteurs ou adjacents. Les défauts d'arc produisent le bruit de haute fréquence dans le signal du courant continu de la branche PV. Ce type de rupture est très dangereux pour les plantes et peut produire des incendies. [23]

Le tableau II.2 montre les différents défauts qui touchent le générateur photovoltaïque

Tableau II.2 : Les types des défauts rencontrés au niveau du générateur

	Défauts	Nature de défaut
1	Défaut de mismatch	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Module arraché ou cassé ▪ Sable, neige etc. ▪ Échauffement des cellules, fissure
2	Défaut de diode by-pass	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diode court-circuité ▪ Diode mal connecté
3	Défaut de module	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modules court-circuités ▪ Modules shuntés
4	Défaut de connectique	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rupture de circuit électrique ▪ Destruction de la liaison ▪ Corrosion des connexions
5	Défaut de diode anti-retour	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diode mal connecté ▪ Diode court-circuité ▪ Inversion de la polarité des diodes

II.5 Méthodes de diagnostic de défauts dans un champ PV

L'étude bibliographique de la méthode de diagnostic se focalise sur deux axes : des méthodes de diagnostic courantes industrialisées et des méthodes dans la littérature. Une nouvelle méthode est présentée à la fin de cette partie :

II.6 Méthodes de diagnostic courantes industrialisées

II.6.1 Méthodes non-électrique

Il existe plusieurs méthodes non-électriques, destructives ou non destructives, pour diagnostiquer le défaut au niveau de la cellule solaire. Le défaut principal qui peut avoir lieu à ce niveau est la fissure de la cellule au niveau du module photovoltaïque. La méthode de l'imagerie d'infrarouge (caméra thermique) est largement appliquée. Cette méthode repose sur le fait que tous les matériaux émettent un rayonnement infrarouge sur une plage de longueur d'onde qui dépend de la température du matériau. En examinant la distribution de la température au niveau du module, des anomalies (si elles ont lieu) peuvent être localisées. [9]

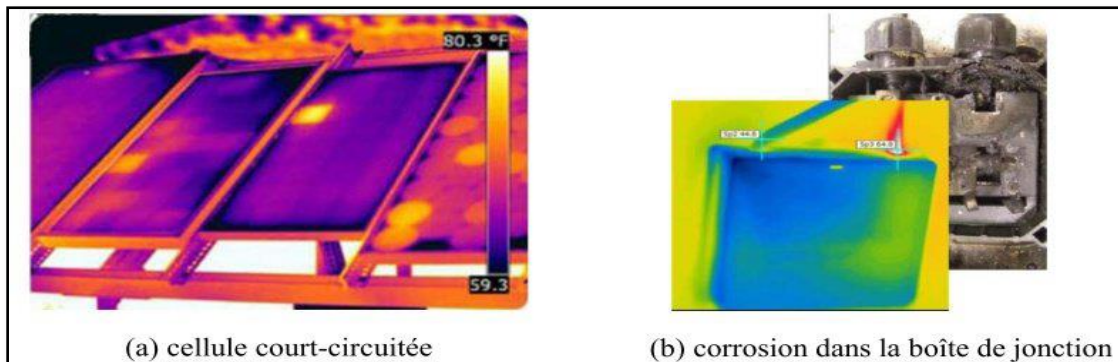


Figure II.5 : La localisation des défauts par la caméra thermique [9]

II.6.2 Méthode électrique

Les systèmes de monitoring actuels d'un système PV sont essentiellement intégrés aux Onduleurs. Dans ce cadre, les grandeurs mesurées les plus courantes sont :

- Le courant débité par le champ PV ;
- La tension aux bornes du champ PV ;
- La résistance d'isolement entre les bornes positive et négative du champ PV.

Il est aussi possible d'ajouter les grandeurs complémentaires qui sont la température ambiante du site et l'ensoleillement aux mesures électriques. Ces données nécessitent un capteur spécifique (sonde de température et cellule de référence). Il convient, dans le cas où ces grandeurs sont nécessaires, de les traiter à l'aide d'un automate spécifique. Cet automate est relié à l'onduleur et centralise la totalité des données afin de les enregistrer et/ou de les envoyer sur un serveur distant. [9]

II.7 Méthodes dans littérature

II.7.1 Méthode de réflectométrie

La méthode de réflectométrie électrique est une méthode électrique qui permet de mesurer les caractéristiques électriques d'une ligne de transmission et de détecter tout point de discontinuité. La réflectométrie est couramment utilisée pour la détermination de l'état électrique de câbles et de lignes. Elle fournit des informations pour la détection, la localisation et la caractérisation de défauts. [24]

II.7.2 Méthode d'analyse du point de fonctionnement

La comparaison de la puissance maximale mesurée à celle simulée peut apporter plus d'informations sur le comportement du générateur PV. L'idée principale consiste à identifier

Le type de défaut présent sur une installation PV et plus particulièrement sur le générateur PV. [25]

Ces défauts sont regroupés en 4 familles :

- Modules défaillant dans un string ;
- Fausse alarme ;
- String défectueux ;
- Ombrage, vieillissement, erreur MPPT.

II.7.3 Méthode Analyse de la puissance et de l'énergie produite

La puissance ou l'énergie mesurée est comparée à celle attendue et lorsqu'une déviation importante a lieu, on considère qu'il y a un défaut.

L'analyse mentionnée consiste à générer des attributs supplémentaires de la chute de la puissance ou de l'énergie produite telles que : la durée, l'amplitude, la fréquence et les instants de la chute. Ces mêmes attributs sont également prédéterminés pour les différents défauts considérés. Lors de leur comparaison, le défaut dont la valeur des attributs considérés est la plus proche de celle déduite des grandeurs mesurées est considéré comme le défaut responsable de la chute. [24]

II.7.4 Méthodes analyse de la caractéristique statique :

La figure II.6 montre l'allure de la caractéristique I-V en mode défaillant (ombrage d'un module de 36 cellules à 50%) comparée à celle du mode normal.

La déformation de la caractéristique courant-tension peut être provoquée par le changement de la condition de fonctionnement ou par l'apparition d'un ou des défauts dans le système PV.

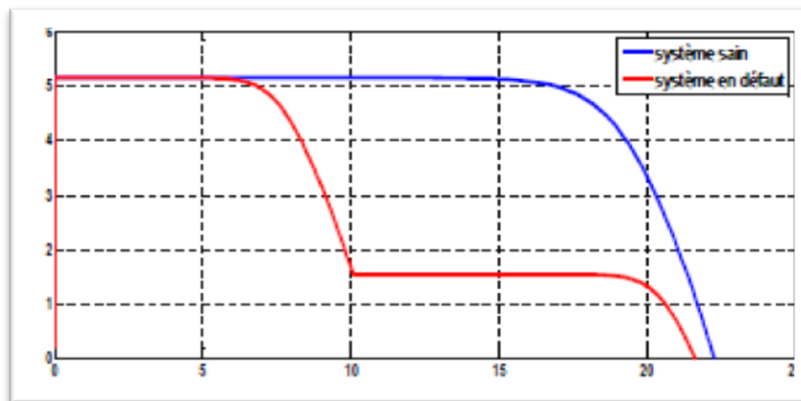


Figure II.6 : Allure de la caractéristique I-V d'un champ PV en fonctionnement défaillant

Une telle analyse a été trouvée dans quelques études dans la littérature :

- La dérivée du courant par rapport à la tension (dI/dV) tout au long de la caractéristique permet de détecter le défaut d'ombrage dans un string ou dans un champ.
- L'extraction des paramètres (résistance série, température de fonctionnement au STC conditions de Test Standard, point de puissance maximale au STC) permet de détecter le défaut dans un module ou dans un string (augmentation de la résistance série entre cellules ou entre modules, vieillissement).
- L'analyse de la caractéristique I-V consiste à étudier l'impact des différents défauts (dans la cellule, module, string et champ) sur la performance du champ PV, donc sur la caractéristique I-V elle-même. [1]

II.8 Méthode de l'analyse en fréquence

L'analyse de la réponse en fréquence (souvent appelée technique FRA ou SFRA) est une méthode efficace et sensible pour tester l'intégrité mécanique des circuits magnétiques.

Chaque réseau électrique possède sa propre réponse en fréquence, appelée "empreinte". La présence de défauts ou de vibrations sur le réseau peut provoquer des variations de cette réponse en fréquence.

Il est recommandé d'effectuer des tests FRA à la fin du test de réception chez le fabricant pour établir l'empreinte d'origine du transformateur, puis à nouveau après le transport et pendant la mise en service. [26]

La SFRA repose sur la comparaison d'un test en cours à un test de référence.

II.8.1 Principe de la FRA

Le comportement réel d'une cellule peut être modélisé par des capacités et de résistances qu'on peut qualifier d'un circuit complexe RLC. Lorsque ce circuit RLC est soumis à une tension basse et sinusoïdale, il va générer une empreinte digitale ou une signature propre à lui et ce dernier est représenté sous forme d'une courbe. [27]

La distribution des éléments qui composent la cellule photovoltaïque, dans le circuit électrique tel que les résistances et les impédances sont définies par la méthode de spectroscopie d'impédance. Ce réseau électrique peut être identifié par des fonctions de transfert dépendant de la fréquence.

La technique FRA est un outil très utile pour le diagnostic de ce type de systèmes. Toutefois, l'impédance mesurée est une représentation de l'état interne du transformateur, car toute modification est répercutée sur la courbe FRA. Par conséquent, le diagnostic est fondé sur les étapes suivantes

- Mesure de l'impédance dans un état de référence, où une condition du transformateur sain est supposée.
- Mesure de l'impédance dans un état d'évaluation, où une condition défectueuse est suspectée.
- Comparaison graphique des traces FRA dans les deux états.

Toute différence visible détectée sur l'inspection graphique signifie un changement interne, autrement dit une présence possible d'une défaillance à l'intérieur de transformateur. Cette méthodologie a fourni des résultats fiables mais son diagnostic est limité presque exclusivement à la détection de l'existence ou de l'absence de défaut. A travers ça on conclut que cette démarche est basée sur la comparaison entre le graphe mesuré et celui de référence. [28]

II.8.2 Méthode de balayage

La méthode FRA peut être effectuée directement en balayant la tension sur une large gamme de fréquence donnée.

Cette méthode est très simple et directe, une tension basse et sinusoïdale, dont la fréquence varie en continu, est injectée dans une borne du panneau (entrée). Puis le signal de sortie,

provenant de l'autre extrémité, est mesuré (signal de sortie). Le rapport entre les deux signaux (sortie/entrée) donne la réponse en fréquence. [28]

II.9 Conclusion

le diagnostic et la détection des défauts des systèmes PV se fait avec plusieurs méthodes, comme on a vu dans ce chapitre il y a les méthodes non électriques comme l'imagerie et l'infrarouge, aussi y a des méthodes électriques comme l'analyse de la puissance et l'analyse de la caractéristique I-V, quelques défauts peuvent être modélisés et simulés à l'aide du logiciel Matlab.

Le prochain chapitre est consacré à l'étude des défauts dans les générateurs PV avec l'analyse de la réponse en fréquence FRA en utilisant le schéma à haute fréquence de ce dernier.

CHAPITRE III
Résultats et
interprétations

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons appliquer quelques défauts sur le générateur PV dans l'obscurité avec l'aide de Matlab Simulink, mais avant tout on doit modéliser le panneau PV commençant par la modélisation d'une seule cellule. Plusieurs essais sont faites afin de pouvoir comparer et de localiser l'emplacement de défaut.

III.2 Identification des paramètres de la cellule photovoltaïque

L'identification des paramètres haute fréquence d'une cellule photovoltaïque se fait avec la spectroscopie d'impédance

III.3 Spectroscopie d'impédance

La spectroscopie d'impédance est un outil de mesure permettant d'étudier séparément les phénomènes de transport aux différentes interfaces de la cellule. On peut ainsi remonter aux propriétés de conduction et de transport des électrons dans le semi-conducteur ou dans l'électrolyte et connaître les recombinaisons à l'interface semi-conducteur/électrolyte. [29]

III.3.1 Principe de la méthode

L'impédance est mesurée par couplage d'un potentiostat et d'un analyseur de fréquence (FRA) sous éclaircissement ou dans le noir. On impose à la cellule la somme d'une tension continue et d'une tension alternative de faible amplitude (10 mV) :

$$V(w) = V + V_0 \cos(wt) \quad (\text{III.1})$$

Pour chaque fréquence f (de 20 KHz à 5 MHz) ou pulsation ω , l'amplitude et le déphasage de l'intensité par rapport à la tension sont mesurés. L'impédance complexe de la cellule est donnée à partir de son amplitude et de son déphasage.

En faisant l'hypothèse que l'irradiation et la température sont constantes, l'impédance complexe du modèle dynamique simplifié s'exprime par l'équation suivante :

$$Z(jw) = R_s + \frac{R_p}{1+(R_p+C_p+w)^2} - j * \frac{R^2 p + C_p + w}{1+(R_p+C_p+w)^2} \quad (\text{III.2})$$

Le tracé de l'impédance complexe dans le plan de Nyquist correspond à un demi-cercle de diamètre RP , éloigné de l'axe des imaginaires de RS et dont la fréquence de coupure f_{\max} se

situé à l'abscisse R_s+R_p . La fréquence minimale ($\omega = 0$) se trouve sur le point d'impédance $R_s + R_p$ et la fréquence maximale sur le point d'impédance R_s . La capacitance parallèle C_p est calculée à partir de ces résistances. [29]

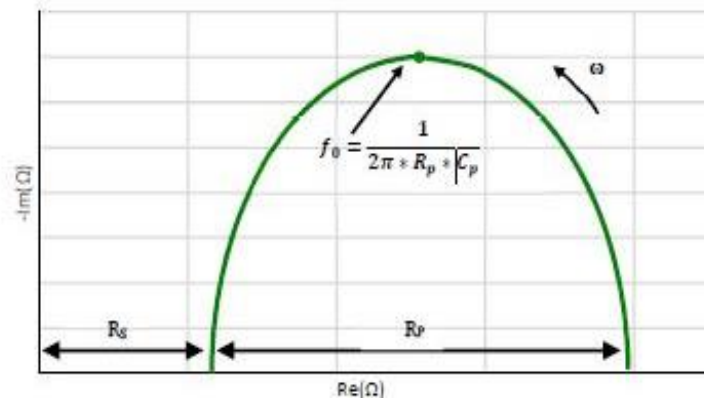


Figure III.1 : Diagramme de Nyquist caractéristiques du modèle dynamique d'une cellule PV [30]

L'analyse dans le plan de Nyquist de l'impédance équivalente du panneau photovoltaïque peut permettre de rapidement isoler sur une échelle fréquentielle l'influence de chacun des paramètres et par conséquent les phénomènes auxquels ils sont associés. [30]

III.4 La réponse fréquentielle d'une cellule selon Bode

La figure III.12 représente l'impédance et l'angle en fonction de la fréquence selon le diagramme de Bode

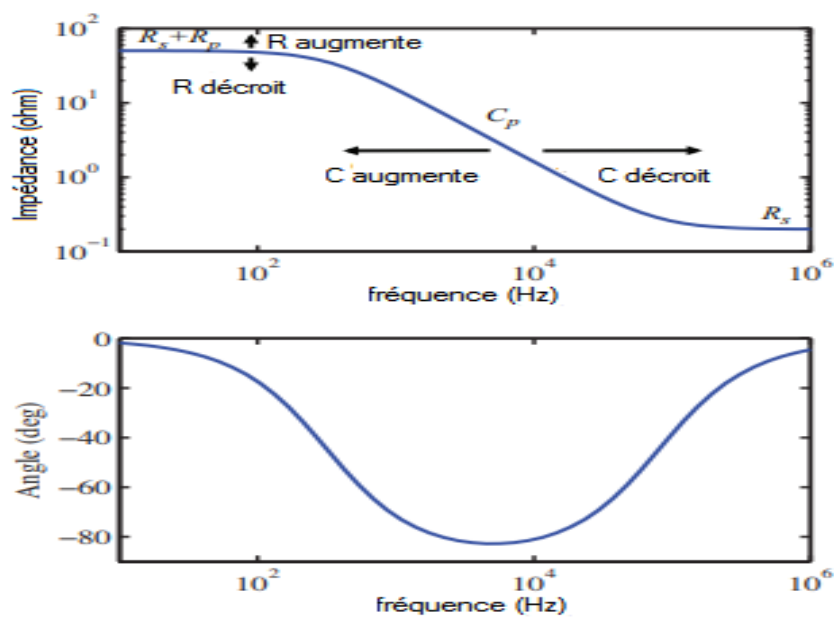


Figure III.2 : Diagramme de Bode illustre le changement des paramètres d'une cellule [31]

L'analyse fréquentielle d'une cellule PV nous permet de mesurer les trois paramètres de circuit équivalent (R_s , R_p , C_p). A basses fréquences la résistance est importante et l'impédance $Z_{pv} = R_s + R_p$. La valeur de C_p est presque nulle. [31]

Dans les grandes fréquences ; la valeur de C_p est petite et R_s peut être mesurée.

Dans les fréquences moyennes C_p est calculé avec l'équation de Z_{pv} en utilisant les valeurs de R_s et R_p données dans le diagramme de Nyquist. Dans cette phase C_p déplace soit vers la droite ou vers la gauche qui signifie son augmentation ou diminution de sa valeur respectivement. [31]

III.5 Représentation de la cellule

Une cellule PV est représentée avec une résistance et une capacité reliées en parallèle, ces deux derniers sont reliés à une résistance en série, après on ajoute deux capacités branchées, une à l'entrée et l'autre à la sortie.

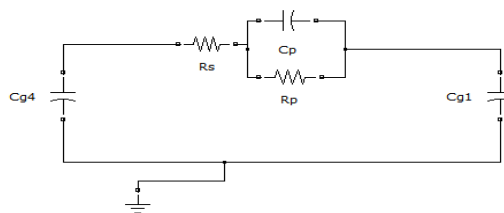


Figure III.3 : Modèle Simulink d'une cellule PV

La figure III.4 représente la réponse d'une seule cellule à haute fréquence.

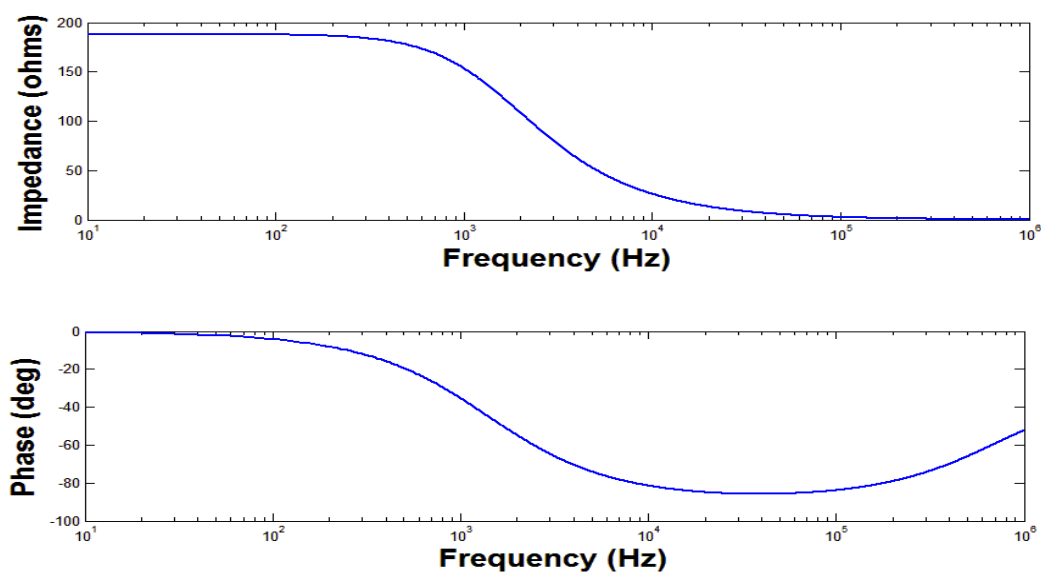


Figure III.4 : La réponse fréquentielle d'une seule cellule ainsi que son angle

Après l'application de la méthode de la spectroscopie, et après avoir fait des calculs, on a obtenu les valeurs des paramètres de la cellule :

$$R_s = 0.356 \text{ ohm}$$

$$R_p = 187.844 \text{ ohm}$$

$$C_p = 5 \times 10^{-7} \text{ F}$$

III.6 Réponse fréquentielle d'un panneau solaire

Notre panneau est constitué de 24 cellules branchées en série. Nous avons supposé que nos cellules sont identiques.

La figure III.5 représente la réponse fréquentielle d'un panneau PV dans le cas où le panneau est en bon état.

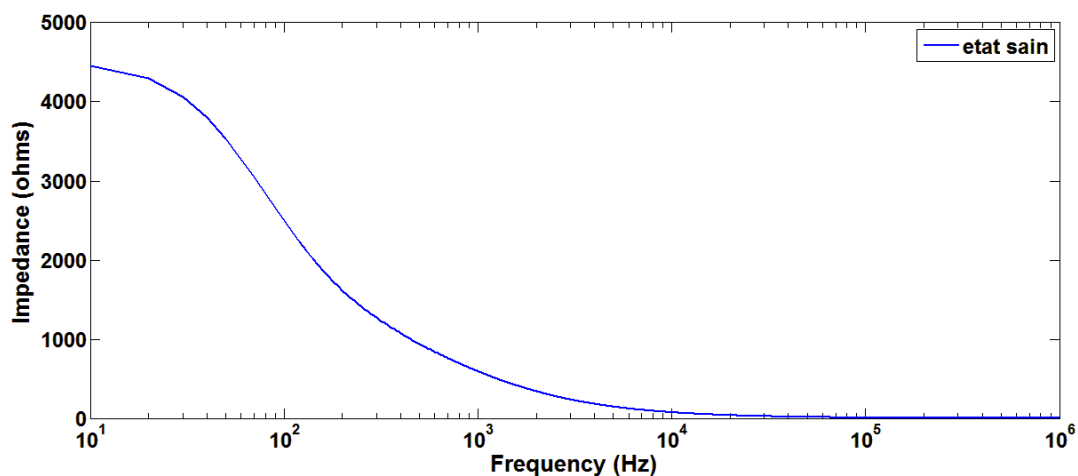


Figure III.5 : Réponse fréquentielle pour un panneau de 24 cellules en série

✓ Interprétation

La réponse fréquentielle de panneau est différente par rapport à celle d'une seule cellule, on remarque une augmentation de l'impédance de panneau qui est $Z_{pv} = 24 Z_{cell}$, et même la plage de variation de la capacité a changé ; pour une cellule C_p variée de [10³ Hz à 10⁵ Hz] mais pour le panneau de 24 cellules C_p variée de [10 Hz à 10⁴ Hz].

III.7 Application des défauts

Nous avons appliqué plusieurs types de défauts sur l'ensemble de cellules de notre panneau, parmi ces défauts :

- Défaut de court circuit ;
- Défaut de circuit ouvert ;
- Défaut de connectique ;
- Défaut de diode by-pass (court circuit, circuit ouvert, impédance).

III.7.1 Défaut de court-circuit

Dans notre panneau de 24 cellule en série, on court circuit une cellule PV pour chaque essaie, commençant de la première cellule jusqu'à la septième. A chaque fois on compare le graph obtenu à notre état sain. La figure III.6 montre les résultats obtenus.

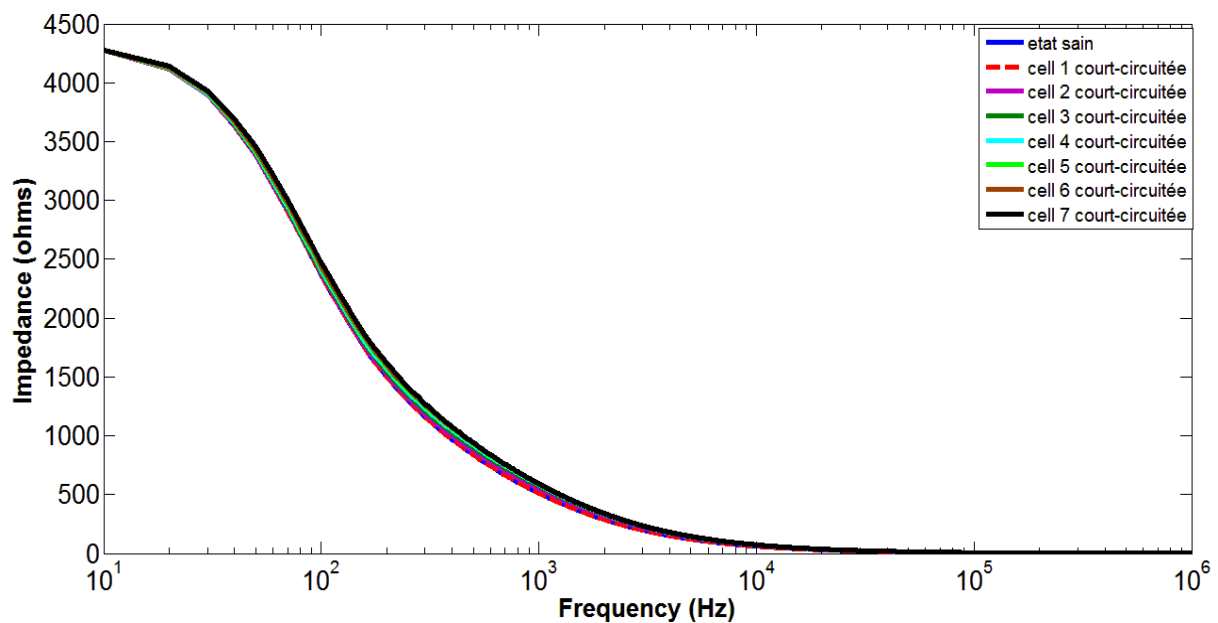


Figure III.6 : Défaut de court-circuit des cellules

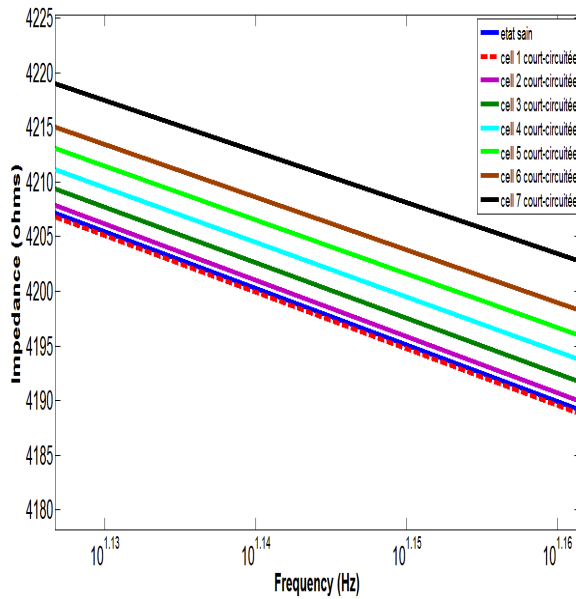


Figure III.6.1 : Zoom sur la zone de variation de R_p+R_s

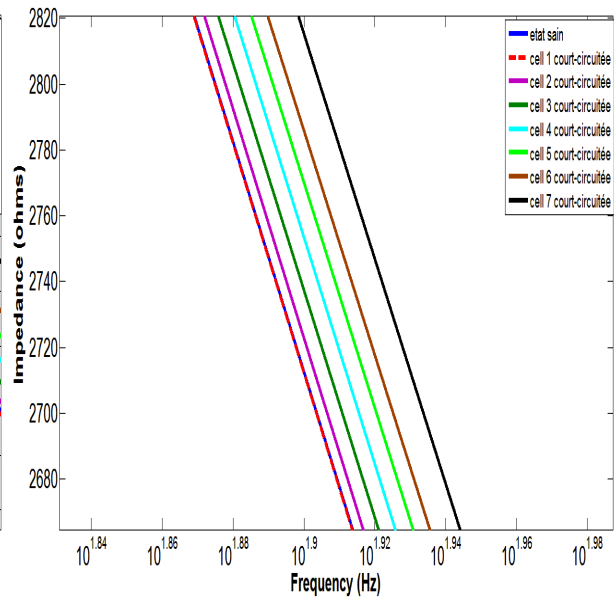


Figure III.6.2 : Zoom sur la zone de variation de C_p

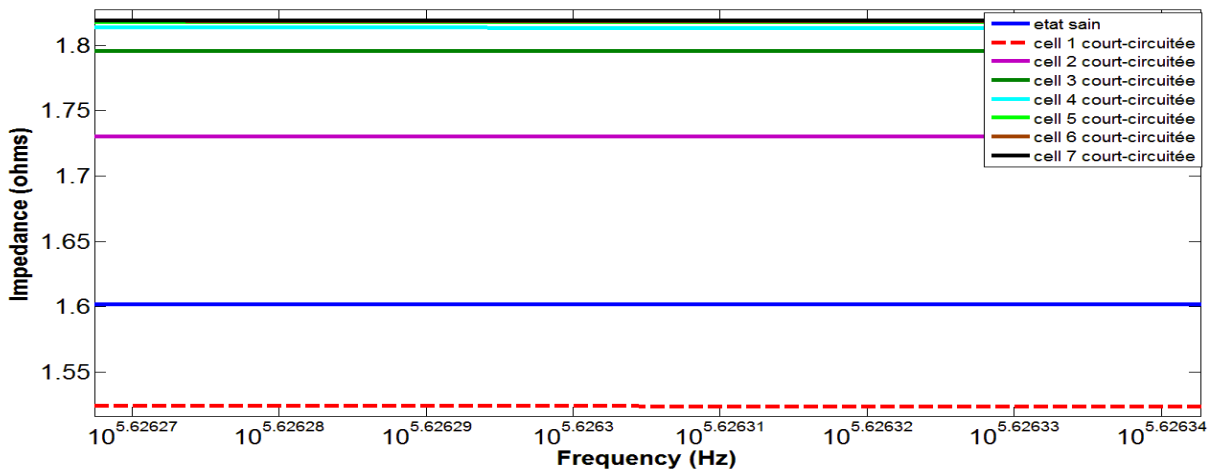


Figure III.6.3 : Zoom sur la zone de variation de R_s

✓ **Interprétation**

Dans la zone de variation de R_s et R_p On voit que la courbe du défaut CC de la première cellule s'est diminuée par rapport à l'état sain, ensuite à partir de la deuxième cellule jusqu'à la septième on voit que leurs courbes sont montées au dessus de la courbe de l'état sain.

Dans la zone de variation de C_p La courbe de défaut CC de première cellule et l'état sain sont identiques, les courbes à partir de la deuxième cellules remonte au dessus de la courbe de l'état sain.

Dans la zone de variation de R_s La courbe de CC se déplace au dessous de celle de l'état sain dans la cellule 1, puis les autres courbes augmentent respectivement.

III.7.2 Défaits de circuit ouvert

Pour ce défaut on ouvre chaque cellule en utilisant soit une résistance d'une grande valeur branchée en parallèle de chaque cellule ou en utilisant un interrupteur.

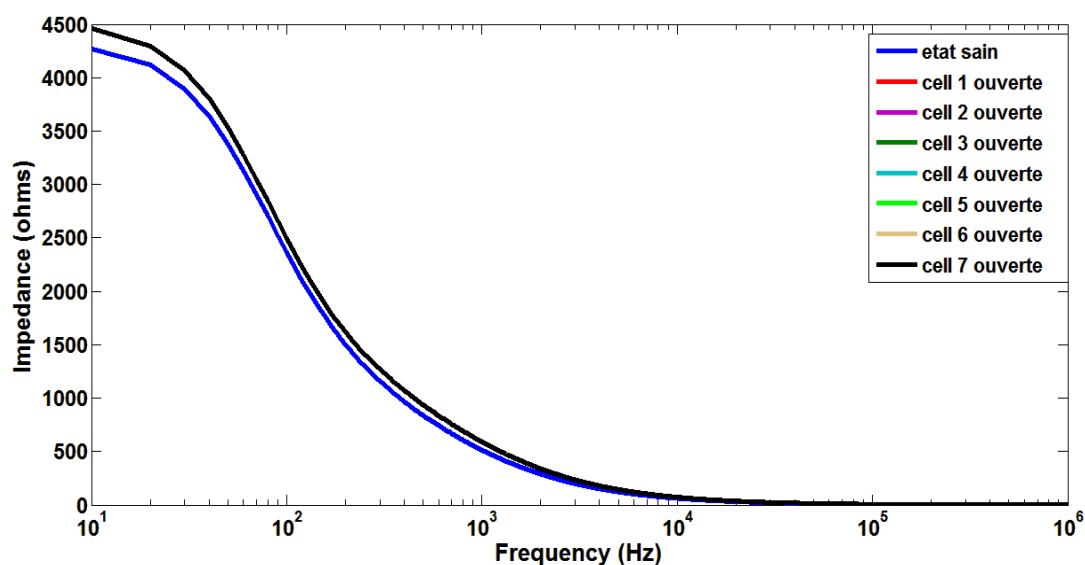


Figure III.7 : Comparaison entre le défaut de circuit ouvert et l'état sain

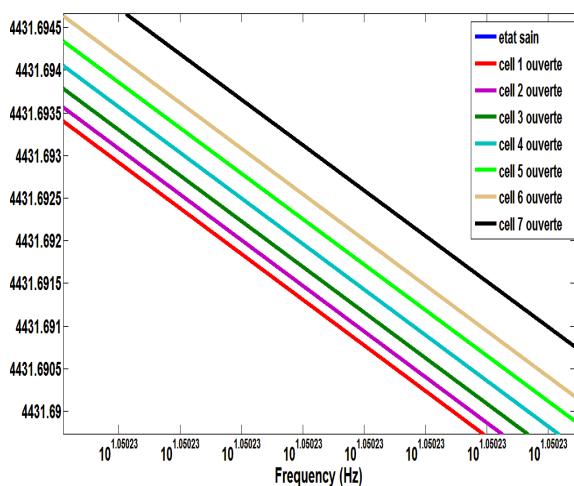


Figure III.7.1 : Zoom sur les variations de R_p+R_s

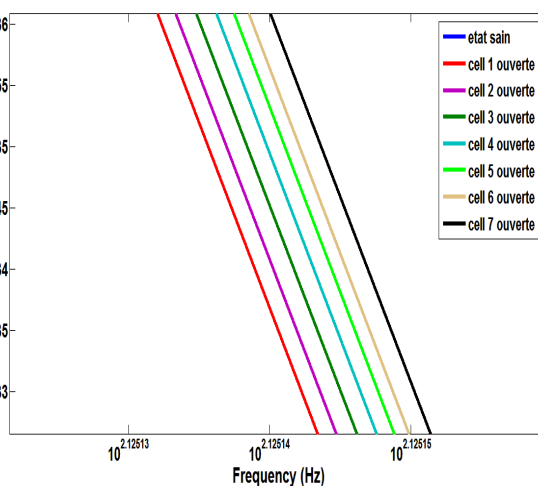
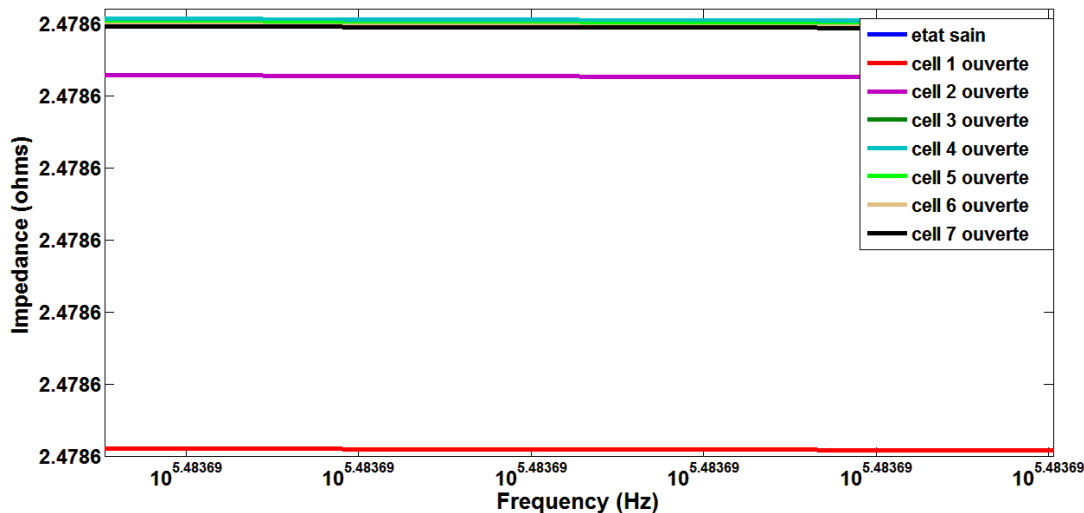


Figure III.7.2 : Zoom sur les variations de C_p



Figu

re III.7.3 : Zoom sur les variations de Rs

✓ Interprétation

D'après la courbe de défaut de court-circuit augment d'une valeur importante dans la zone 1 (R_p) et la zone 2 (C_p), alors que la valeur de R_s reste presque inchangée.

III.7.3 Défaut de la diode by-pass

Dans le branchement précédent (24 cellules en série) on n'a pas pris les diodes by-pass en considération. Afin de pouvoir appliquer les défauts de la diode by-pass notre branchement doit avoir des diodes by-pass.

Le défaut consiste à porter des changements sur les diodes by-pass. Les défauts qu'on a appliqués sont :

- Court-circuit ;
- circuit ouvert ;
- défaut d'impédance.

Comparaison entre schéma sans et avec diodes by-pass

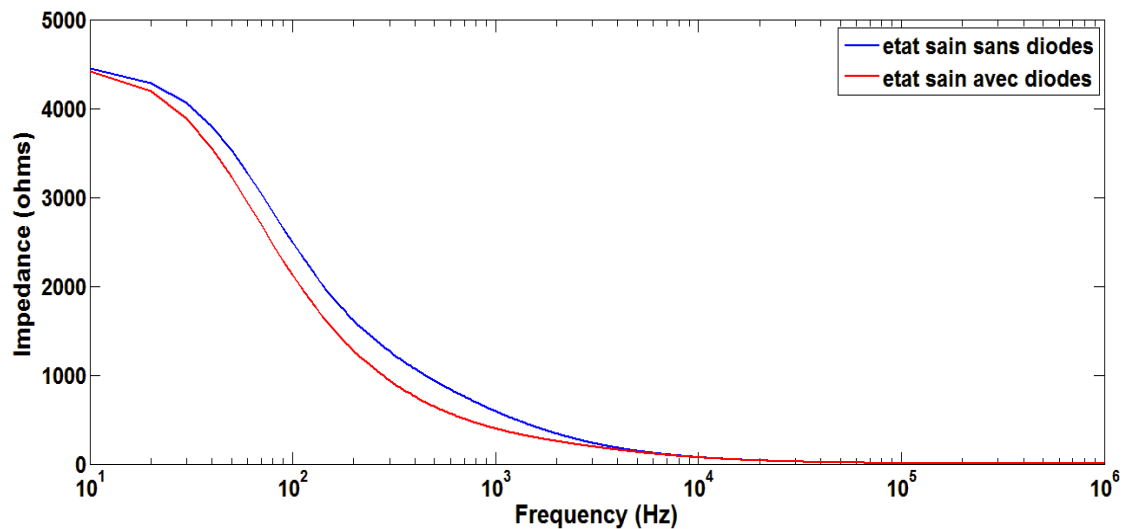


Figure III.8 : Réponse de 24 cellule en série avec et sans diodes by-pass

✓ Interprétation

Dans le cas de la présence des diodes by-pass, on remarque une différence au niveau de la zone de variation de C_p par rapport à l'état sain sans diodes.

a) Court-circuit

On court circuite la diode by-pass par la remplacée avec un fil.

La figure III.9 représente une comparaison avec et sans protection par la diode by-pass.

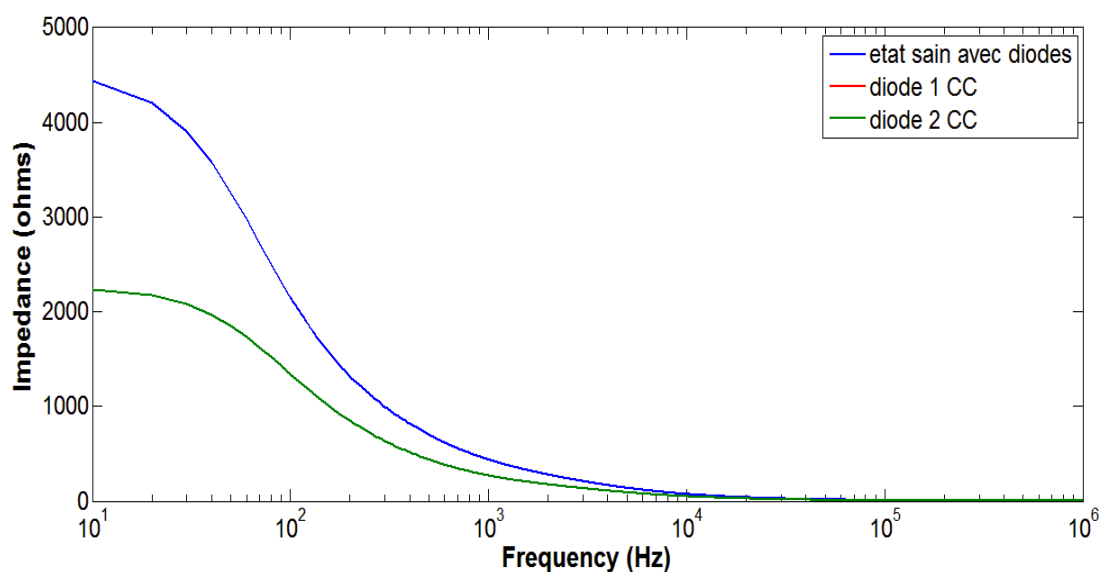


Figure III.9 : Résultats de défaut de la diode by-pass (CC)

✓ Interprétation

La valeur de l'impédance s'est diminuée d'une moitié par rapport à l'état sain, on voit aussi que C_p s'est déplacé vers la gauche, alors que la valeur de R_s reste identique avec celle de l'état sain avec diodes.

b) Circuit ouvert

On a remplacé la diode by-pass par un interrupteur.

La figure III.10 montre la comparaison entre le défaut de la diode by-pass ouverte et l'état sains avec diodes.

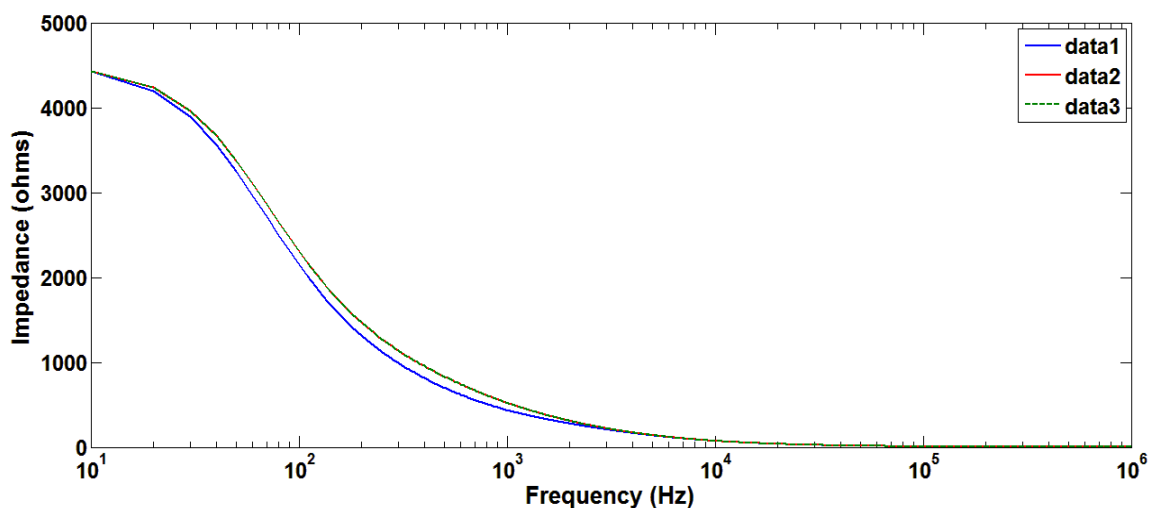


Figure III.10 : Défaut de circuit ouvert

✓ Interprétation

La différence entre la courbe de l'état sain et celle du défaut du circuit ouvert est visible dans la deuxième zone (variation de C_p), mais légèrement par rapport au défaut de court circuit.

c) Défaut d'impédance

On place une impédance composée d'une résistance et une capacité à la place de la diode by-pass.

La figure III.11 montre la différence entre l'application du défaut d'impédance et l'état sain.

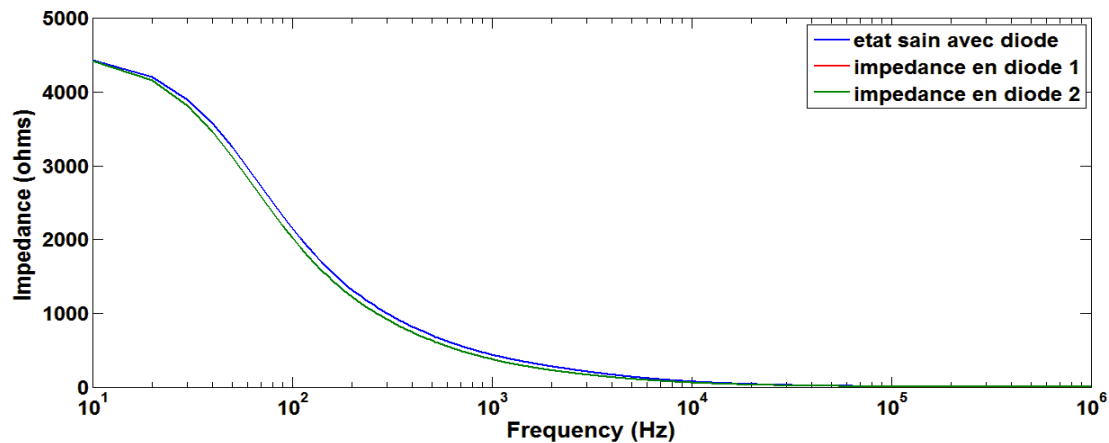


Figure III.11 : Défaut d'impédance

✓ Interprétation

La figure montre une différence entre les deux courbes, ou la courbe avec le défaut de l'impédance est placée au dessous de la courbe de l'état sain.

C'est la valeur de C_p qui a diminué, on remarque aussi que l'application de défaut sur les deux diodes est identique.

III.7.4 Défaut de connectique

Le défaut de connectique est réalisé avec le placement d'une résistance d'une grande valeur devant chaque cellule.

La figure III.12 représente une comparaison entre les courbes de défaut de connectique et l'état sain.

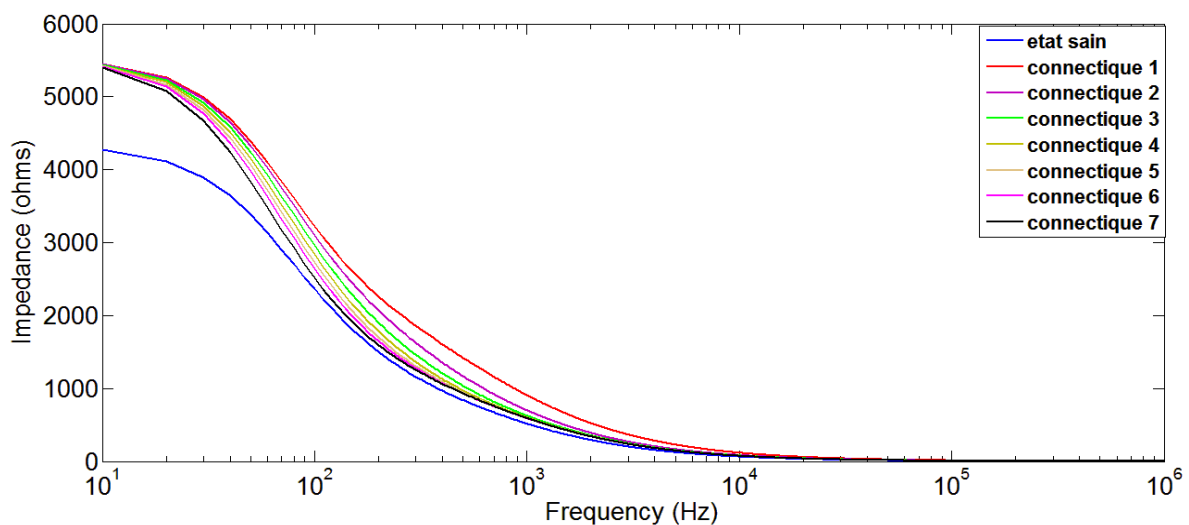


Figure III.12 : Défaut de connectique

✓ Interprétations

La courbe de défaut de connectique se situe au dessus de la courbe de l'état sain.

Zone de variation de R_s+R_p : l'impédance avec le défaut de connectique à augmenté par rapport à l'état sain.

Zone de variation de C_p : la valeur de C_p à aussi augmente. Elle augmente d'une valeur maximum quand le défaut est appliqué sur la première cellule. Ensuite avec le changement de défaut dans les autres cellules, on remarque que la valeur de C_p s'approche de sa valeur dans l'état sain.

Zone de variation de R_s : une petite différence entre l'état sain et les autres courbes avec le défaut de connectique.

III.8 Représentation de 24 cellules en branchement mixte

Chaque 6 cellules branchées en série représentent une branche, maintenant en relie quatre branche en parallèle, ce qui nous donne un branchement mixte (série et parallèle).

III.9 Réponse fréquentielle

La figure III.13 montre l'état sain de branchement mixte.

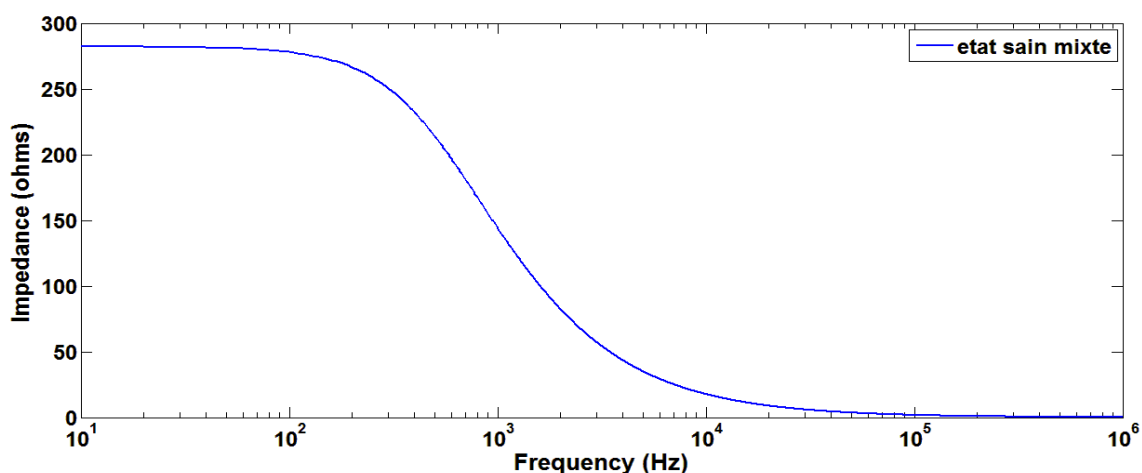


Figure III.13 : Etat sain parallèle

✓ Interprétation

L'impédance à augmenté $Z_{pv}=255\text{ohm}$ par rapport a une cellule, cette valeur de l'impédance obtenue et la somme de 6 cellules divisé par 4 branche.

III.10 Application des défauts

Les défauts appliqués sont :

- Défaut de court-circuit ;
- Défaut de circuit ouvert ;
- Défaut de connectique ;
- Défaut de la diode anti retour (court-circuit, circuit ouvert, diode inversée) ;
- Défaut de l'arc ;
- Défaut de module (shunté, court-circuit).

III.10.1 Défaut de court-circuit

Pour ce défaut on court circuite 6 cellules ; une cellule dans chaque essaie.

La figure III.14 montre une comparaison entre la courbe de l'état sain et la courbe de défaut de court circuit.

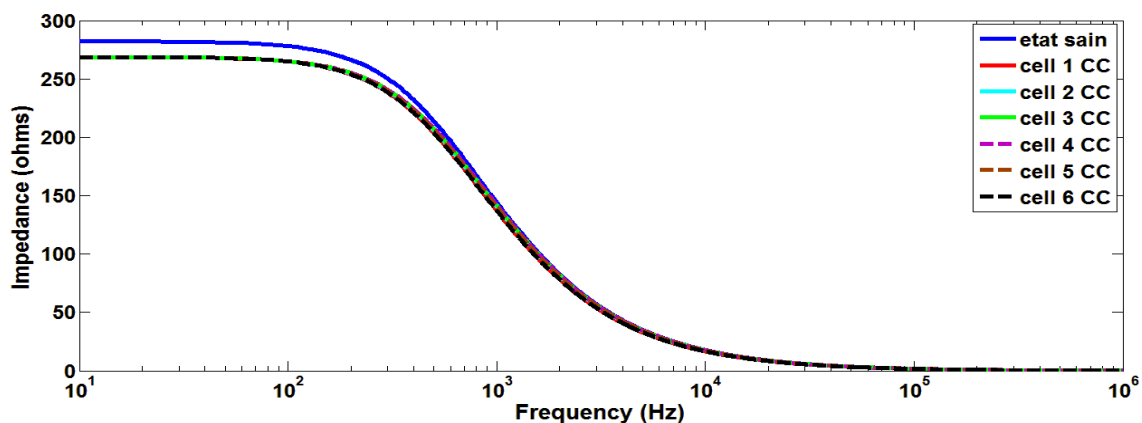


Figure III.14 : Défaut de court-circuit

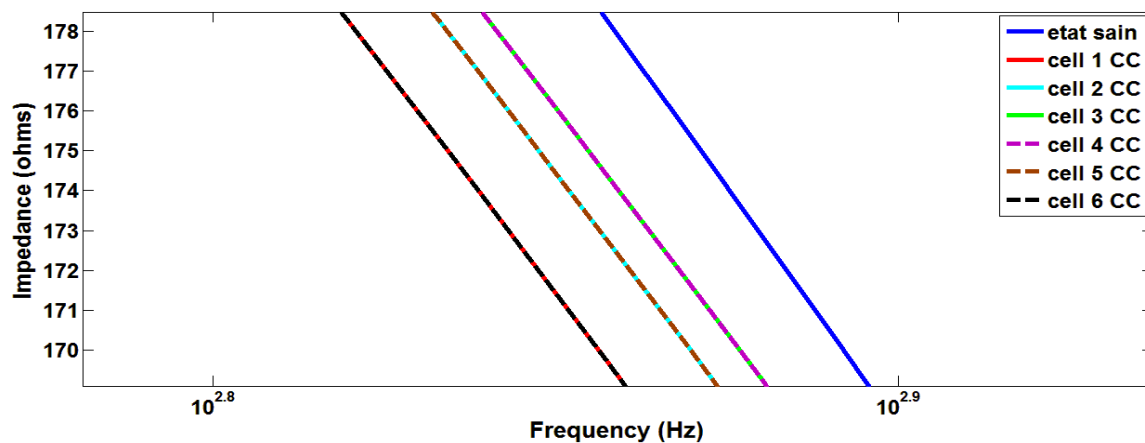


Figure III.14.1 : Zoom sur la zone de variation de Cp

✓ **Interprétation**

Le défaut de court-circuit à influencer considérablement sur la valeur de R_p , et légèrement sur C_p . On remarque aussi que la réponse de ces cellules 1 et 6, 2 et 5, 3 et 4 ; sont identique.

III.10.2 Défaut de circuit ouvert

La figure III.15 montre la différence de la réponse fréquentielle entre l'état sain et l'état ou on a appliqué le défaut de circuit ouvert.

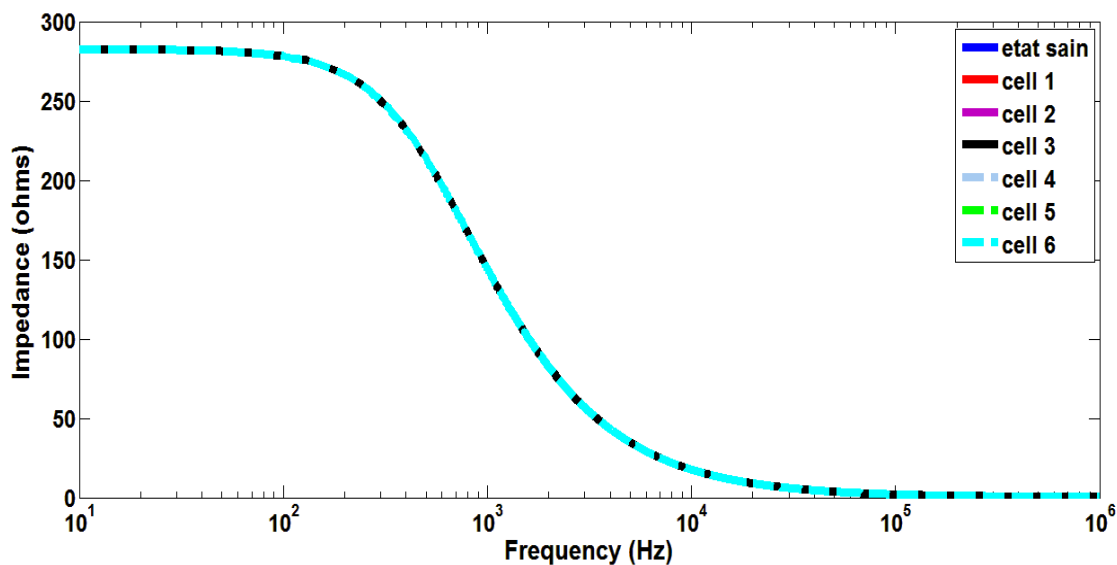


Figure III.15 : Défaut de circuit ouvert

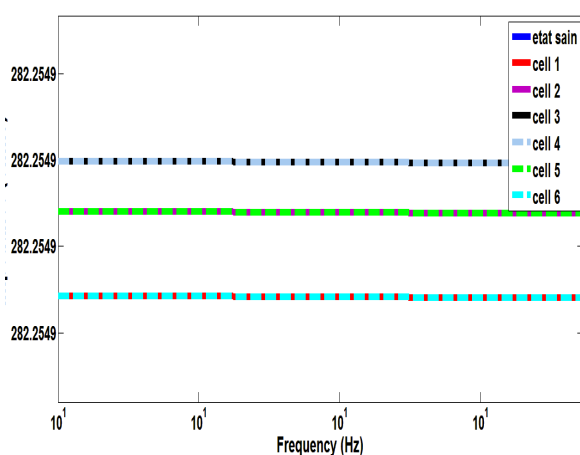


Figure III.15.1 : Zoom sur la zone de variation de $R_s + R_p$

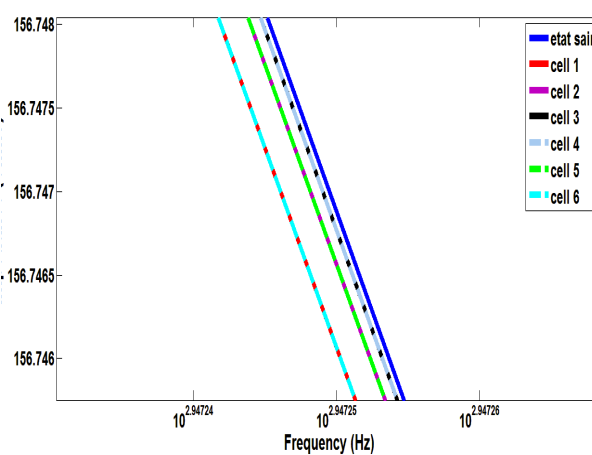


Figure III.15.2 : Zoom sur la zone de variation de C_p

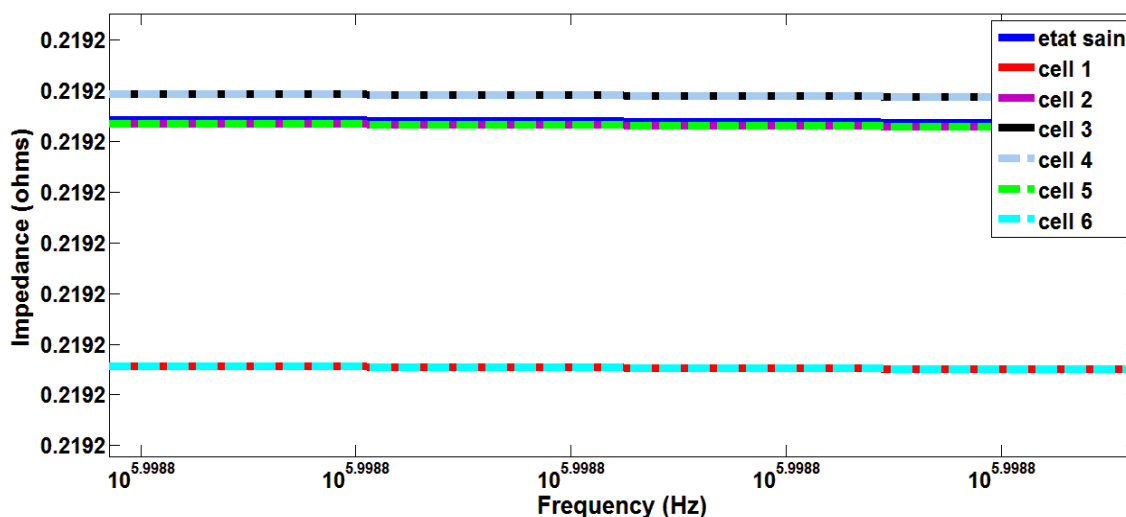


Figure III.15.3 : Zoom sur la zone de variation de R_s

✓ Interprétation

D'après la figure III.14 on ne voit aucune différence entre l'état sain et l'état où on a appliqué le défaut de circuit ouvert, mais lorsqu'on fait le zoom sur les différentes zones de la courbe la différence devient visuelle. On remarque que la variation des trois paramètres R_p , R_s et C_p est très légère.

III.10.3 Défaut de connectique

La figure III.16 représente la comparaison de défaut connectique par rapport à l'état sain.

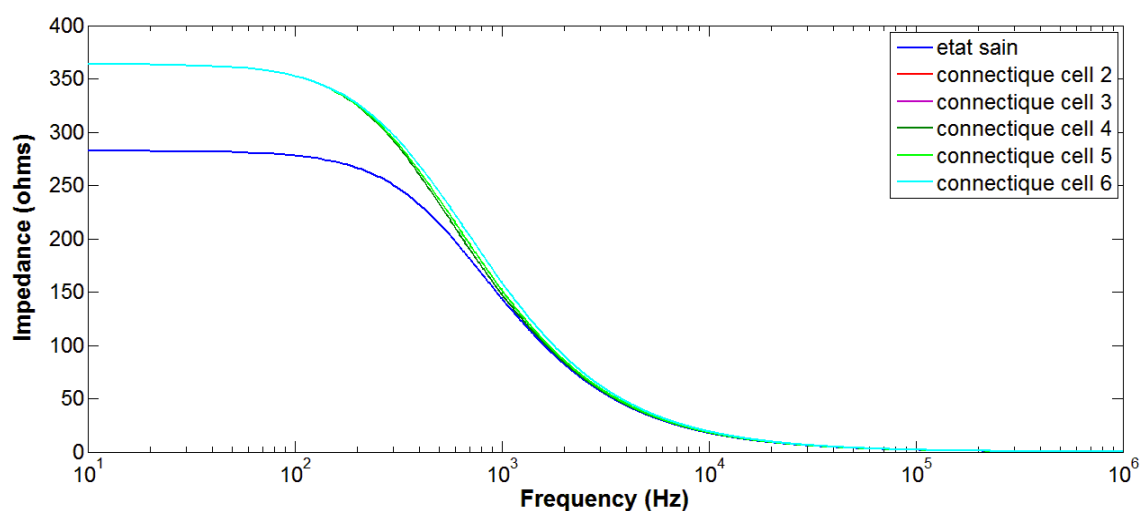


Figure III.16 : Défaut de connectique

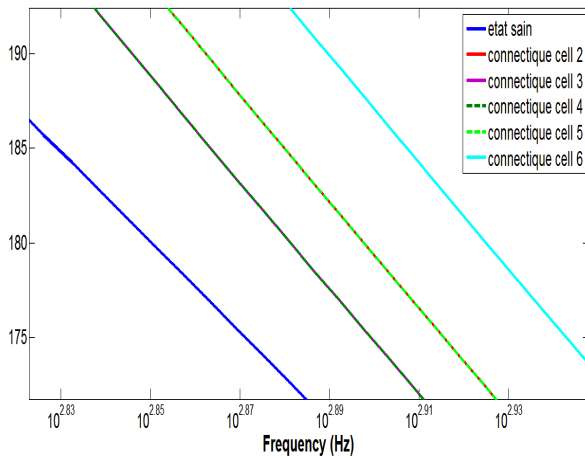


Figure III.16.1 : Zoom sur la zone de variation Cp

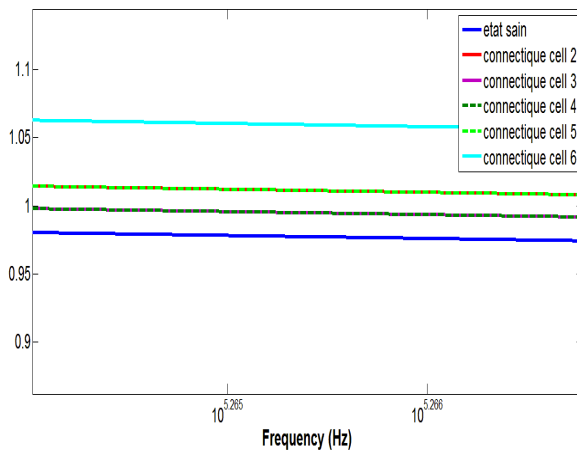


Figure III.16.2 : Zoom sur la zone de variation Rs

✓ **Interprétation**

L'application du défaut de connectique a causé une augmentation important de la valeur de Rp, une légère variation détecté au niveau de la valeur de Cp.

III.10.4 Défaut de la diode anti retour

Dans cette partie on a appliqué les défauts sur chaque branche pour pouvoir voir l'influence de chaque défaut.

Branche 1

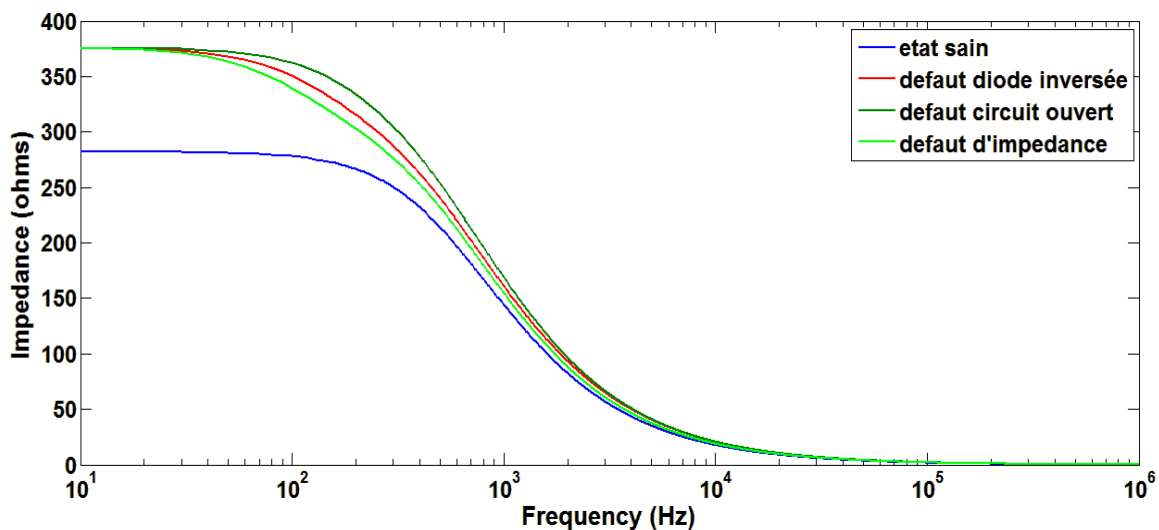


Figure III.17 : Comportement de la réponse fréquentielle lors de l'application des défauts (Branche 1)

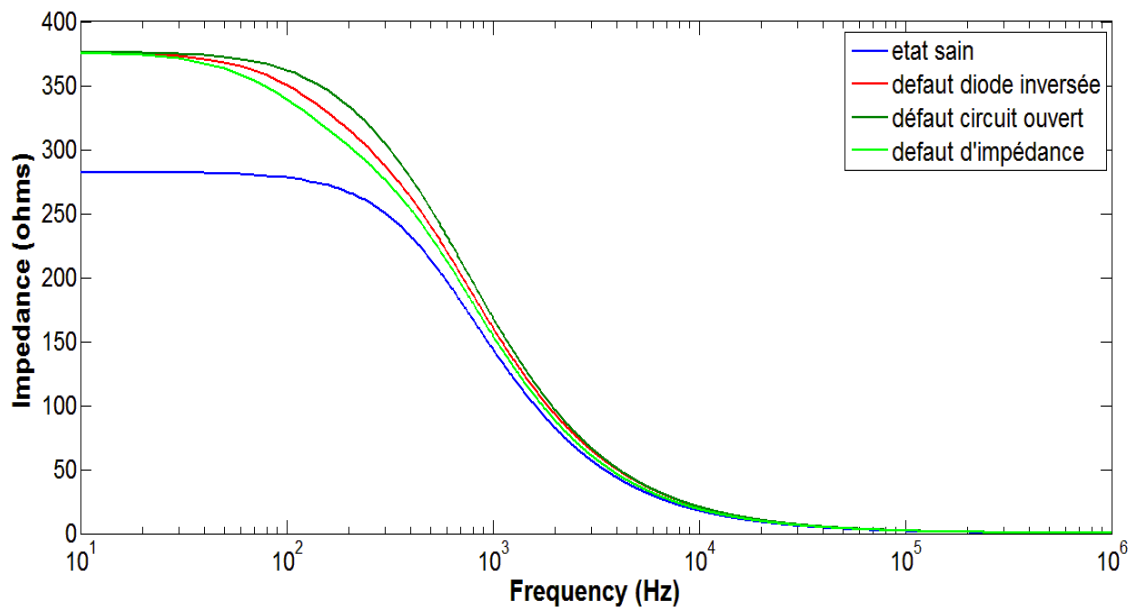
Branche 2

Figure III.18 : Comportement de la réponse fréquentielle lors de l'application des défauts (Branche 2)

✓ **Interprétation**

L'application des défauts sur la diode anti retour engendre une modification de la réponse de l'impédance par rapport à l'état sain, et ces défauts touchent R_p et légèrement C_p .

L'application de ces mêmes défauts sur les autres branches donne toujours la même réponse.

III.10.5 Défaut de l'arc

Pour pouvoir réaliser ce défaut on a créé un court circuit entre deux branches.

La figure III.19 montre les zones sur lesquelles le défaut de l'arc a imposé des changements.

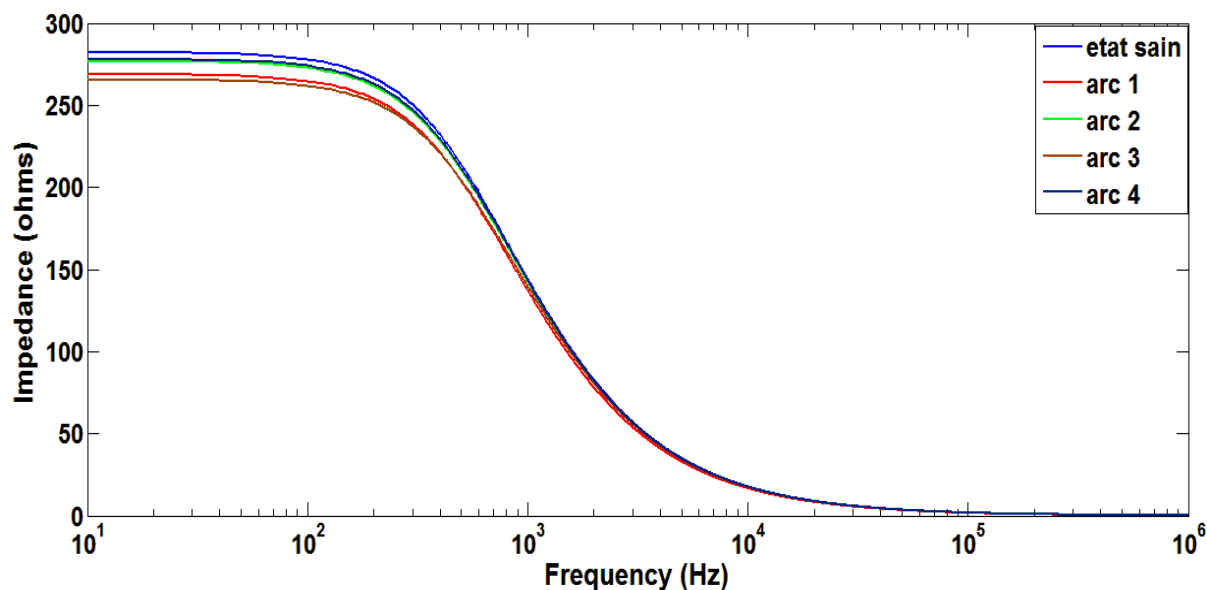


Figure III.19 : Défaut de l'arc

✓ Interprétation

D'après la figure III.19 on remarque que le défaut de l'arc touche directement la valeur de R_p , les variations sur C_p sont légères.

III.10.6 Défaut de module

Ce défaut est appliqué sur un groupe de cellules. Par exemple dans le défaut de module shunté on place une impédance en parallèle avec un groupe de cellule, et dans le défaut de court-circuit on court circuit un groupe de cellules.

a) Shunté

La figure III.21 montre la comparaison de la réponse en fréquence dans un état sain, et un état où le défaut shunté de module est appliqué.

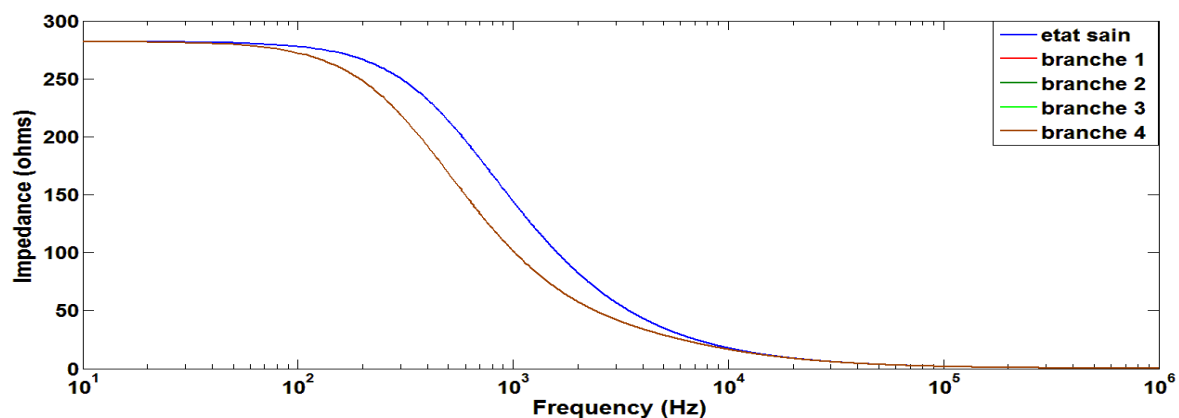


Figure III.20 : Défaut de module « shunté »

✓ Interprétation

D'après la figure III.20 on remarque que la valeur de C_p a diminué par rapport à l'état sain, on voit que les deux valeurs R_p et R_s n'ont pas changé.

L'application du défaut sur les trois autres branches donne le même résultat.

b) Court-circuit

Dans la figure III.21 on peut comparer l'application de défaut de module court-circuit avec l'état sain.

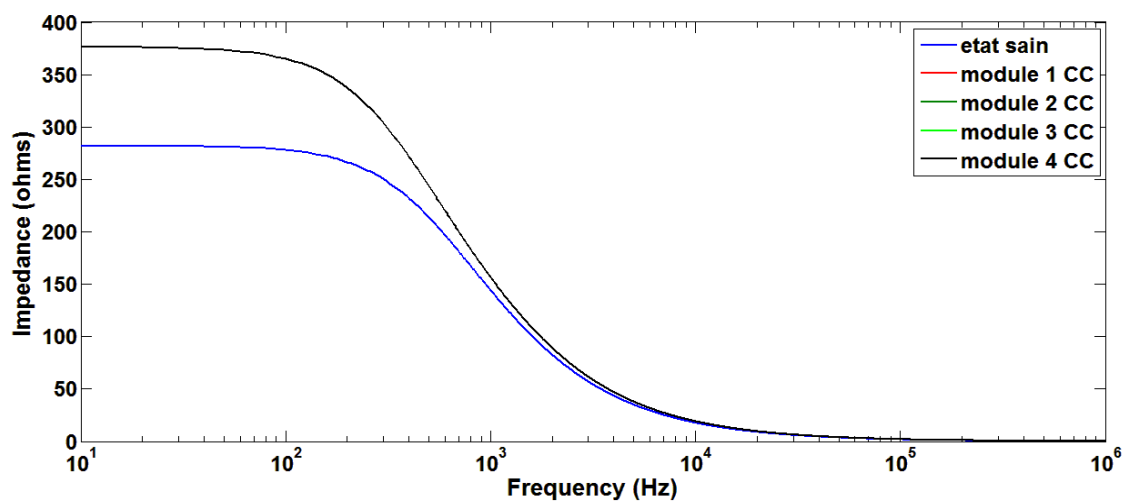


Figure III.21 : Défaut de module « court-circuit »

✓ Interprétation

La figure III.21 nous montre que le défaut de module court-circuit a influé sur la valeur de R_p où on a vu une augmentation de ce dernier. On voit aussi une décroissance remarquable de la valeur de C_p , alors que la valeur de R_s reste la même.

III.11 Conclusion

Dans ce chapitre on a pu représenter la cellule ainsi que définir ces paramètres grâce au diagramme de Bode et Nyquist, la réponse fréquentielle de la cellule selon Bode nous montre exactement sur quel paramètre le défaut fait effet.

Après la simulation et l'application de plusieurs défauts sur les différents branchements on a remarqué plusieurs variations dans les paramètres R_p , C_p et R_s . Ces changements sont la preuve qu'une défaillance s'est produite au niveau du générateur photovoltaïque.

On peut localiser le placement exact du défaut dans quelques résultats obtenus comme le défaut de connectique et le défaut de court-circuit, mais dans les autres résultats les courbes sont identiques.

Conclusion générale

Ce travail présente une étude de caractérisation de l'état de santé de panneaux photovoltaïques par mesure d'impédance, on s'est principalement intéressé au diagnostic des défauts dans la partie AC du générateur PV par analyse de la caractéristique d'impédance.

Plusieurs défauts ont été restructurés et classifié pour la modélisation il s'agit de : défauts de court-circuit et de circuit ouvert, défauts de la diode de by-pass, défauts de module, défauts de connectique, défauts de la diode anti-retour et défaut de l'arc.

Une analyse des résultats permettra de mettre en évidence les possibilités de caractérisation des défauts par mesure d'impédance au niveau d'une seule cellule, d'un panneau photovoltaïque complet, voire même au niveau d'un groupement de panneaux photovoltaïques. La première étape consiste à établir une base de connaissance sur le comportement défaillant d'un système PV et faire une comparaison entre le comportement de la cellule PV en fonctionnement normal qu'en régime inverse.

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 les composants principaux qui le constituent.

La deuxième partie de chapitre à présenté le modèle électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque, ainsi que ces paramètres.

En deuxième chapitre, on a présenté quelques notions et définitions relatives aux systèmes photovoltaïques et cité les différents défauts qui peuvent se produire dans une installation photovoltaïque ainsi que les différentes méthodes dans le diagnostic et la localisation des défauts au niveau d'un générateur.

Pour notre projet nous avons utilisé la méthode de l'analyse en fréquence, souvent appelée FRA, comme méthode de diagnostic d'un générateur PV défectueux, l'usage de cette méthode décrit exactement l'état de notre système, chaque changement est détectable, ce qui la rend une technique prometteuse dans ce domaine d'utilisation.

Conclusion Générale

Dans le dernier chapitre, nous avons modélisé et simulé un système PV, Les résultats de la simulation des différents défauts et leur discussion. Il s'agit ici de faire une comparaison effectuée entre la modélisation du générateur PV sain et en défaut.

Liste des références

- [1] BELAOUT.A mémoire de magister université- sétif-1- (études et diagnostique des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïque (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension, 2014
- [2] HELALI KAMELIA, Mémoire de Magister en génie électrotechnique, Université MOULOUD MAMMARI De TIZI-OUZOU, 25/06/2012.
- [3] MOUHAMED MEZIANI Zahra, « MODELISATION DE MODULES PHOTOVOLTAIQUES », Mémoire de Magister, UNIVERSITE DE BATNA, 2012.
- [4] AMARA KARIMA, Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension, Mémoire de Magister, Université MOULOUD MAMMARI De TIZI-OUZOU, 2014/2015
- [5] HAMEL.A mémoire de master, université Larbi ben M'Hidi-Oum EL Bouaghi- (Evaluation de performance d'un système photovoltaïque à injection réseau), Juin 2017.
- [6] S. M. SZE, Physics of Semiconductor Devices. John Wiley & Sons, sept. 1981. Google Books-ID: LCNTAAAAMAAJ.
- [7] S. PETIBON, Nouvelles architectures distribuées de gestion et conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques. Thèse doctorat, Université Paul Sabatier - Toulouse III, jan. 2009.
- [8] : Said Chikha, « Optimisation de la puissance dans les systèmes photovoltaïques », thèse de Magister option Commande, UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI OUM EL BOUAGHI, 2011/2012.
- [9] Long BUN, « Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV », thèse de doctorat, L'université de Grenoble, 2011.
- [10] Wail Rezgui, « Système intégré pour la supervision et le diagnostic des défauts dans les systèmes de production d'énergies : les installations photovoltaïques », thèse doctorat, université Hadj Lakhdar –Batna.
- [11] MEGHELLET.H, HOCINE.L mémoire de master (contribution à l'étude d'un système photovoltaïque), 2018
- [12] Jean-Paulblugeon, « montage photovoltaïque à bricoler soi-même » ,juin 2010.
- [13] CHEBABHI.A mémoire de master, université mohamed boudiaf-M'sila (étude d'identification et localisation des défauts d'un générateur photovoltaïque), juin 2016
- [14] T. Ikegami, T. Maezono, F. Nakanishi, "Estimation of equivalent circuit parameters of PV module and its application to optimal operation of PV system", Solar Energy Materials & Solar Cells 67 (2001), Page(s): 389-395
- [15] A. Ricaud, "modules et systèmes photovoltaïques", université de Savoie (Polytech' Savoie), sept 2008.
- [16] J. C. BERNÈDE, « ORGANIC PHOTOVOLTAIC CELLS : HISTORY, PRINCIPLE AND TECHNIQUES », Journal of the Chilean Chemical Society, vol. 53, p. 1549–1564, sept. 2008.
- [17] Boukhers Djamil «optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage. » Magister en électrotechnique université Mentouri de Constantine 28/ 11/ 2007
- [18] Bendjellouli Zakaria « contribution a la modélisation d'une cellule solaire. » Magistère en : Micro-électronique-photovoltaïque, université de Bechar, 28 / 06 / 2009.

- [19] KHENFER Amar, mémoire de magister, université Sétif-1- (Etude et conception d'une architecture en vue de la détection de défauts dans une installation photovoltaïque), décembre 2014.
- [20] A. Triki-lahiani, A.B. Abdelghani and I. Slama-belkhodja, 'Fault Detection and Monitoring Systems for Photovoltaic Installations: A Review', *Renewable Sustainable Energy Review*, pp. 0-1, 2017.
- [21] A. Mellit, G.M. Tina and S.A. Kalogirou, 'Fault detection and diagnosis methods for photovoltaic systems: a review', *Renewable Sustainable Energy Review*, Vol. 91, pp. 1 - 17, 2018.
- [22] C. Huang and L. Wang, 'Simulation study on the degradation process of photovoltaic modules', *Energy Conversion and Management*, Vol. 165, pp. 236 - 243, 2018.
- [23] J. Flicker, 'Analysis of Fuses for 'Blind Spot' Ground Fault Detection', in *Photovoltaic Power Systems J. Flicker Solar America Board for Codes and Standards 2013*.
- [24] H. R Karshenas, and H. Saghafi, "Performance Investigation of LCL Filters in Grid Connected Converters" *Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America*, 2006.
- [25] A. Chouder and 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.
- [26] omicron , « Tests de diagnostic et surveillance des transformateurs de puissance », testing brochure FRA, société omicron.
- [27] Megger 'FRAX 101 Analyzeur de réponse de la fréquence de balayage' FRAX101_DS_fr_V0
- [28] SAHNOUNE CHAOUICHE Moustafa, «Application des méthodes intelligentes pour le contrôle non destructif des enroulements du transformateur», thèse de doctorat, Département de Génie Electrique, Université Dr. Yahia Farès de Médéa.2019.
- [29] Constance Magne. Optimisation de couches d'oxyde nano-structurées pour applications aux cellules solaires à colorant. Matériaux. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2012. Français. Tel-00833234.
- [30] J. Zaraket, M. Aillerie, C. Salame, "Capacitance evolution of PV solar modules under thermal stress", *Energy Procedia*, Vol. 119, July 2017, Pages 702-70.
- [31] Katherine A. Kim and Philip T. Krein Department of Electrical and Computer Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign Urbana, IL, USA. Gab-Su Seo and Bo-Hyung Cho Department of Electrical and Computer Engineering Seoul National University Seoul, South Korea. (Photovoltaic AC Parameter Characterization for Dynamic Partial Shading and Hot Spot Detection).

Résumé

Les cellules photovoltaïques deviennent de plus en plus populaires comme une source d'énergie renouvelable, le nombre des centrales photovoltaïques augmente à travers le monde entier, plusieurs pays ont introduit cette énergie dans leurs réseaux d'alimentation pour accélérer l'investissement de cette nouvelle technologie, par conséquent plusieurs types de cellules et installations sont réalisées. Cependant cette technologie a besoin d'une maintenance préventive et corrective afin de protéger notre système des défauts qui apparaissent, notre projet développe une méthode de diagnostic et de détection des défauts, il s'agit de la méthode d'analyse en fréquence FRA, les résultats obtenus décrivent l'état de santé du système PV, où chaque variation des paramètres par rapport à l'état sain est considérée comme défaut.

Abstract

Photovoltaic cells are becoming more and more popular as a source of renewable energy, the number of photovoltaic power plants is increasing all over the world, several countries have introduced this energy in their power supply networks to accelerate the investment of this new technology, as a result several types of cells and installations are realized. However, this technology needs preventive and corrective maintenance in order to protect our system from the defects that appear, our project develops a method of diagnosis and detection of defects, it is the frequency analysis method FRA, the results obtained describes the state of health of the PV system, where every variation of the parameters from the healthy state is considered a defect.

ملخص

أصبحت الخلايا الكهروضوئية أكثر شيوعاً كمصدر للطاقة المتجددة ، ويزداد عدد محطات الطاقة الكهروضوئية في جميع أنحاء العالم ، وقد أدخلت العديد من البلدان هذه الطاقة في شبكات الطاقة الخاصة بهم لتسريع الاستثمار في هذه التكنولوجيا الجديدة وبالتالي يتم تصنيع عدة أنواع من الخلايا والتركيبات. وكذلك تحتاج هذه التقنية إلى صيانة وقائية وتصحيحية من أجل حماية نظامنا من الأعطال التي تظهر ، ويقوم مشروعنا بتطوير طريقة لتشخيص واكتشاف الأعطال ، وهي طريقة تحليل التردد FRA. النتائج التي تم الحصول عليها تصف الحالة الصحية للنظام الكهروضوئي ، حيث يعتبر كل تغيير في الإعدادات مقارنة بالحالة الصحية عطلاً.