



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



N° d'ordre : M...../GE/2019

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN ELECTROTECHNIQUE

Option : électrotechnique industrielle

par

KIAL ALI et LAHMAR OMAR FAROUK

Intitulé du sujet

TECHNIQUES DE DETECTION DES DEFAUTS DANS UN PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE

Soutenu le 15 / 07 / 2019 devant le jury composé de :

Président :	M . SOLTANE B .A	Grade MAA	Université de Mostaganem
Examineur 1:	Mr .MESKINE . S	Grade MCB	Université de Mostaganem
Examineur 2:	Mm. GHOMRI. L	Grade MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Mr .YAGOUBI .B	Grade Prof	Université de Mostaganem
Co-encadreur	Mr .DAOUD . M	Grade MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2018/2019



DEDICACE

*Nous dédions ce projet à toutes personnes nous ayant accompagné
Par une parole, un geste ou même une pensée, A toutes celles ayant
contribué De près ou de loin à cette finalité :*

*A nos très chers parents qui n'ont jamais cessé de nous aider et
de nous encourager durant tout notre parcours et qui nous ont permis
d'être aujourd'hui ce qu'on est,*

*A nos frères qui nous ont soutenus et encouragés tous au long de
notre projet*

*A nos sœurs, qui nous ont toujours soutenus et poussés à donner
le meilleur de nous-même,*

A nos chers amies et cousines

*Avec une dédicace spéciale à YAGOUBI BENABDALLAH et
DAOUD MOHAMED qui nous ont encouragés et permis de réaliser
ce projet*



Remerciement

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage et qui nous ont aidés lors de la rédaction de ce mémoire.

*Tout d'abord, nous adressons nos remerciements et toute nos gratitude à notre encadreur **monsieur yagoubi ben abdallâh** qui nous a apporté un soutien moral et intellectuel tout au long de ce travail et qui a contribué à cette recherche ; ayant accepté de répondre à nos questions, par mail. Un grand merci*

Nous tenons à remercier vivement notre co-encadreur monsieur Daoud , pour son accueil, le temps passé ensemble et le partage de son expertise au quotidien. Grâce aussi à sa confiance qu'on a accompli notre rédaction.

Je voudrais adresser toute ma gratitude à madame Ghomri pour la mise à notre disposition son panneau solaire pour faire nos expériences.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont conseillé et relu lors de la rédaction de ce mémoire : ma famille, mes amies et mes camarade de promotion.

À vous tous, je ne vous remercierai jamais assez...



SOMMAIRE

Introduction générale :	01
Objectif :	01
Chapitre I : Généralités sur les systèmes PV.	
I.1 Introduction :	03
I.2 - Structure du système photovoltaïque	03
I.2.1- le panneau photovoltaïque.....	04
I.2.1.1- La cellule photovoltaïque.....	04
a-Historique	04
b- Principe de fonctionnement	04
c-Description	05
d-Modélisation d'une cellule photovoltaïque	06
e- Technologies des cellules photovoltaïques	06
e.1-Les cellules monocristallines	06
e.2-Les cellules poly cristallines	06
e.3-Les cellules amorphes	06
e.4-Récapitulation	07
I.2.1.2-Association des cellules photovoltaïques.....	07
a-une série de cellules photo photovoltaïques.....	08
Diodes « by-pass »	08
b- Module (panneau) photovoltaïque.....	08
c- String et champ photovoltaïque	09
Diode anti-retour	09
I.2.2-Convertisseur DC/DC(Régulateur).....	10
I.2 .2.1- Les régulateurs série.....	10
I.2 .2.2- Les régulateurs shunt	10
I.2 .2.3- Les régulateurs à recherche de point de puissance maximum.....	10
I.2.3- Systèmes de stockage.....	11

SOMMAIRE

Les Batterie au plomb.....	11
I.2.4-Convertisseur DC/AC(Onduleur).....	12
I.3 - Les différents types de systèmes photovoltaïques.....	13
I.3.1 - Système photovoltaïque autonome	13
I.3.2 - Système photovoltaïque hybrides.....	13
I.3.3 - Système photovoltaïque connectés à un réseau.....	13
I.4-Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques	13
I.4.1 –Avantages.....	13
I.4.2 -Inconvénients	14
I.5-Conclusion	15
Chapitre II : Les défauts dans un système solaire photovoltaïque et différentes méthodes de diagnostic	
II.1 –Introduction.....	16
II.2-Caractéristique électrique d’une cellule solaire	16
II.2.1- Photo-courant.....	17
II.2.2-Courant de saturation de la diode	17
II.3-Paramètres de performance d’une cellule	18
II.3.1-Tension de circuit ouvert	19
II.3.2-Courant de court-circuit	19
II.3.3-Puissance débitée	19
II.3.4– Facteur de forme.....	20
II.3.5 -Rendement de conversion.....	20
II.4- Défauts des panneaux photovoltaïques	20
II.4.1 -Jaunissement et brunissement	20
II.4.2 - Bulle d’air.....	21
II.4.3-Fissures dans les cellules.....	22
II.4.4 -Délaminage.....	23
II.4.5 -Défaut de revêtement anti -reflet (ARC)	24

SOMMAIRE

II.4.6 -Points chauds (Hot spots)	25
II.4.7 -L'augmentation de la résistance série (R_s).....	26
II.4.8- La diminution de la résistance parallèle (R_p).....	27
II.4.9-Défaut de mismatch et d'ombrage partiel	29
II.4.9.1-mismatch.....	29
II.4.9.2-L'ombrage partiel	29
II.4.10-Défauts de la diode de by-pass de diode anti-retour	30
II.4.11- Autres Défauts.....	30
II.5. -Classification des défauts d'un générateur photovoltaïque.....	31
II. 6-Méthodes de détection et de localisation de défauts dans un système photovoltaïque...	31
II. 6. 1-Méthodes non électriques	32
II.6.1.1-Inspection visuelle	32
II.6.1.2- Méthode de thermographie infrarouge (IR)	32
II.6.1.3-Méthode par verrouillage en thermographie (LIT)	33
II.6.1.4- Technique de Vibrations ultrasoniques résonante ou à résonance (RUV)...	33
II.6.2-Méthodes électriques	34
II.6.2.1-Analyse de la puissance et de l'énergie produite	34
II.6.2.2-Analyse du point de fonctionnement	34
II.6.2.3 Analyse de la caractéristique statique	34
II.7Conclusion.....	36
Chapitre III : Les résultats et discussions	
III.1 Introduction.....	37
III.2 Résultats obtenus pour la détection des défauts par	37
III.2.1 Méthodes utilisant les caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$	37
III.2.1.1 Résultats expérimentaux	37
a-Cas du PV sain	37
b-Cas du PV avec défaut.....	38

SOMMAIRE

b.1- Défaut d'ombrage.....	38
b.2 -Défaut d'augmentation de Rs.....	40
b.3 -Défaut de diminution de Rp.....	42
III.2.1.2-Simulation par Simulink/Matlab.....	44
a-Cas du PV sain	44
b-Cas du PV avec défaut.....	46
b.1- Défaut d'ombrage.....	46
b.2 -Défaut d'augmentation de Rs.....	47
b.3 -Défaut de diminution de Rp.....	48
III.2.1.3 Etude comparative entre les résultats expérimentaux et ceux de la simulation...50	
a-Cas du PV sain.....	50
b-Cas du PV avec défaut.....	51
b.1-Défaut d'ombrage.....	51
b.2 -Défaut d'augmentation de Rs.....	52
b.3 -Défaut de diminution de Rp.....	53
c- Interprétation des résultats	55
III.2.2 Détection des défauts des panneaux solaires à l'aide de l'algorithme IBIP.....55	
III.2.2.1-L'objectif.....	55
III.2.2.2-L'algorithme IBIP et son application	55
a -Cas du PV sain.....	55
b -Algorithme de l'inverse de la probabilité	56
b.1 -Organigramme de la IBIP.....	57
b.1.1 -Partie. I.....	57
b.1.2 -Partie. II.....	58
c-Application de l'IBIP:.....	58.59
d-Application aux cas avec défauts	60
III.3-Conclusion	62.63
Conclusion générale.....	64

SOMMAIRE

Bibliographie.....	66
--------------------	----

Les abréviations

PV : panneaux photovoltaïques

I : courant [A]

A : ampère unité du courant

V : tension [v] V : volte unité du tension

P : puissance[w]

W :watt unité du puissance

Rs : la résistance série [ohm]

Ohm : unité du résistance

Rp : résistance parallèle (shunt)

Sft : université de science et technologie Mostaganem

DC:courantcontinu

AC : courant alternatif

N_{cs} : nombre de cellules en séries

N_{ssm} : Le nombre total des sous-modules connectés en série.

N_{st} : le nombre de strings branchés en parallèle.

NiCd : nickel-Cadmium

I_{ph} : est le photo-courant

$I_{ph,STC}$: est le photo-courant aux STC (1000W/m², AM1.5), en [A].

α : est le coefficient de température du courant court-circuit en [A/°C]

Les abréviations

$^{\circ}\text{C}$: degré Celsius unité de température

T_c : est la température cellule, en $[^{\circ}\text{C}]$

$T_{c,STC}$: est la température cellule aux STC , $[T_{c,STC} = 25^{\circ}\text{C}]$

G : est l'éclairement reçu par la cellule solaire $[\text{W}/\text{m}^2]$

G_{STC} : est l'éclairement aux STC.

STC : Standard Test Conditions

T_c : est température de la cellule en $[^{\circ}\text{C}]$

T_a : est la température ambiante en $[^{\circ}\text{C}]$

NOCT : est la température normale de fonctionnement de la cellule (Normal Operating Cell Temperature)

I_0 : est le courant de saturation inverse à la température T_c .

$I_{0,ref}$: courant de saturation inverse de référence.

E_g : est l'énergie de la bande interdite. Pour le silicium, elle est égale à 1.12eV

V_t : La tension thermique

k : est le constant de Boltzmann

n : est facteur d'idéalité de diode.

q : est la charge d'électron.

V_{co} : tension à vide

I_{cc} : est le courant court-circuit en anglé appelés

I_{scMPP} : point de puissance maximal: V_{opt} : tension optimaux parfois appelés aussi

V_{mpp} : courant optimaux parfois appelés aussi,

$I_{mpp} P_m$: puissance maximale

I_m : est le courant délivré par la cellule au point de puissance maximale P_m .

V_m : est la tension aux bornes de la cellule au point de puissance maximale P_m .

FF : Facteur de forme

Les abréviations

η : Le rendement

EVA : Ethylène Vinyl Acétate

PVF : polyvinyl fluoride

UV : l'exposition au rayonnement

EL : l'électroluminescence

ARC : le revêtement anti -reflet

IR : infrarouge

LIT :verrouillage en thermographie

RUV : Vibrations ultrasoniques résonante ou à résonance

GPV : générateur de courant \hat{m}_i : la moyenne estimée de chaque intervalle de Ps résultant

$\hat{\sigma}_i^2$: la variance estimée de chaque intervalle de Ps résultant

Ps : puissance délivré par le panneau solaire

Psi : sont les valeurs d' intervalle de Ps et (i= 1, 2 ,3...) L :est la longueur de l'intervalle et

$$l = i.L$$

P : La probabilité gaussienne

Pi : inverse La probabilité gaussienne de chaque intervalle

1/p : inverse La probabilité gaussienne

$rand(1, L, 'n')$ est une fonction intégrée Scilab (ou Matlab) permettant de générer des échantillons de BBG

BBG : bruit blanc gaussien

IBIP : Inverse de la probabilité individuelle

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Performance des différentes technologies des cellules Photovoltaïques.....	07
Tableau II.1 : la classification des défauts selon leurs catégories.....	31
Tableau III.1 : Les caractéristiques du module photovoltaïque utilisé.....	37
Tableau III.2 : les grandeurs électriques mesurées.....	37
Tableau III. 3: les grandeurs électriques mesurées I et V pour chaque cas d'ombrage.....	39
Tableau III. 4: les grandeurs électriques mesurées I et V pour chaque cas de défaut R_s	40
Tableau III. 5: les grandeurs électriques mesurées I et V pour chaque cas de défaut R_p	42
Tableau III.3: caractéristiques de module photovoltaïque.....	44

Liste des figures

Figure I.01 : schéma installation système photovoltaïque.....	03
Figure I.02 : vue en coupe d'une cellule photovoltaïque.....	05
Figure I.03 : Différentes structures cellules photovoltaïque.....	07
Figure I.04 : Sous module constitué de N_{cs} cellules connectées en séries.....	08
Figure I.05 : module constitué de N_{ssm} sous modules montés en séries.....	09
Figure I.06 : champ photovoltaïque composé de N_{st} strings en parallèle.....	09
Figure I.07 : Régulateur PV.....	10
Figure I.08 : Principe de fonctionnement d'une cellule de batterie.....	12
Figure I.09 : Onduleur PV.....	12
Figure II.1: Circuit équivalent simple d'une cellule solaire idéale, à résistance série et shunt	16
Figure II.2 : les caractéristiques I-V et P-V d'une cellule	19
Figure II.3: défaut de Jaunissement.....	21
Figure II.4 : défaut de bulles d'air.....	22
Figure II.5: fissures dans les cellules PV.....	23
Figure II.6 : défaut de délaminage.....	24
Figure II.7 : défaut de revêtement anti –reflet.....	25
Figure II.8 : défaut de point chaud.....	26
Figure II.9: défaut d'augmentation de la résistance R_s	27
Figure II.10: la courbe I(V) de défaut d'augmentation résistance série R_s	27
Figure II.11 : L'influence de la résistance shunt R_p Sur la caractéristique I (V) et P(V)	28
Figure II.12 : Défaut d'ombrage partiel.....	30
Figure II.13: défaut de la diode de by-pass.....	30

Liste des figures

figure II.14 : Allure de la caractéristique I -V d'un champ PV en fonctionnement défaillant	35
Figure III.1 : La caractéristique $I=f(V)$ cas sain.....	38
Figure III.2 : La caractéristique $P=f(V)$ cas sain.....	38
Figure III.3 : La caractéristique $I=f(V)$ cas sain et avec défaut d'ombrage.....	39
Figure III.4 : La caractéristique $P=f(V)$ cas sain et avec défaut d'ombrage.....	40
Figure III.5 : La caractéristique $I=f(V)$ cas sain et avec défaut de R_s	41
Figure III.6 : La caractéristique $P=f(V)$ cas sain et avec défaut de R_s	41
Figure III.7 : La caractéristique $I=f(V)$ cas sain et avec défaut de R_p	43
Figure III.8 : La caractéristique $P=f(V)$ cas sain et avec défaut de R_p	43
Figure III.2 : schéma du système photovoltaïque dans l'environnement Matlab/Simulink.....	44
Figure III.10 : La caractéristique $I=f(V)$ dansle cas sain.....	45
Figure III.11 : La caractéristique $I=f(V)$ dansle cas sain.....	45
Figure III.12 : La caractéristique $I=f(V)$ d'un système PV cas sain et avec défaut d'ombrage.....	46
Figure III.13 : La caractéristique $P=f(V)$ d'un système PV cas sain et avec défaut d'ombrage.....	47
Figure III.14 : La caractéristique $I=f(V)$ cas sain et avec défaut de R_s par Simulink.....	48
Figure III.15 : La caractéristique $P=f(V)$ cas sain et avec défaut de R_s par Simulink.....	44
Figure III.16 : La caractéristique $I=f(V)$ d'un système PV cas sain et avec défaut de R_p par Simulink.....	49
Figure III.17 : La caractéristique $P=f(V)$ d'un système PV cas sain et avec défaut de R_p par Simulink.....	49
Figure III.3 : les caractéristiques $I=f(V)$ dans le cas de sain pour l'expérimentation et la simulation.....	50

Liste des figures

Figure III.19 : les caractéristiques $P=f(V)$ dans le cas de sain pour l'expérimentation et la simulation.....	51
Figure III.20: les caractéristiques $I=f(V)$ dans le cas sain et d'ombrage pour l'expérimentation et la simulation.....	52
Figure III.21: les caractéristiques $P=f(V)$ dans le cas sain et d'ombrage pour l'expérimentation et la simulation.....	52
Figure III.22: les caractéristiques $I=f(V)$ dans le cas sain et défaut de R pour l'expérimentation et la Simulation.....	53
Figure III.23: les caractéristiques $P=f(V)$ dans le cas sain et défaut de R pour l'expérimentation et la Simulation.....	53
Figure III.24: les caractéristiques $I=f(V)$ dans le cas sain et défaut de R pour l'expérimentation et la Simulation.....	54
Figure III.25: les caractéristiques $P=f(V)$ dans le cas sain et défaut de R pour l'expérimentation et la Simulation.....	54
Figure III.26. : Puissance moyenne (sans défauts) fournie par 20 panneaux en fonction du temps.....	56
Figure III.27 : caractéristiques ($p=f(t)$) dans l'intervalle de ($T=300 - T=510$).....	59
Figure III.28 : caractéristique $p=f(t)$ des courbes original (sain) et régulier (BBG).....	59
Figure III.29 : les courbes (a,b) représentent la caractéristique $p=f(t)$ pour deux cas de défaut différent	60
Figure III.30 : les courbes (c,d) représentent l'IBIP pic des défauts au niveau de la signal $P_n(t)$ inverse	61
Figure III.31: les démarches de modélisation pour détecter le cas de défaut.....	62
Figure III.32 : les démarches de modélisation pour détecter 2ème cas de défaut.....	62

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale

Introduction Générale :

Au cours du temps et avec l'évolution des secteurs industriels et la demande accrue due à l'économie numérique, aux véhicules électriques et à d'autres changements technologiques, la demande mondiale d'électricité devrait progresser de 60% d'ici à l'horizon 2040[1].

La production d'énergie est toujours un défi de grande importance pour les années à venir. Une grande partie de la production mondiale de l'énergie électrique est assurée à partir des énergies fossiles pétrole, gaz et charbon. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures, par conséquent que Les énergies renouvelables telles que l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie biomasse et l'énergie hydroélectrique sont des solutions prometteuses qui répondent à ces besoins, avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plusieurs points du globe terrestre.

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables la plus utilisée. Elle consiste à convertir directement le rayonnement électromagnétique (solaire ou autre) en électricité. Elle utilise, pour ce faire, des convertisseurs photovoltaïques ou cellules photovoltaïques et encore cellules solaires qui représentent l'élément de base dans la conversion photovoltaïque. Or comme tous les systèmes électriques et électroniques, 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 voire à l'indisponibilité totale du système. Toutes ces conséquences défavorables vont réduire la productivité de l'installation, et donc le profit de l'installation, sans compter le coût de maintenance pour remettre le système en état normal. Permettre de diagnostiquer finement et de faire de la détection et localisation des défauts dans une installation PV, de réduire les coûts de maintenance, et surtout d'augmenter la productivité en augmentant le taux de disponibilité des installations tout en veillant à ce que leur rendement soit optimal. Le manque d'information sur les différentes anomalies détectées sur la chaîne complète nécessite la création d'une base de connaissance des différents défauts existants. Deux cas peuvent alors être présentés :
L'analyse de la puissance en sortie des panneaux grâce au système d'acquisition en temps réel
L'analyse de la caractéristique I-V du générateur PV.

L'objectif

L'objectif de ces deux cas est de pouvoir identifier la nature du défaut dans le cas où celui-

Introduction Générale

ciexiste. Par exemple, l'ombrage partiel et l'augmentation de la résistance série impacte fortement la production du système.

Pour mener à bien notre travail, nous l'avons organisé en trois chapitres selon le plan méthodologique suivant :

Chapitre 1: Décrit les composants du système photovoltaïque tels que le panneau photovoltaïque, le convertisseur DC/DC, le système de stockage et le convertisseur DC/AC et cite les différents types de ce système

Chapitre 2: Dans un premier lieu, il est consacré à la présentation de la caractéristique électrique et les paramètres de performance d'une cellule solaire, ensuite des défauts majeurs et anomalies qui peuvent apparaître dans un module et générateur photovoltaïque, et enfin une présentation générale des différentes méthodes de diagnostic pour détecter ou localiser les défauts dans un système photovoltaïque coté générateur DC.

Chapitre 3 : Il comprend deux grandes parties :

La 1^{ère} partie est consacrée à la présentation des résultats obtenus pour la modélisation d'un champ photovoltaïque dans les deux états sain et défaillant avec la méthode de la caractéristique I-V et P-V pour les défauts (l'ombrage partiel, l'augmentation de la résistance série R_s et la diminution de la résistance parallèle R_p) puis une comparaison entre les résultats obtenus par simulation en utilisant Matlab-Simulink et nos résultats expérimentaux.

La 2^{ème} partie est dédiée au développement de l'algorithme de détection de défauts d'un champ photovoltaïque en se basant sur la méthode de l'inverse de la probabilité.

Ce travail sera bien évidemment finalisé par une conclusion générale.

Les défauts dans un système P.V et différentes méthodes de diagnostic

I.1-Introduction :

Une installation photovoltaïque est un assemblage de panneaux photovoltaïques eux même composés d'une série de cellules élémentaires. Lorsque ces cellules sont exposées aux rayonnements du soleil, elles produisent de l'électricité.

Nous proposons dans ce premier chapitre, quelques généralités sur le système solaire, les principaux composants de ce système, les différentes configurations des énergies de ce système et nous finirons par citer les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

I.2 - Structure du système photovoltaïque : [2]

Tout système photovoltaïque peut se composer, comme il est montré sur la figure suivante en plusieurs parties:

Constitué par un ensemble des cellules photovoltaïques reliées entre elles, un module photovoltaïque à lui seul ne peut pas grand-chose en terme de réponse à un besoin défini il doit donc être associé à un système complet qui comprend :

- une partie de production (panneau photovoltaïque)
- Un contrôleur de charge ou convertisseur DC/DC (Régulateur) ;
- Un système de stockage (Batteries) ;
- Un convertisseur DC/AC (Onduleur).

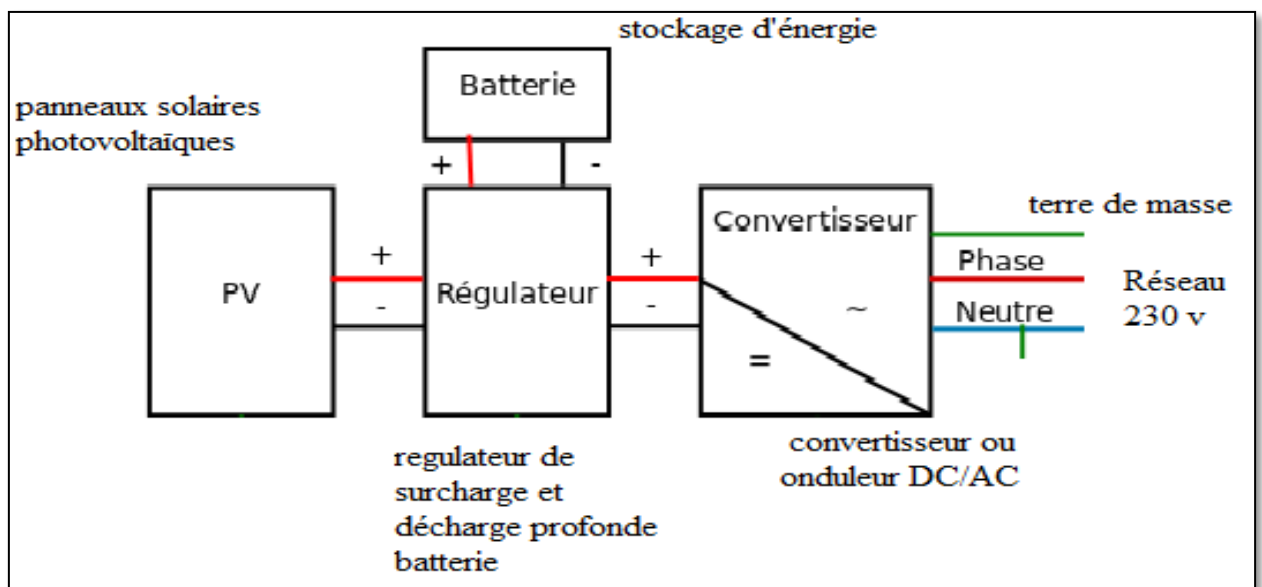


Figure I.1 : Schéma d'installation du système photovoltaïque

I.2.1- Le panneau photovoltaïque :

I.2.1.1-la cellule photovoltaïque :

a-Historique :

En 1839, Antoine Becquerel publie un Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires relatif à une expérience menée par son fils Edmond avec une pile constituée par des électrodes de platine et de cuivre oxydé plongeant dans une solution électrolytique acide. Cette pile est capable de fournir un courant dès l'instant où elle est éclairée. En 1877, W. G. Adams et R. E. Day découvrent l'effet photovoltaïque du sélénium, et C. Fritts met au point le premier panneau photovoltaïque à base de cellules au sélénium. Il est surtout le premier à croire à l'énorme potentiel de l'énergie solaire. À cette époque, le niveau des connaissances scientifiques ne permettait pas d'expliquer le fonctionnement de ces dispositifs, et ce n'est qu'en 1905 qu'Albert Einstein publie un article convaincant sur l'effet photoélectrique, ce qui lui a valu le prix Nobel en 1921.

Depuis cette date, les recherches n'amenèrent pas de grands progrès, mais, en 1940, Adler, reprenant une idée émise par Garrison en 1923, montre que la tension de circuit ouvert d'une cellule photovoltaïque varie comme le logarithme de l'intensité d'illumination, alors que le courant varie d'une façon linéaire (Auwers et Kerschbaum). R. S. Ohl décrit, en 1941, la première réalisation d'une jonction p-n dans le silicium, à effet photovoltaïque, mais il faut attendre 1954 pour que des chercheurs des Bell Telephone Laboratoires (États-Unis), D. M. Chapin, C. S. Fuller et G. L. Pearson, annoncent (et déposent un brevet en 1957) la mise au point d'une cellule dont le rendement de conversion énergétique atteint 6%, marquant ainsi véritablement la naissance de l'électricité photovoltaïque. Par la suite, le développement des techniques utilisées dans l'industrie des semi-conducteurs (redresseurs et transistors) a permis de faire progresser la qualité de rendement.

b- Principe de fonctionnement:

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique, quand il est exposé à la lumière (photons), il génère une tension électrique (volt) d'où vient l'effet photovoltaïque.

La structure la plus simple d'une cellule photovoltaïque comporte une jonction entre deux zones dopées différemment d'un même matériau (homo jonction P-N) ou entre deux matériaux différents (hétéro structures), la moins épaisse étant soumise au flux lumineux.

Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est le suivant : les « grains » de lumière qu'on appelle photons, en pénétrant très légèrement dans le silicium, déplacent quelques électrons du métal.

Le métal semi-conducteur ne permettant le déplacement des électrons que dans un sens, les électrons déplacés par la lumière doivent passer par le circuit extérieur pour revenir à leur place, ce qui engendre un courant.

La production d'électricité est proportionnelle à la surface des modules photovoltaïque exposés au soleil et à l'intensité lumineuse. Dépendante des conditions météorologiques, la production est donc aléatoire. L'énergie peut être utilisée en directe ou stockée dans des batteries pour une utilisation ultérieure.

c-Description:

Un panneau photovoltaïque est constitué d'une série de cellules photovoltaïques, formées d'un matériau semi-conducteur en deux couches, l'une dopée positivement (P) et l'autre négativement (N). C'est une jonction PN. Lorsqu'un électron est arraché, il se forme à la place un « trou », se comportant comme une charge positive.

L'électron et le trou s'échappent de part et d'autre de cette jonction PN (les électrons vers N et les trous vers P), créant une différence de potentiel (ce que l'on mesure en volts).

Une cellule photovoltaïque produit donc ainsi du courant électrique continu.

Ce semi-conducteur est pris en sandwich entre deux électrodes métalliques et le tout est protégé par une vitre. Il existe différents types de cellules et de procédés de fabrication. Le semi-conducteur le plus utilisé est le silicium[5].

Le schéma ci-dessous montre l'illustration d'une cellule photovoltaïque.

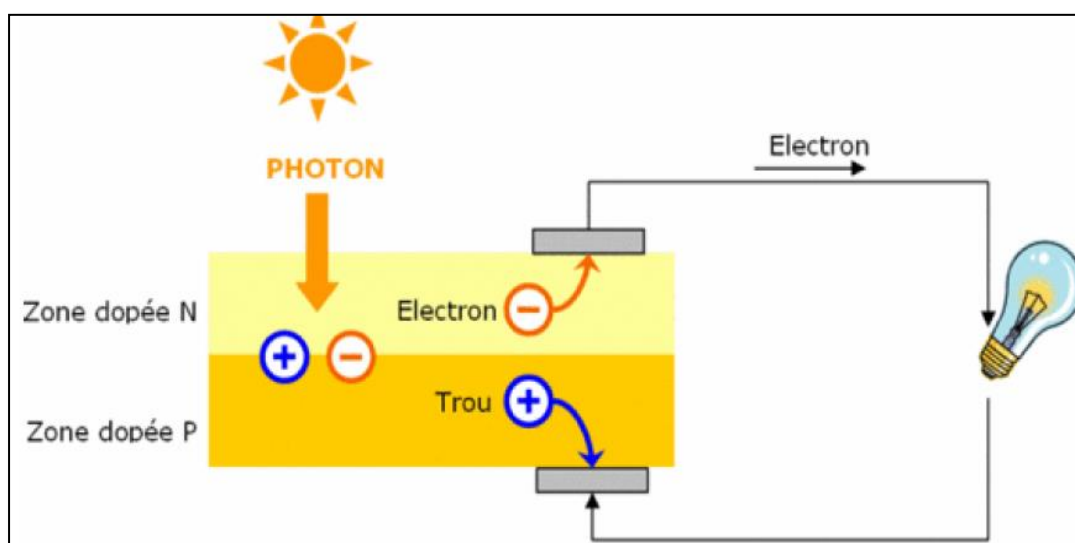


Figure I.2 : Vue en coupe d'une cellule photovoltaïque

d- Caractéristique d'une cellule photovoltaïque :

Pour développer un circuit équivalent précis pour une cellule PV, il est nécessaire de comprendre la configuration physique des éléments pour différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïques) :

La performance se mesure d'abord par le rendement :

-Le rendement : C'est le pourcentage de l'énergie lumineuse effectivement transformée en électricité. C'est pour ça que les panneaux vendus dans le commerce, on trouve, du moins cher au plus cher, Selon cette philosophie plusieurs types de technologie ont été proposés pour représenter la cellule photovoltaïque

e- Technologies des cellules photovoltaïques :

Il existe trois types principaux disponibles sur le marché qui sont :

e.1- Les cellules monocristallines :

Le silicium est fondu deux fois pour se solidifier en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules.

Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme. Leur rendement est de l'ordre de 14 à 20%, et engendrent un coût de production plus élevé que les cellules poly-cristallines.

e.2- Les cellules poly cristallines :

Ce sont actuellement les plus présentes sur le marché. Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en plusieurs cristaux dont les orientations sont différentes. La cellule photovoltaïque est d'aspect bleuté, mais pas uniforme ; on distingue des motifs créés par les différents cristaux leur rendement est de l'ordre de 11 à 15, mais elles engendrent un coût de production moins élevé que les cellules monocristallin, il représente donc à ces jours le meilleur rapport qualité/ prix.

e.3- Les cellules amorphes :

Ces cellules sont composées d'un support en verre ou en matière synthétique sur lequel est disposé une fine couche de silicium (l'organisation des atomes n'est plus régulière comme dans un cristal).

Elles présentent l'avantage de fonctionner avec un éclairage faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment), et d'être moins sensible aux températures élevées que les cellules mono ou poly cristallines. En revanche, leur rendement est faible, compris entre 5 et 9%.

e.4-Récapitulation :

Aujourd'hui, les principales technologies industrielles utilisent le silicium mono ou polycristallin qui présentent presque une légère différence aux niveaux des caractéristiques alors que la production mondiale de silicium amorphe ne dépasse pas les 20%.

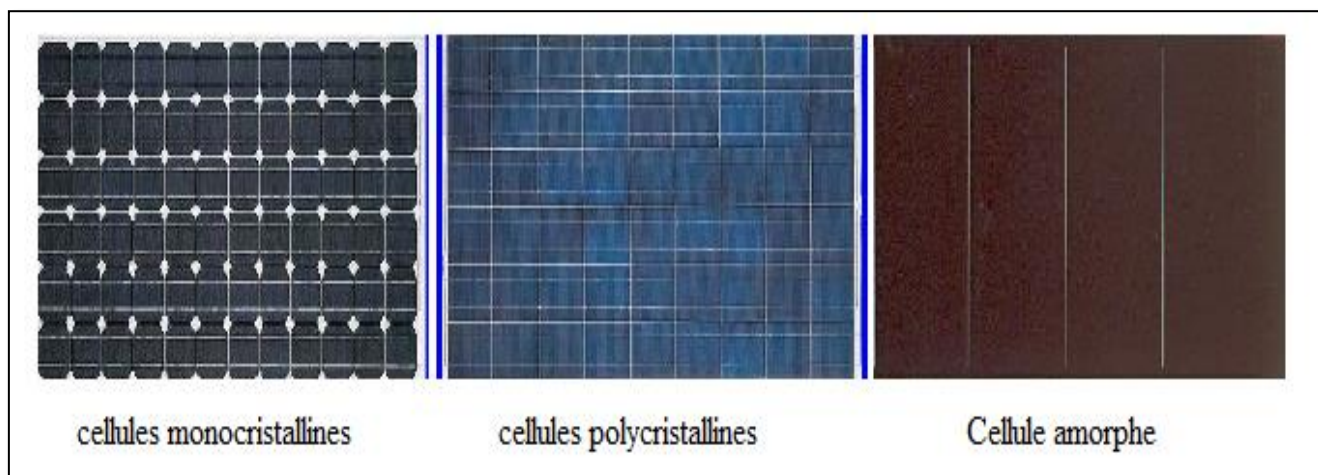


Figure1.3 : Différentes structures de cellules photovoltaïques

Les performances des différentes technologies des cellules Photovoltaïques sont mentionnées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1.2 : Performances des différentes technologies des cellules Photovoltaïques

	Rendement max cellule labo	Rendement module	Surface pour 1 kWc
Monocristallin	25,0%	15-20%	~6 m ²
Polycristallin	20,4%	13-16%	~7 m ²
Silicium ruban	19,7%	11-15%	~7,5 m ²
Silicium amorphe	13%	5-9%	~14 m ²
Silicium micromorphe	13%	6,5-9,5%	~12,5 m ²
Cellule Hybride HIT	21,5%	15-17,7%	~6,5 m ²
CIGS	20,3%	7-13%	~10 m ²
CdTe	17,3%	7-11%	~11 m ²
Cellule organique	8,3%	1-5%	~30 m ²
Cellule de Grätzel	11%		
Cellule multi jonction	43,5%		

I.2.1.2- Association des cellules photovoltaïques :

Généralement les cellules photovoltaïques sont associées pour constituer un panneau. Ces derniers sont regroupés en série ou bien en parallèle selon la puissance demandée.

a - une série de cellules photo voltaïques (sous module ou branche) :

On dénomme sous module ou bien branche l'ensemble de cellules en séries connectées en parallèle avec une diode de protection « by-pass » (Figure I.4),

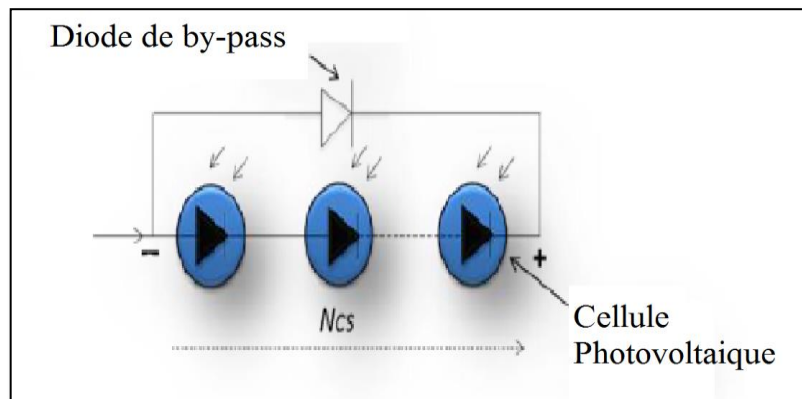


Figure I.4 : Sous module constitué de N_{cs} cellules connectées en séries

Avec : N_{cs} nombre de cellules en séries.

Diodes « by-pass » :

La mise en série des cellules peut être dangereuse lorsque l'une d'entre elles se retrouve à l'ombre. Elle va s'échauffer et risque de se détruire.

En effet, une cellule "masquée" voit l'intensité qui la traverse diminuer. De ce fait, elle bloque la circulation de l'intensité "normale" produite par les autres modules. La tension aux bornes de cette cellule "masquée" augmente, d'où apparition d'une surchauffe.

C'est l'effet d'auto polarisation inverse. Une telle cellule est appelée "Hot spot".

Pour supprimer ce problème et protéger la cellule « masquée », on place des diodes « by-passe» en antiparallèles sur 18 ou 24 cellules de façon à court-circuiter les cellules ombrées.

b - Module (panneau) photovoltaïque:

Le module est constitué d'un groupe de sous modules connectés en série pour avoir une tension plus ou moins élevée

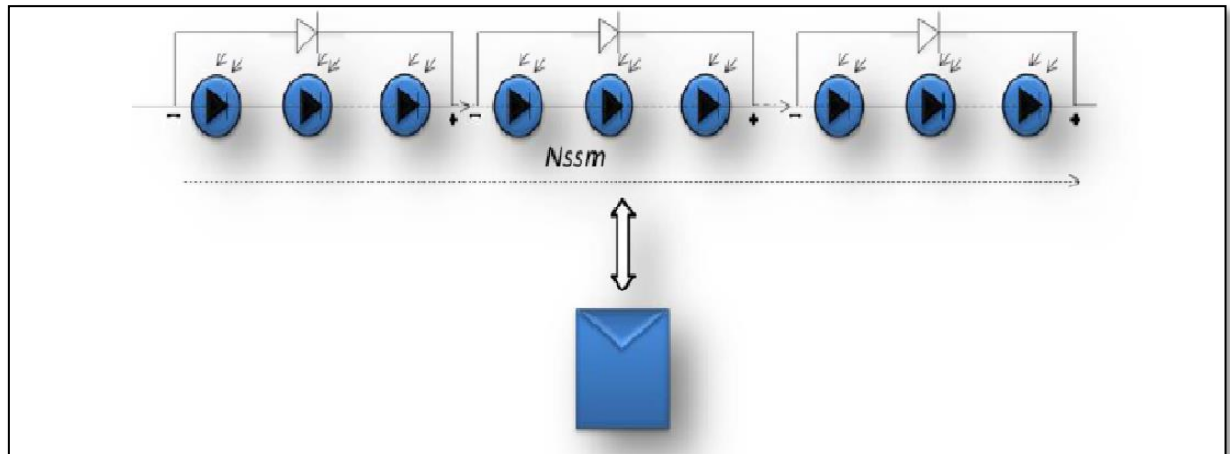


Figure I.5 : Module constitué de N_{ssm} sous modules montés en série

N_{ssm} : Le nombre total des sous-modules connectés en série.

c- String et champ photovoltaïque :

Suivant la puissance du panneau, le string est constitué de plusieurs modules connectés généralement en série. Ces strings sont connectés en parallèle pour former un champ photovoltaïque. Pour éviter qu'une branche de cellules connectées en série ne reçoive de l'énergie d'autres strings connectés en parallèle, il faut installer dans chacune des branches des diodes en série (diode anti retour) comme indiquée dans la Figure suivante.

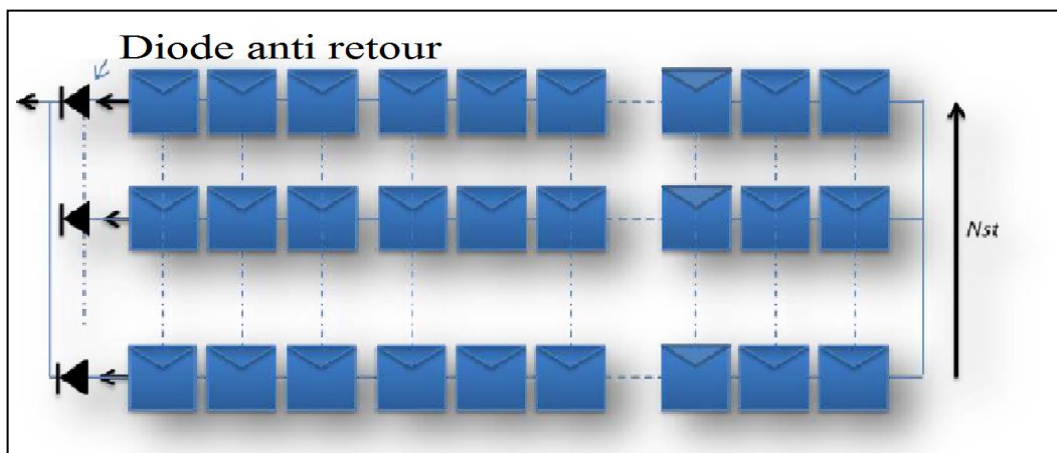


Figure I.6 : champ photovoltaïque composé de N_{st} strings en parallèle

N_{st} le nombre de strings branchés en parallèle.

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.

L'utilisation de la diode anti-retour introduit pourtant une perte dans la production du fait de la chute de tension causée par cette diode pendant le fonctionnement normal du champ PV.

De plus, ces diodes peuvent se mettre en défaut et demandent par conséquent un contrôle régulier. Un fusible est parfois utilisé à la place de la diode anti-retour. Par contre, l'utilisation du fusible ne permet pas de protéger le string contre le courant inverse. Le fusible doit être dimensionné afin que les composants du string (module, câble, connecteur) puissent supporter l'intensité du courant inverse lorsque ce dernier existe.

I.2.2 Convertisseur DC/DC (Régulateur)

Le régulateur solaire (appelé aussi régulateur de charge ou contrôleur de charge), C'est l'élément indispensable à toute installation solaire, régule le niveau d'énergie stockée par les batteries afin d'éviter les surcharges ou les décharges trop profondes des batteries .
. Les régulateurs de charge se caractérisent en trois groupes principaux :

I.2.2.1- Les régulateurs séries : qui incorporent un interrupteur entre le générateur et l'accumulateur pour arrêter la charge.

I.2.2.2- Les régulateurs parallèle : dont l'interrupteur court-circuite le générateur solaire en fin de charge.

I.2.2.3- Les régulateurs à recherche de point de puissance maximum :

(MPPT ou Maximum Power Point Tracking), qui utilisent un circuit électronique spécial permettant de soutirer en permanence du champ de capteurs sa puissance maximale .



Figure1.7 : Régulateur PV

1.2.3- Système de stockage (Batteries) :

Dans une installation photovoltaïque, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur photovoltaïque, Lorsqu'on parle de stockage d'électricité, on pense immédiatement aux batteries électrochimiques qui constituent ainsi les références en la matière.

Le stockage d'énergie dans les systèmes photovoltaïques autonomes est assuré par des batteries .Les batteries les plus utilisées pour des générateurs autonomes sont en générale de type au plomb-acide (Pb). Celles de type au nickel-Cadmium (NiCd) sont parfois préférées pour la petite application.

Les Batterie au plomb :

Une batterie est un assemblage de plusieurs cellules, unités indépendantes et complètes possédant toutes les caractéristiques électrochimiques nécessaires au stockage. Leur assemblage au sein d'un module s'appelle batterie est uniquement destinée à disposer d'une tension plus relevée aux bornes du dispositif. Une cellule est constituée de trois éléments de base :

- une électrode positive (cathode),
- une électrode négative (anode),
- un électrolyte

Globalement, l'objectif d'une cellule est de créer une différence de potentiel entre les deux électrodes liée à leurs matériaux constituants. L'électrolyte permet la migration des ions entre l'anode et la cathode tout en interdisant le transfert des électrons. Ceux-ci devront transiter au travers d'un circuit électrique qui est la charge.

En règle générale, une technologie de batterie est définie par le couple des matériaux d'électrodes.

Au besoin, le type d'électrolyte peut également être précisé.

Ce type de composant a une électrode de plomb et celle d'oxyde de plomb, toutes plongées dans un électrolyse composé d'acide sulfurique dilué en reliant les deux électrodes à un récepteur externe consommant du courant . Une électrode se transforme en sulfate de plomb et l'acide se dilue, phénomène qui permet d'évaluer l'état de charge de la batterie en mesurant la densité d'acide. En fournissant un courant opposé au système, l'acide se concentre et les deux électrodes retrouvent leurs états initiaux, la tension nominale est la somme des équilibres aux deux électrodes soit 2.08 volts. Cependant cette batterie a une durée de vie variant entre 10 à 15 ans si elle est entretenue régulièrement.

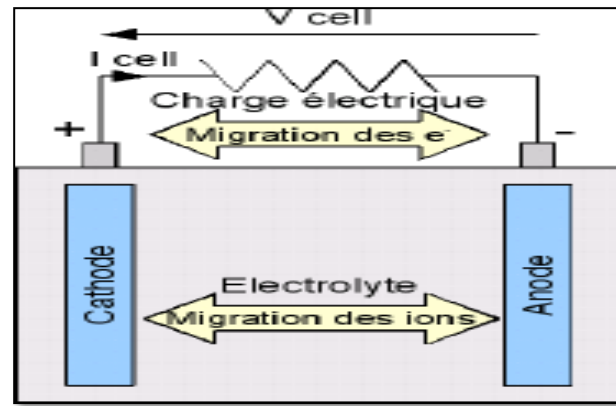


Figure I.8 : Principe de fonctionnement d'une cellule de batterie

1.2.4- Convertisseur DC/AC (Onduleur) :[3]

Les onduleurs sont des appareils servant à convertir la tension continue fournie par les panneaux ou batteries en tension alternative. Si les matériels à brancher sont en basse tension et correspondent à la tension du parc de batterie, l'utilisation d'un convertisseur ne sera pas nécessaire. Si les matériels sont en 230V AC, il faudra utiliser un convertisseur ou onduleur capable de convertir la tension des batteries en tension secteur et dont la puissance sera supérieur d'au moins 30% au besoin réel de l'application.

Il existe des onduleurs dits à :

..Onde sinusoïdale

..Onde carrée

..Onde pseudo-sinusoïdale



Figure1.9 : Onduleur PV

1.3 – Les différents types de systèmes photovoltaïques :

Nous distinguons principalement trois types de systèmes photovoltaïques :

1.3.1 - Système photovoltaïque autonome :

Les systèmes autonomes dépendent uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité. Ils peuvent comporter des accumulateurs qui emmagasinent l'énergie produite par les modules au cours de la journée servant la nuit ou lors des périodes où le rayonnement solaire est insuffisant. Ces systèmes peuvent également répondre aux besoins d'une application (par exemple, le pompage de l'eau) sans recours aux accumulateurs.

1.3.2 - Système photovoltaïque hybride :

Ces systèmes sont également indépendants des réseaux de distribution d'électricité, sont composés d'un générateur photovoltaïque combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène à combustible, ou aux deux à la fois. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée, lorsqu'il n'y a pas assez de lumière solaire à certains moments de l'année, ou si on désire diminuer l'investissement dans les champs de modules photovoltaïques et les batteries d'accumulateurs.

1.3.3 - Système photovoltaïque connecté à un réseau :

On parle de système photovoltaïque raccordé au réseau quand toute ou une partie de la production électrique est injectée sur le réseau national. C'est le type d'installation le plus répandu chez les particuliers ayant des panneaux solaires car il permet de revendre l'électricité produite. Un certain nombre de pays comme les USA, l'Allemagne, le Japon favorisent l'émergence d'un nouveau marché promoteur de couplage des générateurs solaires au réseau d'électricité.

1.4 -Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques :

Chaque système ou technologie présente des avantages et des inconvénients :

1.4.1 - Avantages :

- Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adapté à des besoins énergétiques divers.
- Les systèmes peuvent être dimensionnés par des applications de puissance allant du milliwatt au mégawatt
- Les coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent, ni combustible, ni transport, ni personnel hautement qualifié.

- La haute fiabilité, ne comportant pas des pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées.
- Enfin, cette technologie présente les qualités sur le plan écologique car le système photovoltaïque est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu si ce n'est que l'occupation de l'espace pour l'installation de grande dimension.

1.4.2 -Inconvénients :

- La fabrication des modules photovoltaïques relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28 %).
- L'onduleur ne donne pas l'énergie produite à 100 %.
- Enfin lorsque le stockage d'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût de générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants associés soient judicieusement choisis.

I.5-Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu général sur les systèmes photovoltaïques, ainsi que sur les cellules photovoltaïques et leurs caractéristiques principales et les différents types de ces systèmes et enfin nous avons cité les avantages et les inconvénients des installations P.V.

II .1-Introduction:

Le système photovoltaïque ne fonctionnera pas toujours à leur maximum d'efficacité, il peut être soumis au cours de son fonctionnement, à différents défauts et anomalies conduisant à une baisse de la performance du système.

Donc la surveillance et le diagnostic de défauts éventuels dans les systèmes photovoltaïques est de nos jours une priorité majeure pour les industriels en particulier.

Pour mieux situer notre travail, il a été nécessaire de rechercher quelles sont les méthodes utilisées pour diagnostiquer et détecter une anomalie dans un système photovoltaïque.

Dans ce chapitre nous allons diviser notre travail en deux parties : Dans la première partie, nous avons décrit les défauts.

Une seconde partie basée sur les différentes méthodes de diagnostic pour détecter ou localiser des défauts d'un générateur photovoltaïque, nous avons choisi d'arrêter l'analyse du système PV à la seule sous partie concernant le côté DC du générateur PV.

II.2- Caractéristique électrique d'une cellule solaire : [04]

Pour tenir compte des différentes limitations de la cellule photovoltaïque, Nous pouvons citer à titre d'exemple, le modèle à une diode, qui est le plus utilisé de par sa simplicité d'élaboration, sa rapidité à simuler, ainsi que sa précision.

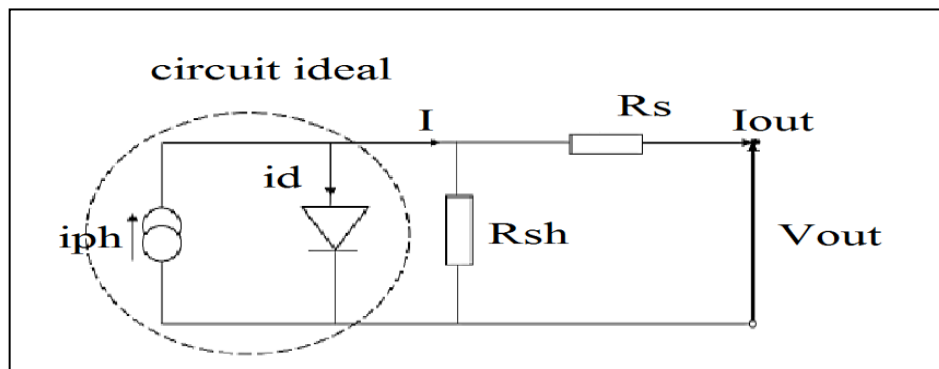


Figure II.1: Circuit équivalent simple d'une cellule solaire idéale, à résistance série et shunt

Ce modèle contient une source de courant I_{ph} qui représente l'ensoleillement reçu par la cellule, et une diode en parallèle qui représente la jonction PN. La résistance série R_s tient compte des pertes ohmiques des matériaux, des métallisations et du contact semi-conducteur. La résistance parallèle R_{sh} représente le courant de fuite qui se situe entre le dessus et le dessous de la cellule.

L'équation du modèle à une diode de la cellule PV est la suivante :

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{V_t}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (\text{II.1})$$

II.2.1-Photo-courant :

Le courant I_{ph} d'une cellule PV dépend de la température et de l'ensoleillement ainsi que du coefficient

de température du court-circuit généralement donné dans les références constructeurs (α). le courant I_{ph} pour expression générale:

$$I_{ph} = [I_{ph,STC} + \alpha(T_c - T_{c,STC})] \frac{G}{G_{STC}} \quad (\text{II.2})$$

$I_{ph,STC}$: est le photo-courant aux STC (1000W/m², AM1.5), en [A].

α : est le coefficient de température du courant court-circuit en [A/°C]

T_c : est la température cellule, en [°C]

$T_{c,STC}$: est la température cellule aux STC , [$T_{c,STC} = 25^\circ\text{C}$]

G : est l'éclairement reçu par la cellule solaire [W/m²]

G_{STC} : est l'éclairement aux STC.

La température de la cellule peut être donnée en fonction de la température ambiante par l'expression suivante:

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{800} G \quad (\text{II.3})$$

Où : **T_c** : est température de la cellule en [°C]

T_a : est la température ambiante en [°C]

NOCT : est la température normale de fonctionnement de la cellule (Normal Operating Cell Température)

II.2.2-Courant de saturation de la diode :

Le courant de saturation inverse de la diode qui représente la valeur asymptotique du courant **I** en polarisation inverse, dépend de la température et de largeur de bande d'énergie du matériau de la cellule solaire.

$$I_o = I_{o,ref} \left(\frac{T_c}{T_{c,STC}} \right)^3 \exp \left[\left(\frac{qE_g}{nT_{c,STC}} \right) \left(\frac{1}{T_{c,STC}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \quad (\text{II.4})$$

I_o: est le courant de saturation inverse à la température T_c .

I_{o,ref} : courant de saturation inverse de référence.

E_g : est l'énergie de la bande interdite. Pour le silicium, elle est égale à 1.12eV

La tension thermique est donnée par l'équation suivante :

$$V_t = \frac{nkT}{q} \quad (\text{II.5})$$

k:est le constant de Boltzmann

n: est facteur d'idéalité de diode.

q: est la charge d'électron.

II.3-Paramètres de performance d'une cellule :

Sous un éclairage donné, toute cellule photovoltaïque est caractérisée par deux courbes principales courant-tension (**I-V**) et de la puissance (**P**) représentant l'ensemble des configurations électriques que peut prendre la cellule. Trois grandeurs physiques définissent cette courbe:

-sa tension a vide : **V_{co}**. Cette valeur représenterait la tension générée par une cellule éclairée on raccorder son courant court circuit ICC : cette valeur représenterait le courant générer par une cellule éclairée raccorder a elle –meme.son point de puissance maximal : **MPP** (en anglais : *maximal power point*) obtenu pour une tension et un courant optimaux : **V_{opt}, I_{opt}** (parfois appelés aussi V_{mpp}, I_{mpp}). [05]

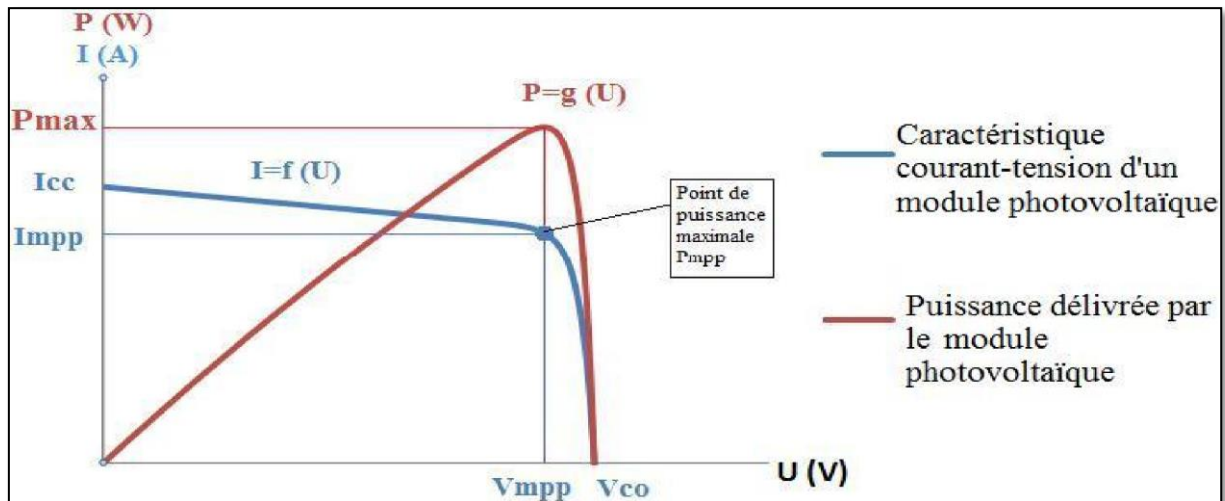


Figure II.2 : Les caractéristiques I-V et P-V d'une cellule

Im: est le courant délivré par la cellule au point de puissance maximale P_m .

Vm: est la tension aux bornes de la cellule au point de puissance maximale P_m .

II.3.1 Tension de circuit ouvert :

Elle représente la tension aux bornes de la cellule sous éclairage et sans circuit de charge ($V=V_{oc}$, $I=0$). Elle est donnée par l'expression suivante:

$$V_{oc} = nV_t \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \quad (II.6)$$

II.3.2 Courant de court-circuit : [24]

Il représente le courant délivré par la cellule quand la tension à ses bornes est nulle ($V=0$). Il est donné par l'expression suivante:

$$I_{sc} = \left[I_{ph,STC} + \alpha(T_c - T_{c,STC}) \right] \frac{G}{G_{STC}} \quad (II.7)$$

II.3.3 Puissance débitée :

La puissance fournie par la cellule est le produit $I.V$. Il s'écrit comme suit:

$$P = I.V = \left[I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{V_t}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \right] . V \quad (II.8)$$

Mathématiquement, on obtient le point de puissance maximale P_m en résolvant l'équation de la dérivée suivante:

$$\left. \frac{\partial P}{\partial V} \right|_{P=P_m} = 0 \quad (\text{II.9})$$

II.3.4 Facteur de forme

Le facteur de forme est donné par le rapport entre la puissance maximale est le produit ($V_{oc} \cdot I_{sc}$)

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{I_m V_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad (\text{II.10})$$

II.3.5 Rendement de conversion :

Le rendement η de la cellule solaire est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et l'éclairement incident P_{inc} sur la surface de la cellule S_c .

$$\eta = \frac{P_m}{P_{inc}} = \frac{V_m I_m}{P_{inc} S_c} \quad (\text{II.11})$$

II.4- Les défauts des panneaux photovoltaïques :

La puissance de sortie d'une installation photovoltaïque peut diminuer ou augmenter considérablement, ce qui augmente le stress sur la grille ou provoque parfois une panne de courant.

Dans cette partie nous décrirons les différents défauts rencontrés dans la partie DC d'un système « P.V »

c'est à dire les défauts rencontrés dans les panneaux photovoltaïques. Ces défauts peuvent apparaître suite à un défaut de fabrication ou bien en raison des conditions climatiques et vieillissement qui affectent la puissance de sortie du module PV.

Notre objectif est de présenter les principaux défauts ou de dégradations associées à un système PV partie DC.

II.4.1-Jaunissement et brunissement « la décoloration »:

Les panneaux solaires photovoltaïques sont composés d'une multitude de couches comparables à un mille feuilles.

Il y a en premier lieu, le verre de protection transparent (verre, Pirexâ, teflon...) .Ensuite, une feuille transparente en général de l'EVA (Ethylène Vinyl Acétate) dont le rôle essentiel est d'assurer une isolation galvanique (électrique).

La cellule de silicium Une seconde feuille transparente d'EVA Sous l'effet des UV et de l'humidité l'EVA se décompose et crée de l'acide acétique – dit encore acide éthanoïque - qui diminue le pH du complexe EVA-PVF (polyvinyl fluoride) et augmente ainsi la corrosion. .Ces désordres se manifestent par le jaunissement des panneaux solaires (yellowing) qui restent à ce stade de nature principalement esthétiques.

« ce jaunissement pourrait être un problème s'il provoquera un manque d'adhérence entre la matière d'enrobage polymère et les cellules du module »

Au stade du brunissement (browning) la corrosion a commencé à faire son effet : les cellules photovoltaïques sont attaquées et risquent de perdre de leur puissance. Des études ont déterminé que la cause principale de ce défaut est l'exposition au rayonnement UV combinée avec l'eau à des températures supérieures à 50 C° ce qui provoque une modification de la structure chimique du polymère.

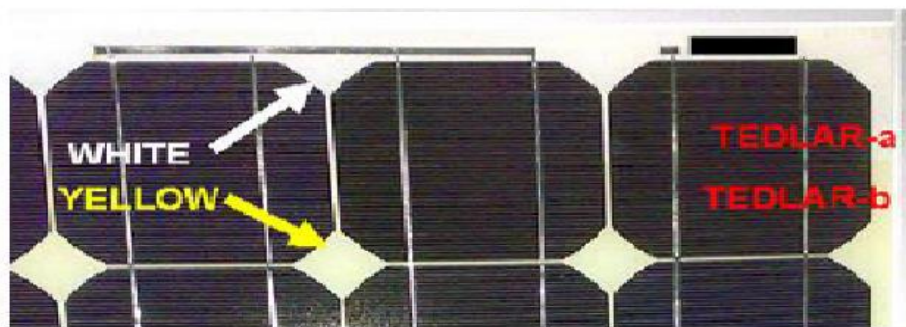


Figure II.3: Défaut de Jaunissement

II.4.2-bulle d'air :

Les bulles sont principalement dues aux réactions chimiques qui émettent des gaz emprisonnés dans le module PV. Ils forment un air chambre dans laquelle la température du gaz est inférieure à cellules adjacentes. Cependant, la chambre d'air aggrave la chaleur, la capacité de dissipation de la cellule voisine de sorte que surchauffe et présente donc une température plus élevée que dans les cellules adjacentes.

De plus, lorsque des bulles apparaissent sur la face avant causés par les microfissures à la surface de cellule solaire, une réduction du rayonnement atteignant la cellule PV se produit, créant ainsi un découplage de la lumière et augmenter la réflexion. En outre, les bulles

peuvent se briser, et peut endommager la surface d'étanchéité arrière qui provoque infiltration d'humidité (Kaplani, 2012).

Sur la figure II.4, trois cas peuvent être observés. Un module contenant un grand nombre de bulles dans la face arrière. Elles apparaissent généralement dans le centre de la cellule figure II.4.a, et cela peut se produire en raison d'un détachement provoqué par une température élevée. L'image de fond IR figure II.4.b, est obtenu à partir d'un module PV contenant des bulles, elle montre qu'une température plus basse se trouve dans la face arrière où une bulle est située, et par conséquent la température de la cellule est plus élevée parce que la chaleur de la cellule est moins dissipée.

Dans le cas de bulles sur la face avant, à l'exception d'un excès de l'effet d'échauffement, une diminution de la lumière qui peut atteindre la cellule solaire peut se produire, provoquant un ombrage partiel.

La figure II.4.c, montre un Module PV avec décollement sévère. Une moitié de l'enrobé polymère est décollé.

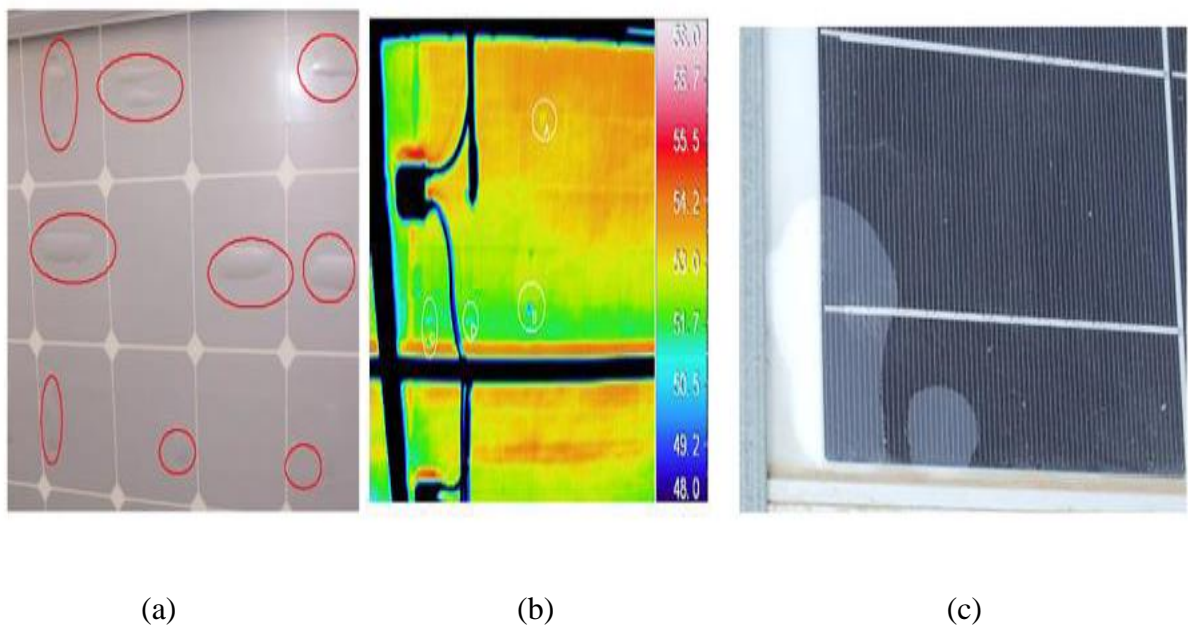


Figure II.4 :Défaut de bulles d'air.

II.4.3-Fissures dans les cellules :

Une fissure cellulaire arrive quand les cellules solaires subissent une force extérieure ou stress thermique. Aujourd'hui beaucoup de fabricants de PV tentent de minimiser l'épaisseur de cellules solaires afin d'économiser le silicium et de réduire le coût L'épaisseur a diminué de

300 μm à moins de 200 μm , ou parfois même à moins de 100 μm . En plus de la diminution de l'épaisseur de la cellule, la surface des cellules solaires a augmenté à 210 mm x 210 mm. Cette réduction d'épaisseur et augmentation de la superficie rendait les cellules plus fragiles et sensibles aux fractures au cours de leur manipulation et au cours du stockage.

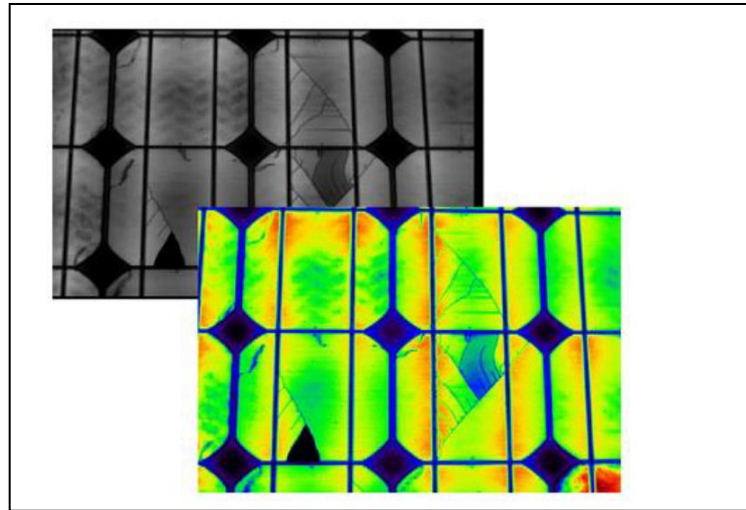


Figure. II.5:Fissures dans les cellules PV.

Les microfissures se composent de petites fissures dans les cellules. Habituellement, elles ne sont pas visibles par la vue, mais peuvent affecter les deux côtés de la cellule. Elles produisent une perte de consistance de la cellule. Les microfissures affectant les cellules peuvent être détectées en utilisant des techniques basées sur l'électroluminescence etc.

Comme nous pouvons le voir sur la Figure. II.5, les fissures et les microfissures peuvent également être détectées en utilisant des procédés optiques basés sur la détection des lignes minces avec différents facteurs de transmission.

Dans certains cas, les fissures isolent une partie de la cellule ce qui a un effet négatif sur la puissance générée par cette dernière [07].

II.4.4-Dé laminage

Dans un panneau solaire, les cellules solaires sont encapsulées avec un matériau d'encapsulation appelé EVA (éthylène acétate de vinyle). L'EVA protège les cellules sensibles de l'influence climatique telles que l'humidité et les rayons UV.

En production, les cellules sont stratifiées de façon permanente dans une machine sous vide avec un apport de chaleur. Il est important d'atteindre la température de polymérisation afin d'obtenir un haut degré possible de réticulation de l'EVA (plus de 70%). Une erreur dans le processus de fabrication ou un entreposage inadéquat de l'EVA avant la production peut

conduire à une mauvaise adhésion et à un décollement ultérieur. Lors d'un délaminage, les couches de EVA se dissolvent et prennent une couleur blanche.

Les panneaux solaires dé stratifiés doivent également être remplacés. En cas de délaminage dans les extrémités du module, l'humidité peut s'infiltrer à cause de la pénétration de l'eau à l'intérieur et endommager les cellules et se traduit par la corrosion de la cellule solaire. ainsi que une diminution de la lumière, où la réflexion augmente et finalement une perte de puissance.

La Figure. II.6 présente un exemple de la façon dont un décollement extrême peut détruire un module PV, dans cette figure le défaut est apparu après à peine une année de fonctionnement. Le délaminage est plus fréquent dans les climats chauds et humides. Lorsque l'humidité pénètre dans le module PV, différentes réactions chimiques se produisent, et provoquent une certaine dégradation dans différentes parties du module. Il en résulte souvent la corrosion des métaux intervenant dans la structure du module. Dans ce cas, la résistance électrique de PV pourrait augmenter ou une panne électrique pourrait apparaître. [08]



Figure. II.6: Défaut de délaminage.

II.4.5-Défaut de revêtement anti -reflet (ARC) :

En dehors des stratégies telles que la texturation des surfaces cellulaires, les performances des cellules qui forment un module PV peut être amélioré par l'ajout d'un revêtement anti-réfléchissant de manière à maximiser la lumière qui atteint la zone active de la cellule.

Les matériaux habituellement utilisés sont le dioxyde et le nitrure de silicium, et l'épaisseur est choisie de telle sorte que seulement une petite partie de la lumière s'échappe. Pendant l'exposition du module PV au soleil, le revêtement anti -reflet (ARC) reçoit un rayonnement qui pourrait induire un changement de la coloration ARC « Figure. II.7 ». Les propriétés anti-

réfléchissantes peuvent subir des modifications, dans ce cas. La lumière qui atteint les cellules peut être plus faible que prévu.

La caractérisation infrarouge (IR) de ces modules dans différentes conditions n'a montré aucun effet particulier qui pourrait être associé à des changements dans la couleur de l'ARC. Un suivi des modules concernés doit être effectué afin de détecter si ce défaut conduit à un autre défaut plus grave. Ce défaut est lié à une oxydation de l'ARC et il est souligné par . Cette oxydation de l'ARC pourrait entraîner une perte d'adhérence entre les cellules et le verre.



Figure II.7 : Défaut de revêtement anti –reflet

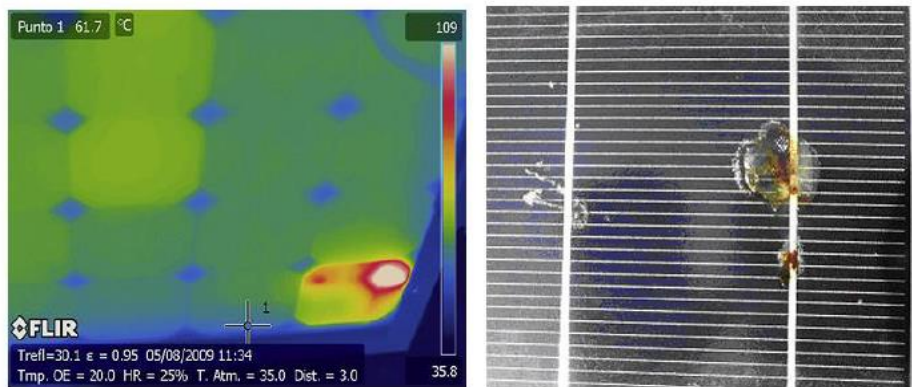
II.4.6-Points chauds (Hot spots) :

Des cellules ombragées ou fissurées peuvent donner naissance à un phénomène qui surchauffe localement le module entraînant sa perte. Ce phénomène ne s'appelle point chaud. Le phénomène des points chauds est un problème relativement fréquent dans les générateurs photovoltaïques actuels. Il comporte à la fois un risque pour la durée de vie du module photovoltaïque et une diminution de son efficacité opérationnelle

Lorsque des cellules PV sont associées en série, le courant circulant dans l'ensemble est limité par le courant généré par la cellule la moins performante ou la moins éclairée. Ainsi, une cellule qui ne recevrait pas la même quantité de lumière que le reste de l'ensemble, produirait un courant plus faible c'est ce qu'on appelle l'ombrage partiel. Si l'une d'elles était partiellement ombragée le courant ne pouvait plus circuler. La cellule accumulait alors le

courant produit en amont et se comportait comme un récepteur. Elle dissipait une puissance sous forme de chaleur pouvant dépasser les 100°C ce qui pouvait la faire griller

Si le point chaud est causé par un shunt (court-circuit d'une cellule) ou une erreur dans l'interconnexion entre les cellules générant également un shunt. Le point chaud est directement lié à une erreur de fabrication de la cellule ou du module PV. En outre, si une cellule génère un courant plus faible que le reste des cellules (appelée mésappariement) Un point chaud apparaît sous la forme d'une cellule entière fonctionnant à une température plus élevée que le reste des cellules « Figure II.8.a » elle peut être considérée aussi comme une erreur de fabrication du module photovoltaïque. Le hot spot « Figure II.8.b » pourrait causer des dommages à la cellule ou l'encapsulant dans un court laps de temps de fonctionnement.



a

b

Figure II.8 : Défaut de point chaud.

II.4.7-L'augmentation de la résistance série (R_s):

La résistance en série est l'un des plus importants facteurs influençant les performances des cellules solaires.

Généralement l'augmentation de la résistance série est causée généralement par la corrosion de la connectique entre deux modules PV, une vis de connexion mal serrée, la corrosion de point de soudure entre cellules..., etc. En fonctionnement normal, cette résistance de connectique est quasi nulle. La valeur de cette résistance peut être augmentée dans plusieurs cas anormaux.

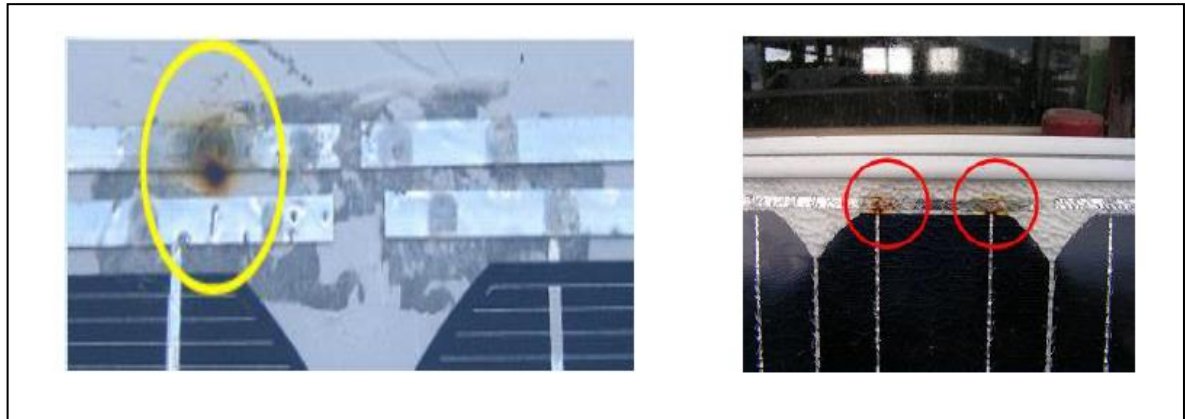


Figure II.9: Défaut d'augmentation de la résistance R_s .

Une grande augmentation de cette dernière entraîne une perte en tension. Pour une limite donnée, la perte en tension peut être suffisamment grande pour rendre la tension du groupe négative et faire basculer la diode de by-pass en mode passant, ce qui donne des points d'inflexion dans la courbe $I(V)$. La Figure suivante montre le changement provoqué par l'augmentation de la résistance série.

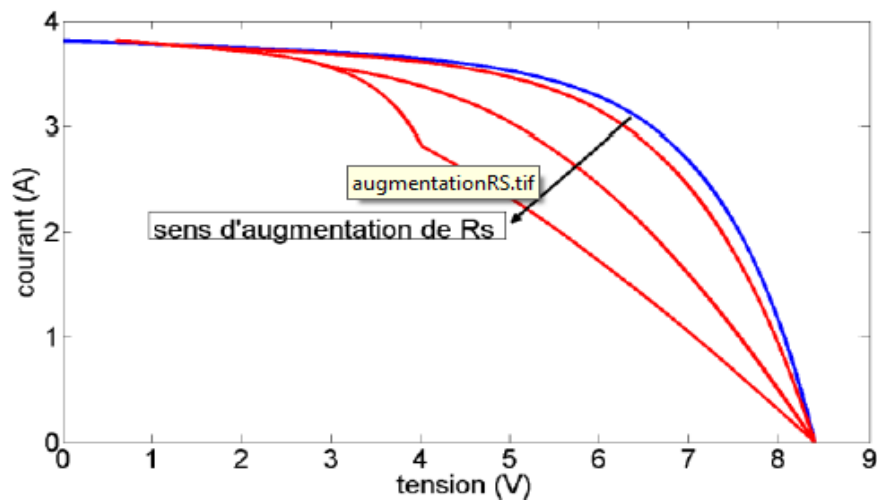


Figure II.10: la courbe $I(V)$ de défaut d'augmentation de la résistance série R_s

Dans cette figure, on voit que la perte en tension pour un courant donné est plus importante au fur et à mesure que la résistance série augmente.

II.4.8-Diminution de la résistance parallèle (R_p) :

Les pertes d'énergie importantes causées par la présence d'une résistance shunt, R_p , sont généralement dues à d'une mauvaise conception des cellules solaires, elle caractérise un

courant de fuite entre la grille supérieure et le contact arrière « bornes opposées d'une photopile ». Elle est généralement très supérieure à la résistance série R_s .

La résistance parallèle représente également les pertes à travers la jonction, autour des bords de la cellule et dans les régions non périphériques, en présence des défauts du cristal et de la précipitation des impuretés étrangères dans la région de la jonction. Ainsi donc, nous pouvons dire que R_p est liée au processus de fabrication.

Son influence ne se fait sentir que pour les faibles valeurs de la tension. Cette influence se traduit par une diminution de la courbe I-V (on peut facilement percevoir une anomalie à la lecture de la caractéristique par la présence d'une légère pente au voisinage du point de courant de court circuit), dans la zone correspondant à un fonctionnement comme générateur à courant constant.

Une résistance série trop faible aura un impact sur la tension de circuit ouvert de la photopile ; en outre, une photopile dont la résistance shunt trop faible ne donnera plus de tension sous faible éclairement [09].

La figure suivante montre que cette influence se traduit par une augmentation de la pente de la courbe de puissance de la cellule dans la zone correspondant à un fonctionnement comme générateur à courant constant. [10]

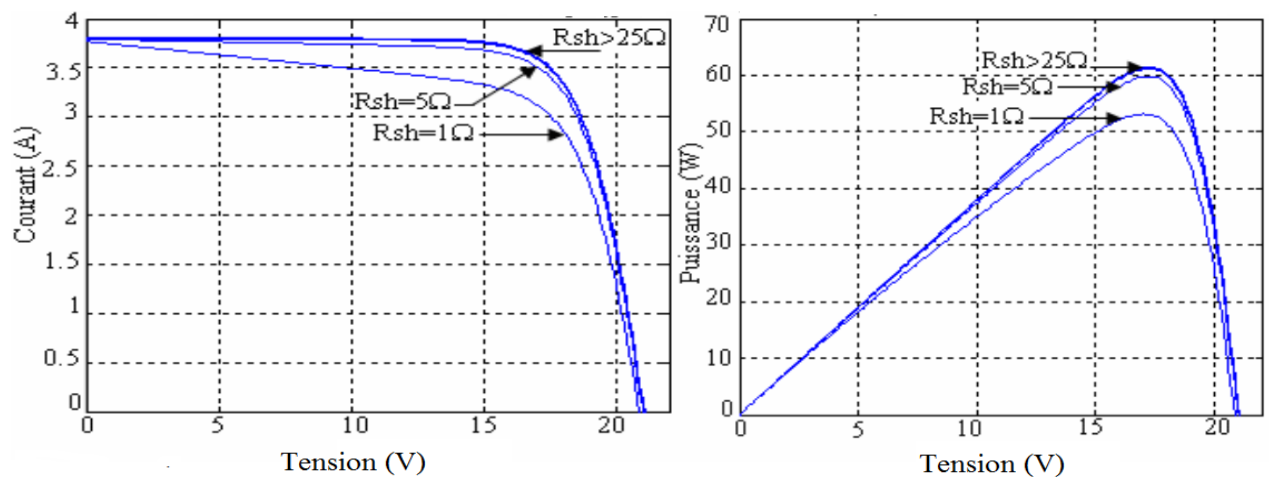


Figure II.11 : L'influence de la résistance shunt R_p Sur la caractéristique I (V) et P(V)

II.4.9 Défaut de mis match et d'ombrage partiel :

Les défauts de mis match et d'ombrage se sont des défauts fréquents aux systèmes PV.

II.4.9.1 Mis match :

Le défaut de "mis match" est le défaut causé par le groupement de cellules possédant une caractéristique **I-V** non identique. Tout changement dans l'un des paramètres de l'équation **(I.1)** conduira à la dissemblance de leur caractéristique. 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. Elle peut varier entre +/-3% et +/-5% selon les fabricants.

Deuxièmement, des cellules PV peuvent être exposées à des conditions de fonctionnement différentes causées par les différents défauts.

II.4.9.2 L'ombrage partiel :

On distingue deux types d'ombrage : l'ombrage total et l'ombrage partiel. L'ombrage total empêche tout le rayonnement d'atteindre les cellules photovoltaïques, par contre l'ombrage partiel empêche seulement le rayonnement d'atteindre une partie de la cellule photovoltaïque (une cheminée, un arbre, poussière, Neige,...).

Chaque générateur photovoltaïque présente un point de travail unique au niveau duquel il peut fournir la puissance électrique maximale possible, appelé le point de puissance maximal (MPP, Maximum Power Point).

Cette puissance dépend principalement de l'intensité de radiation. Si les différents modules d'un « String » au sein d'un générateur photovoltaïque se trouvent à l'ombre, ses propriétés électriques s'en voient nettement modifiées : le générateur photovoltaïque présente maintenant différents points de travail « favorables ».

les cellules recevant moins d'énergie doivent dissiper le surplus de courant délivré par celles qui sont les plus éclairées, créant ainsi des échauffements (haut spot) si le module n'est pas protégé de manière adéquate. Pour éviter la surchauffe de la cellule et les points chauds, et aussi des détériorations définitives, des diodes de protection sont placées sur les générateurs PV de forte puissance (diode by-pass). Cependant, ces protections sont coûteuses en perte du rendement [11].



Figure II.12 : Défaut d'ombrage partiel.

II.4.10-Défauts de la diode de by-pass et diode anti-retour :

Comme il a été mentionné précédemment La diode de by-pass est une des solutions pour protéger les cellules à l'ombrage partiel. Cette diode se place, en général, en parallèle avec une branche de dix-huit cellules. On peut constater plusieurs défauts de cette dernière, ces défauts sont en général des défauts de fabrication. Donc dans un panneau photovoltaïque on peut trouver une diode déconnectée, une diode équivalente à une impédance quelconque, une diode court-circuitée et une diode inversée [12]. De la même manière que pour la diode de by-pass, la diode anti retour est exposée aux mêmes types de défauts envisagés pour la diode anti-retour : court-circuit, impédance quelconque, circuit ouvert et diode inversée...

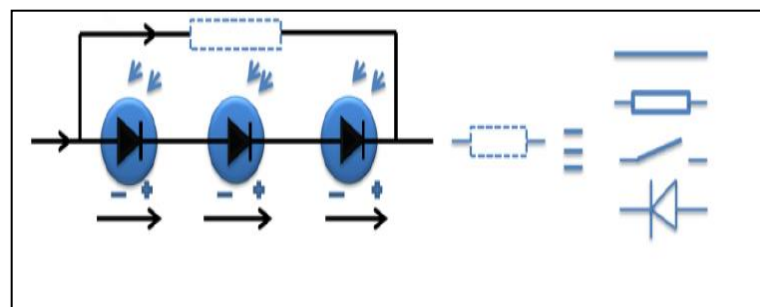


Figure II.13: Défaut de la diode de by-pass.

II.4.11-Autres Défauts:

Dans un string PV, on peut rencontrer plusieurs défauts tels que :

- ✓ défaut de connexion du module : module court-circuité, module connecté en parallèle avec une impédance et inversion de la polarité du module, ou module arraché.
- ✓ défauts dans la boîte de jonction PV: rupture du circuit électrique, court-circuit du circuit électrique,

destruction de la liaison, corrosion des connexions. Les insectes, la poussière et/ou l'humidité à l'intérieur des boîtes...

II.5. Classification des défauts d'un générateur photovoltaïque

Nous avons cité précédemment quatre catégories de défauts : les défauts prolongés avec un rendement nul, les défauts brefs avec un rendement nul, les défauts d'ombrage et les défauts sans d'ombrage avec un rendement non nul. Dans cette partie on va présenter la classification des défauts selon leur catégorie

Tableau II.1 : la classification des défauts selon leurs catégories.

Défauts	Description	Catégorie
-Défaut du composant -Système déconnecté (longue durée)	-La production de l'électricité est nulle lorsqu'il ya des pannes au niveau des composants. -La production est arrêté puisqu'il ya une isolation (déconnection) du système PV	Défaut prolongé avec un rendement nul
-déconnection temporaire de l'onduleur. -Système déconnecté (courte durée)	-La production de l'électricité est nul puisqu'il ya une déconnection entre la chaine PV et l'onduleur. -La production est arrêté puisqu'il ya une isolation (déconnection) du système PV	Défaut bref avec un rendement nul
Défauts d'ombrage	Le rayonnement solaire est bloqué par des objets d'ombrage externe (bâtiments, arbres ...)	Défaut d'ombrage
Erreurs MPPT	La variation des caractéristiques (I-V) varie la caractéristique de la courbe de puissance	Défaut avec un rendement non nul (pas d'ombrage)

II. 6. Méthodes de détection et de localisation de défauts dans un système

PV :

Si nous voulons maximiser la production d'énergie pendant toute la vie du système photovoltaïque, nous devons être capables de reconnaître l'instant d'apparition d'un défaut ou une réduction de la puissance de sortie. Nous devons également savoir ce qui a causé la perte de la production dès que possible, et de trouver une solution rapide. Car le temps d'arrêt du

système provoque en effet un dommage économique et une diminution de la production d'électricité.

On peut distinguer deux catégories de méthodes de diagnostic courantes industrialisées: des méthodes reposant sur l'analyse du courant et de la tension (que nous appellerons méthodes électriques) et des

méthodes reposant sur l'analyse d'autres grandeurs que I et V (que nous appellerons méthodes non –électriques).

II. 6. 1-Méthodes non –électriques :

Il existe plusieurs méthodes non électriques, destructives ou non destructives, pour diagnostiquer le défaut au niveau de cellule P V. Le défaut principal qui peut avoir lieu à ce niveau est la fissure de la cellule. On peut citer comme méthodes : les essais par Inspection visuelle, Technique de Vibrations ultrasoniques résonante et, tests de thermographie. Pour le diagnostic des modules PV, la méthode de l'imagerie (caméra thermique) infrarouge est largement appliquée.

II.6.1.1-Inspection visuelle :

L'Inspection visuelle est la première étape de l'analyse, elle peut être utilisée pour détecter les défauts de fabrication à la sortie d'une chaîne de production comme elle peut être utilisée dans un champ photovoltaïque opérationnel, cette méthode permet de détecter certains défauts tels que le Jaunissement, les décollements, les bulles, les fissures dans la cellule, l'inadaptation et les cellules brûlées.

Cette méthode est généralement la première étape pour déterminer si un module PV doit être soumis à d'autres tests. L'inspection doit être effectuée sous la lumière naturelle afin de recevoir une lumière intense de bonne qualité. Les Réflexions de la lumière doivent être évitées, car ils peuvent conduire à des images défectueuses. L'inspection doit être effectuée sous des angles différents pour différencier la couche où le défaut pourrait apparaître et d'éviter les erreurs dues à des images réfléchies. Il faut prendre plusieurs photos et de plusieurs positions car une seule photo prise d'une seule position n'est pas suffisante, elle pourrait contenir une image réfléchie et conduire à une erreur de détection.

II.6.1.2-Méthode de thermographie infrarouge (IR) :

Cette technique est également connue comme la thermographie [13], elle détecte la température de la surface de différentes zones et génère un graphique.

La thermographie infrarouge est une technique qui permet de mesurer à distance et sans contact la température d'une scène observée.

La thermographie IR est devenue un des outils de diagnostic incontournables de la maintenance prédictive. En effet, la plupart des défauts se traduisent par un échauffement ou un refroidissement anormal. Seule la Thermographie Infrarouge vous permet d'observer rapidement une scène thermique et de mettre en évidence, sans contact, des différences de températures à la surface de tout type d'objet. Ainsi, en détectant ces anomalies, souvent invisibles à l'œil nu, la thermographie permet des actions correctives avant l'apparition de pannes ou problèmes coûteux.

Cette technique peut détecter et localiser plusieurs défauts : points chauds, le mis match, l'ombrage et les défauts de diode de by-pass.

II.6.1.3-Méthode par verrouillage en thermographie (LIT) :

Il s'agit d'une variante de la méthode IR mentionnée précédemment. Cette méthode est utile dans la recherche de perte de puissance. Dans cette technique, un courant électrique est injecté dans la cellule solaire. Le courant n'est pas un courant continu, mais plutôt un courant pulsé. Si la cellule a un défaut de court-circuit la température augmente chaque fois que ce dernier se manifeste. Il est possible de détecter plusieurs types de défaut en utilisant différentes modulations des courants injectés. Ce test peut être effectué dans des conditions sombres ou sous éclairage. Dans le cas de l'éclairage, les cellules sont généralement sous les conditions de circuit ouvert (Voc). Une étude faite dans [14] pour comparer cette méthode aux méthodes d'électroluminescence et de photoluminescence afin de localiser les défauts de court-circuit.

II.6.1.4-Technique de Vibrations ultrasoniques résonante ou à résonance (RUV) :

Afin de détecter les fissures et les microfissures dans les cellules, une technique basée sur l'analyse des vibrations ultrasoniques peut être utilisée, Cette technique permet de détecter les écarts de la réponse de la fréquence caractéristique après une excitation de la cellule par ultrasons.

Ce détecteur est basé sur un transducteur piézoélectrique situé dans la périphérie de la cellule, un système d'acquisition de données commandée par ordinateur est utilisé pour traiter les données obtenues. Il a été démontré que la diminution de la fréquence de résonance et la bande passante augmente lorsque une fissure apparaît dans une cellule. Ce système est utile pour détecter les fissures dans les cellules autonomes, et avec certaines restrictions, il pourrait être appliqué à des modules photovoltaïques complets.

II.6.2-Méthodes électriques :

Dans ces méthodes les grandeurs mesurées les plus courantes sont :

- Le courant débité par le GPV.
- La tension aux bornes du GPV
- La résistance d'isolement entre les bornes positive et négative du GPV.
- Il est aussi possible d'ajouter les grandeurs complémentaires que sont la température ambiante du site et l'ensoleillement aux mesures électriques.

Des mesures écrites dans les deux paragraphes précédents, il est aisé de déduire :

- La puissance instantanée DC
- L'énergie produite sur différentes périodes (suivant la capacité de stockage des données)

côtés DC. [15].II.6.2.1-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 [16]

II.6.2.2-Analyse du point de fonctionnement :

Outre la comparaison de la puissance ou de l'énergie produite actuelle et celle attendue, la comparaison du point de la puissance maximale actuel (courant et tension correspondante à la puissance maximale) et celui attendu peut apporter plus d'information sur l'état du système PV[17].

II.6.2.3 Analyse de la caractéristique statique :

Nous avons vu précédemment qu'un champ photovoltaïque peut être décrit par sa caractéristique statique courant/tension (caractéristique I-V).

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

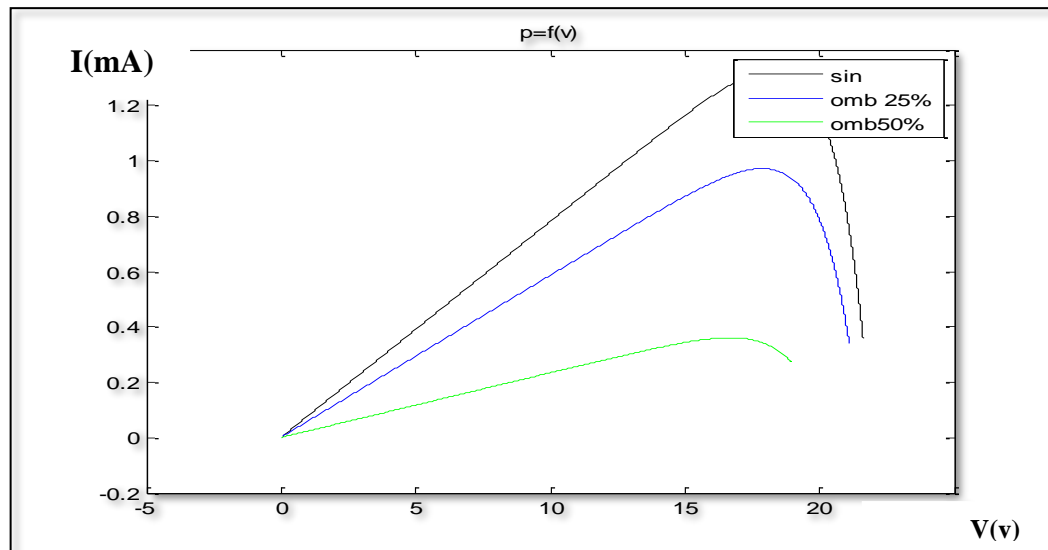


Figure II.14 : Allure de la caractéristique P -V d'un champ PV en fonctionnement défaillant.

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.

- Caractéristique I-V dans le cas défaut d'ombrage dans un string ou dans un champ [18,19]
- Augmentation de la résistance série entre cellules ou entre modules, vieillissement) [20].

II.7. Conclusion

Ce chapitre a été principalement consacré à trois parties: une première partie concerne la caractéristique électrique et les paramètres de performance d'une cellule solaire. Dans la deuxième partie, nous avons présenté les principaux défauts du système PV et enfin les différentes méthodes les plus utilisées dans le diagnostic et la localisation des défauts au niveau d'un générateur PV.

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les différents résultats pratiques et par simulation Matlab/Simulink obtenus. Premièrement les résultats présentent le courant en fonction de la tension $I=f(V)$ et la puissance absorbée en fonction de la tension appliquée $P=f(V)$, puis la puissance absorbée en fonction du temps. Enfin une comparaison a été faite entre les résultats expérimentaux et ceux de la simulation.

Deuxièmement la mise en œuvre d'un algorithme de détection de défauts rares à l'aide du logiciel de simulation Scilab appliqué à la puissance délivrée par PV en fonction du temps.

III.2 Résultats obtenus pour la détection des défauts par :

III.2.1 Méthodes utilisant les caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$

III.2.1.1 Résultats expérimentaux

a-Cas du PV sain

Pour faire nos expériences, nous avons utilisé le module photovoltaïque disponible dans le laboratoire dont les caractéristiques sont mentionnées dans le tableau suivant.

Tableau III.1 : Les caractéristiques du module photovoltaïque utilisé

Caractéristiques	Spécification
Nombre de cellules	36 (N)
Puissance max	20(w)
Tension max	17.8 (v)
Courant max	1.13 (A)
Courant de court-circuit	1.23(A)
Tension de circuit ouvert	21.8(v)
Nominal operating cell temp	+50(°C)

Nous avons pris nos résultats expérimentaux dans le cas sain (sans défaut) dans les conditions ($T= 30^{\circ}\text{C}$, $E= 1000\text{W}/ \text{m}^2$) avec les paramètres T et E représentant respectivement la température et l'irradiation solaire. En changeant les valeurs de la charge (R), les grandeurs électriques mesurées (I et V) en sortie du panneau photovoltaïque sont données dans le tableau ci-dessous Pour la puissance P, elle est calculée ($P=I.V$).

Tableau III.2 : les grandeurs électriques mesurées

	R(ohm)	10	25	33	50	75	100	200	300	400	500	20000
Sain	I (mA)	73	73	73	73	72	72	68	56	42	37.5	0.93
	V (v)	0.98	2.1	2.625	3.625	5.8	7	13	16.5	17	17.5	18.1

Les figures III. (1et2) représentent les courbes des caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ pour ce cas sain.

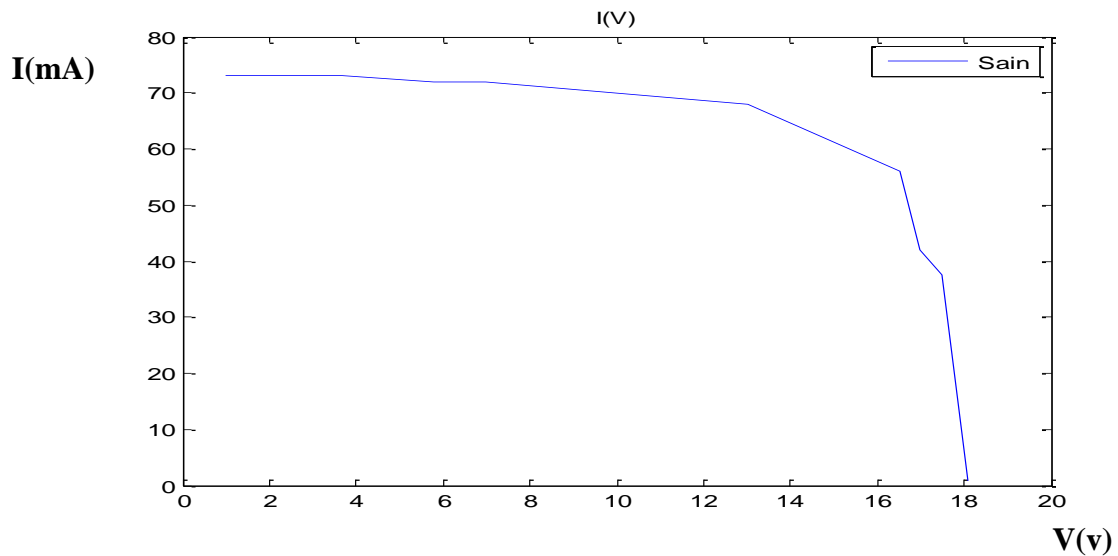


Figure III.1 : La caractéristique $I=f(V)$ cas sain

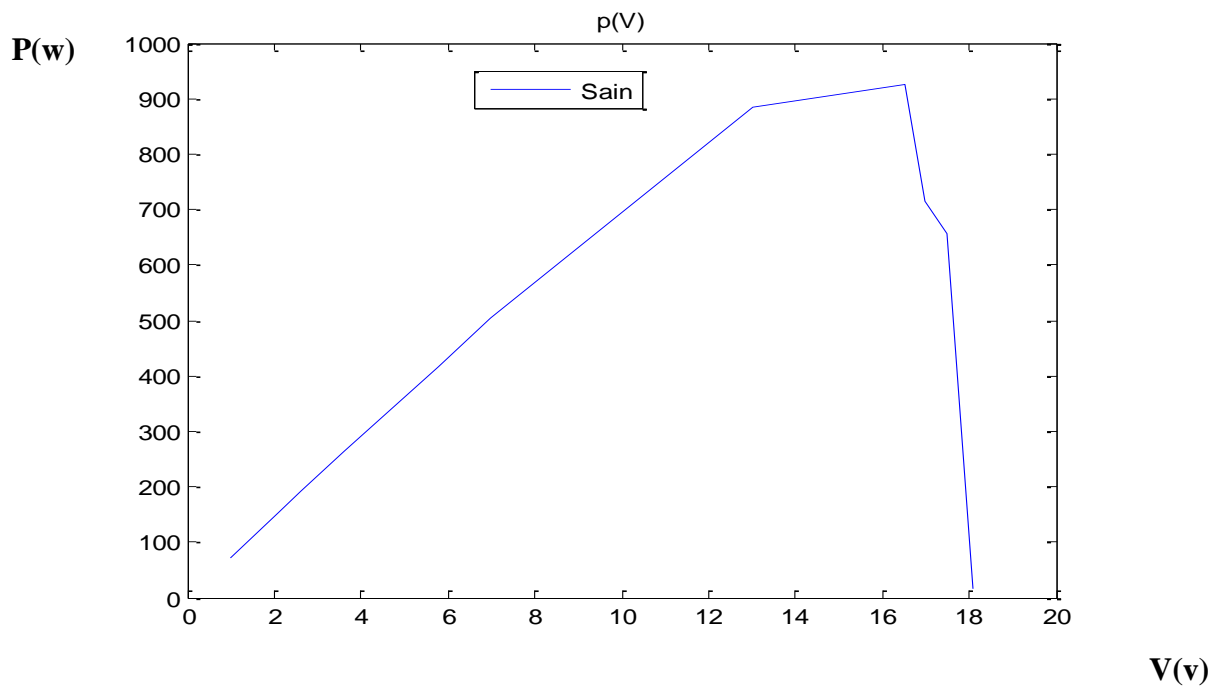


Figure III.2 : La caractéristique $P=f(V)$ cas sain

b-Cas du PV avec défaut :

b.1- Défaut d’ombrage :

Les défauts d’ombrage partiel sur un panneau solaire, liées par exemple à des feuilles d’arbre tombées à l’automne sur le panneau, ombres d’infrastructures de bâtiments, des poussières sur un ensemble de cellules. Ce défaut est traduit par la réduction de l’ensoleillement reçu par des

cellules. Dans notre exemple nous avons étudié des ombrages de 25% et 50% .Pour réaliser cela on a mis un couvert sur le panneau de 25% et 50% respectivement.

Nous avons pris nos résultats expérimentaux dans le cas sain et avec ce défaut dans les mêmes conditions

($T= 30^{\circ}\text{C}$, $E= 1000\text{W}/ \text{m}^2$). En changeant les valeurs de la charge (R), les grandeurs électriques mesurées (I et V) en sortie du panneau photovoltaïque pour chaque cas sont mentionnées dans le tableau suivant.

Tableau III.3:les grandeurs électriques mesurées I et V pour chaque cas d’ombrage

	R(ohm)	10	25	33	50	75	100	200	300	400	500	20000
Sain 0%	I(mA)	73	73	73	73	72	72	68	56	42	37.5	0.93
	V(v)	0.98	2.1	2.625	3.625	5.8	7	13	16.5	17	17.5	18.1
25% Ombre	I(mA)	42.8	42.8	42.8	42.8	43	42	40	39	37.5	36	0.9
	V(v)	0.61	1.225	1.6	2.35	3.2	4.2	8.3	11.5	14.5	16	17.75
50% Ombre	I(mA)	0.79	0.78	0.78	0.78	0.768	0.765	0.76	0.758	0.758	0.745	0.48
	V(v)	0.27	0.28	0.283	3	3.2	3.3	4.1	4.8	5.5	6	9.6

Les figures III (3 et 4) représentent les courbes des caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ chaque cas d’ombrage.

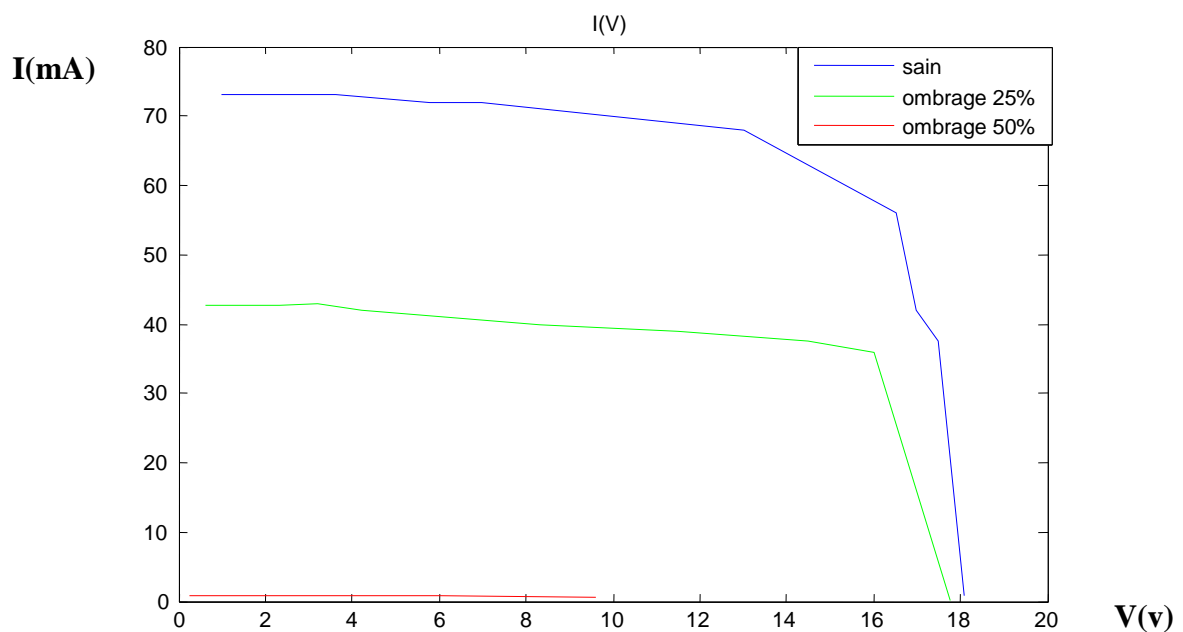


Figure III.3 : La caractéristique $I=f(V)$ cas sain et avec défaut d’ombrage

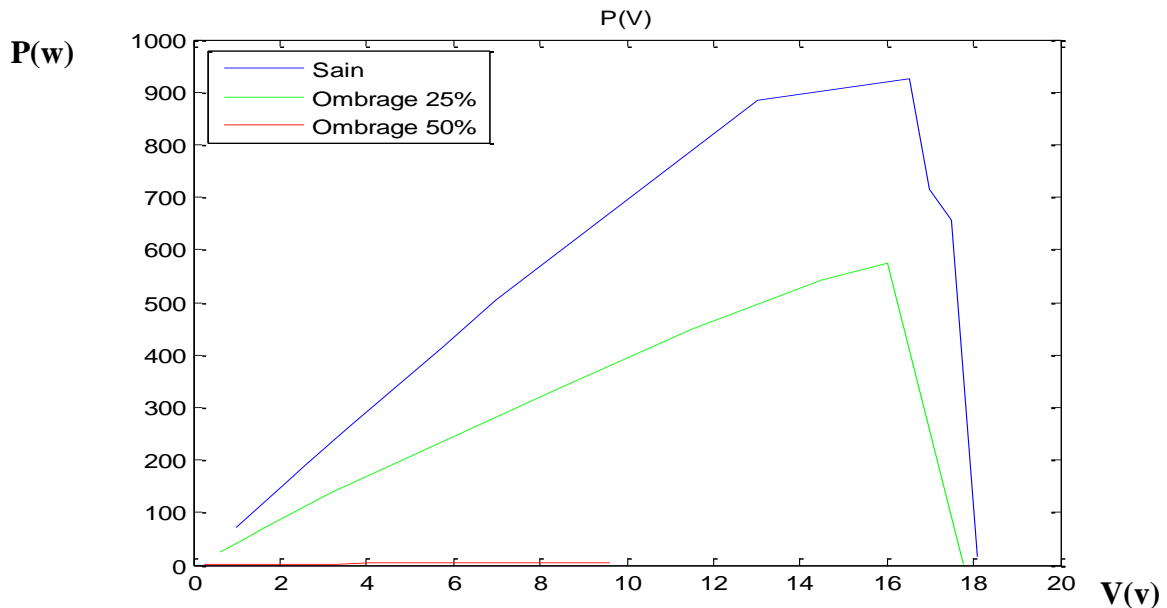


Figure III.4 : La caractéristique P=f(V) cas sain et avec défaut d’ombrage

b.2 -Défaut d’augmentation de Rs :

L’augmentation de la résistance série est causée généralement par la corrosion de la connectique entre deux modules PV, une connexion mal serrée, la corrosion de point de soudure entre cellules.

Nous avons pris nos résultats expérimentaux dans le cas sain et avec ce défaut dans les mêmes conditions (T= 30°C, E= 1000W/ m²).

Pour réaliser ce défaut, on a inséré en série une résistance à la sortie Rs. Pour chaque valeur de la résistance série prise du PV par exemple { Rs =1.7Ω., Rs =2.26Ω.ou Rs =3.4Ω } et en changeant les valeurs de la charge (R), les grandeurs électriques mesurées (I et V) en sortie du panneau photovoltaïque pour chaque cas sont mentionnées dans le tableau suivant.

Tableau III. 4:les grandeurs électriques mesurées I et V pour chaque cas de défaut Rs

	R(ohm)	10	25	33	50	75	100	200	300	400	500	20000
Rs =1.7	I(mA)	73	73	73	73	72	72	68	57	45	39	0.94
	V(v)	1.55	2.75	2.7	3.67	5.5	7	13	17	17.3	17.5	18.5
Rs =2.26	I(mA)	72	72	72	72	71	70	67.7	58	44.5	39	0.94
	V(v)	1.3	2.2	2.75	3.8	5.4	6.9	12.75	16.5	17.25	17.5	18.5
RS =3.4	I(mA)	73	73	73	73	72	71	68	56	44	38	0.938
	V(v)	1.4	2.4	2.85	4	5.59	7.7	13.5	16.5	17	17.25	18.25

Les figures III.(5 ,6) représentent les courbes des caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ dans chaque cas de défaut R_s

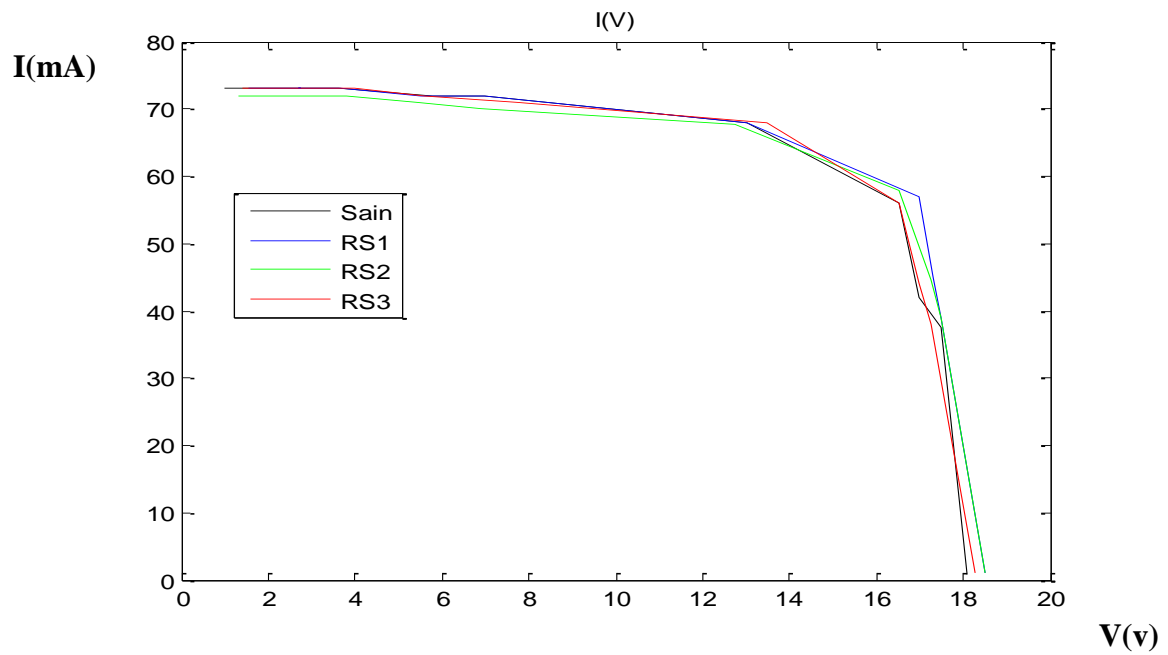


Figure III.5 : La caractéristique $I=f(V)$ pour les cas sain et avec défaut de R_s

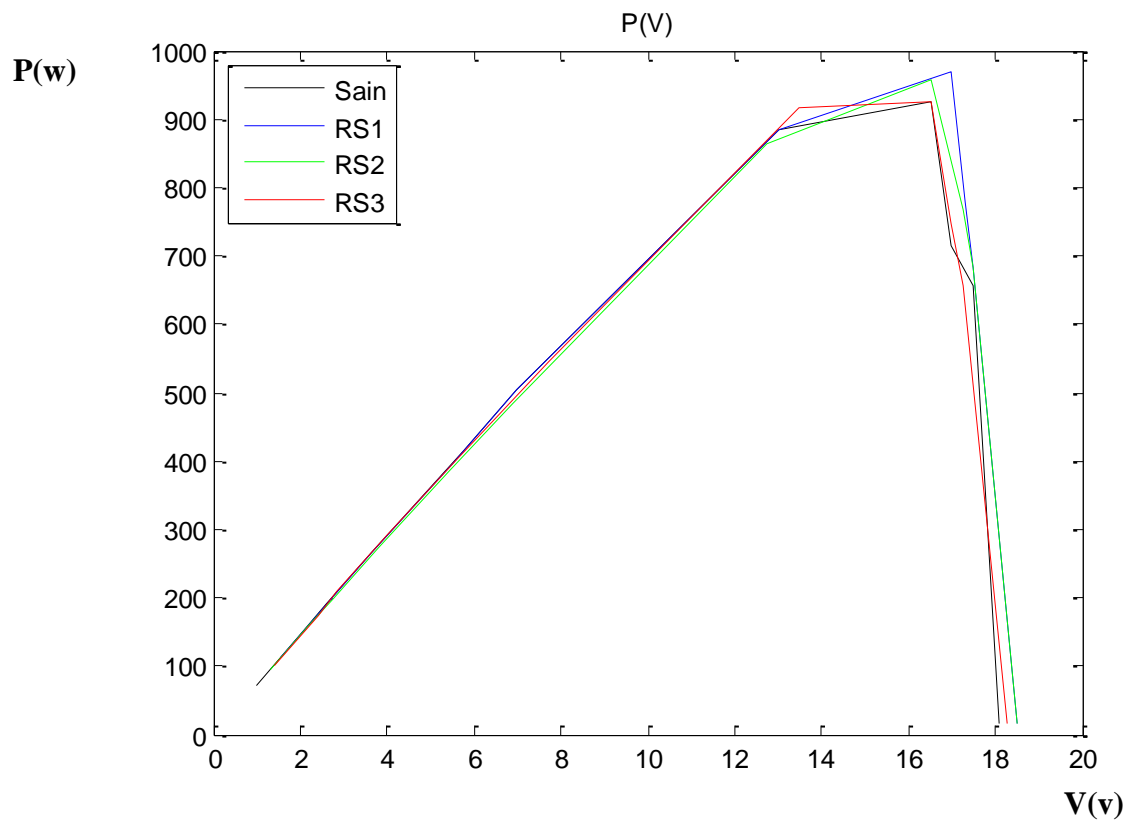


Figure III.6 :La caractéristique $P=f(V)$ pour les cas sain et avec défaut de R_s

b.3 -Défaut de diminution de Rp

La diminution de la résistance parallèle est causée généralement par la cellule elle-même dans la jonction P-N de la diode conséquence à la vieillissement de la diode.

Nous avons pris nos résultats expérimentaux dans le cas sain et avec ce défaut dans les mêmes conditions ($T= 30^{\circ}\text{C}$, $E= 1000\text{W}/ \text{m}^2$).

Pour réaliser ce défaut, on a inséré en parallèle avec la charge une résistance à la sortie Rp. Pour chaque valeur de la résistance parallèle prise du PV par exemple { $R_p=1\text{k}\Omega$, $R_p=2\text{k}\Omega$ ou $R_p=3\text{k}\Omega$ }et en changeant les valeurs de la charge (R), les grandeurs électriques mesurées (I et V) en sortie du panneau photovoltaïque pour chaque cas sont mentionnées dans le tableau suivant.

Tableau III.5:les grandeurs électriques mesurées I et V pour chaque cas de défaut Rp

	R(ohm)	10	25	33	50	75	100	200	300	400	500	20000
Rp =1k	I(mA)	80	79	78	76	73	71	63	54	43	35	0.0093
	V(v)	1.2	2.45	3.05	4.1	5.9	7.4	12.25	16	16.5	17	18
Rp =2k	I(mA)	81	80	80	78	76	75	68	56	43.5	35.5	0.93
	V(v)	1.175	2.5	3	4.2	6.1	7.7	13.5	16.5	17	17.25	18
Rp =3k	I(mA)	82	80	80	79	78	76	70	56.5	44	36	0.93
	V(v)	1.175	2.5	3	4.3	6.2	7.8	14	16.5	17	17.5	18

Les figures III.7 et 8 représentent les courbes des caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ chaque cas de défaut R_p

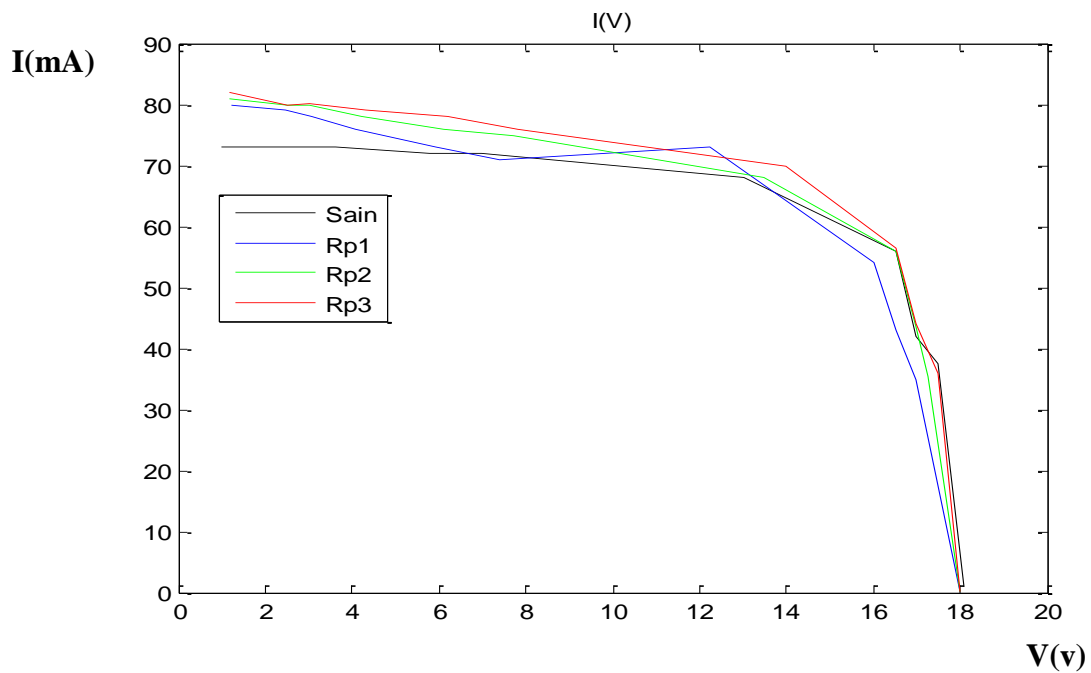


Figure III.7 : La caractéristique $I=f(V)$ pour les cas sain et avec défaut de R_p

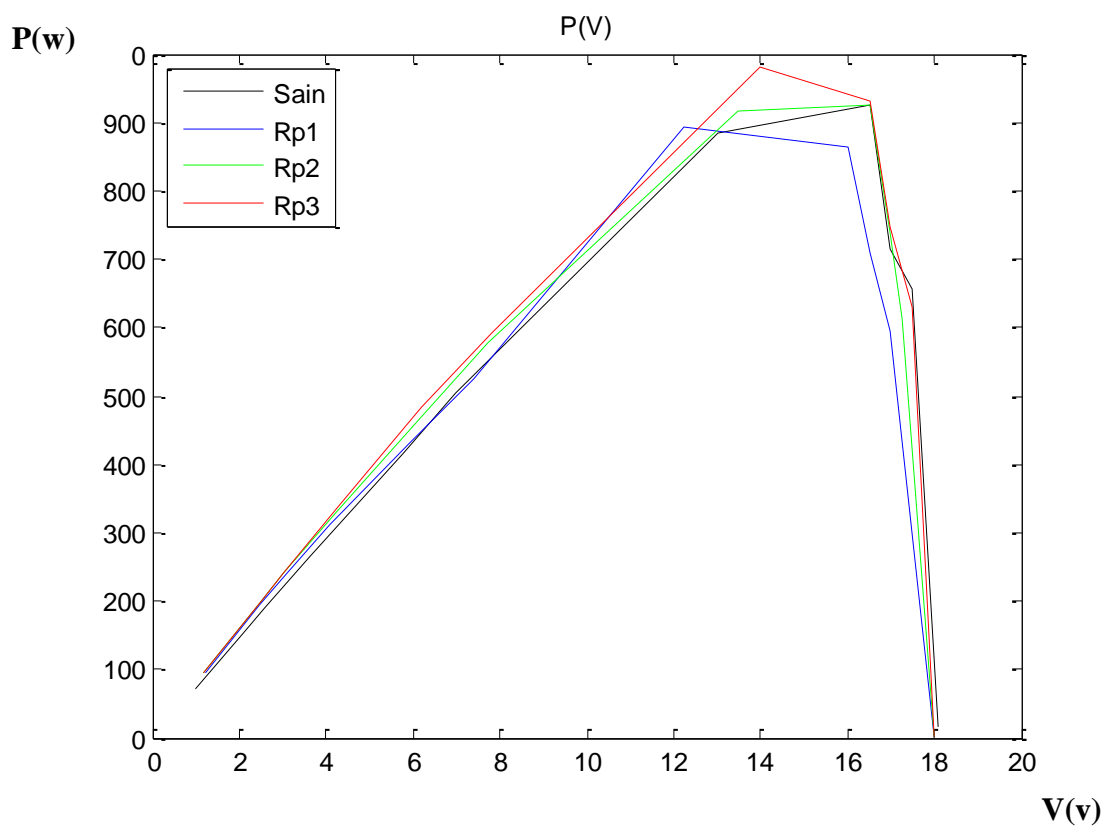


Figure III.8 : La caractéristique $P=f(V)$ pour les cas sain et avec défaut de R_p

III.2.1.2 Simulation par Simulink/Matlab :

a-Cas du PV sain :

Pour faire la simulation, nous choisissons le module photovoltaïque leur caractéristiques sont détaillées dans le Tableau suivant :

Tableau III.3:Caractéristiques de module photovoltaïque

Caractéristiques	Spécification
Nombre de cellules	36 (N)
Puissance max	20(w)
Tension max	17.8 (v)
Courant max	1.13 (A)
Courant de court-circuit	1.23(A)
Tension de circuit ouvert	21.8(v)
Nominal operating celltemp	+50(°C)

Le schéma de système photovoltaïque pour le cas sain dans l'environnement Matlab/Simulink est représenté par la figure III.9.

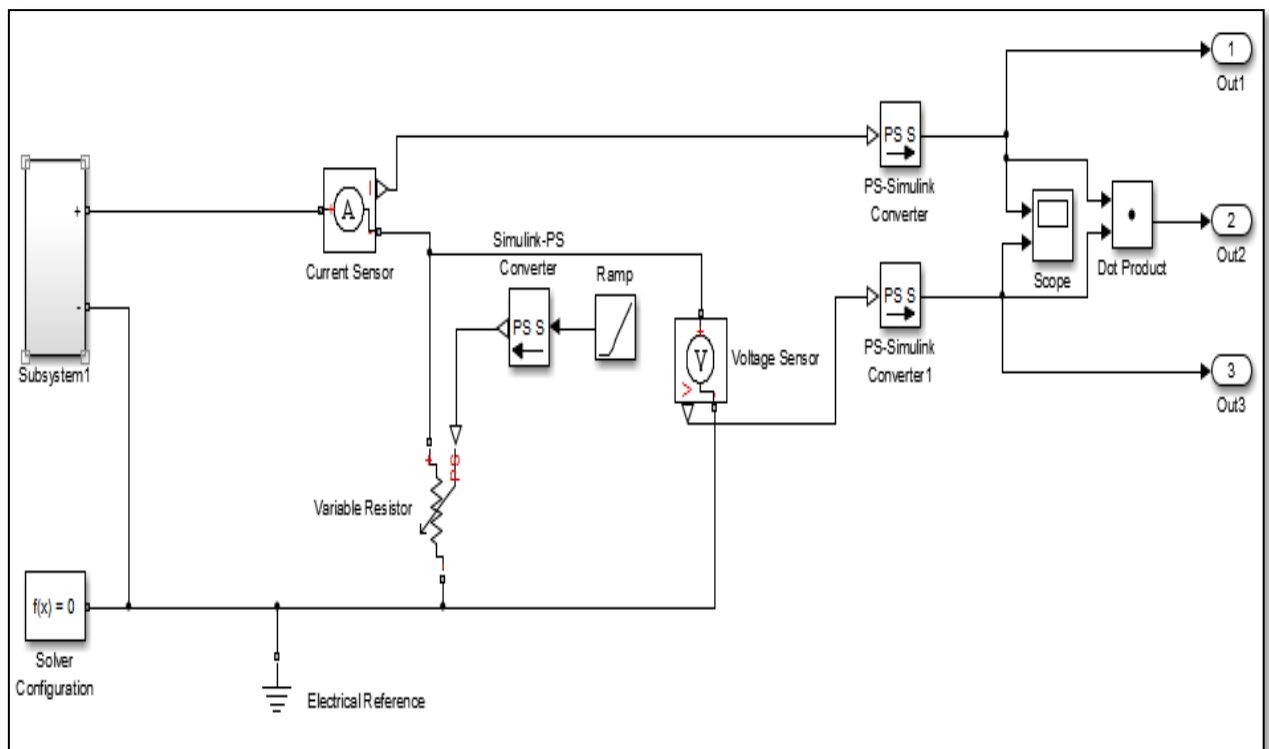


Figure III.2 :Schéma du système photovoltaïque dans l'environnement Matlab/Simulink

Les figures III.(10 et 11) représentent respectivement les courbes des caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ dans le cas sain dans les mêmes conditions ($T= 30^{\circ}\text{C}$, $E= 1000\text{W}/\text{m}^2$).

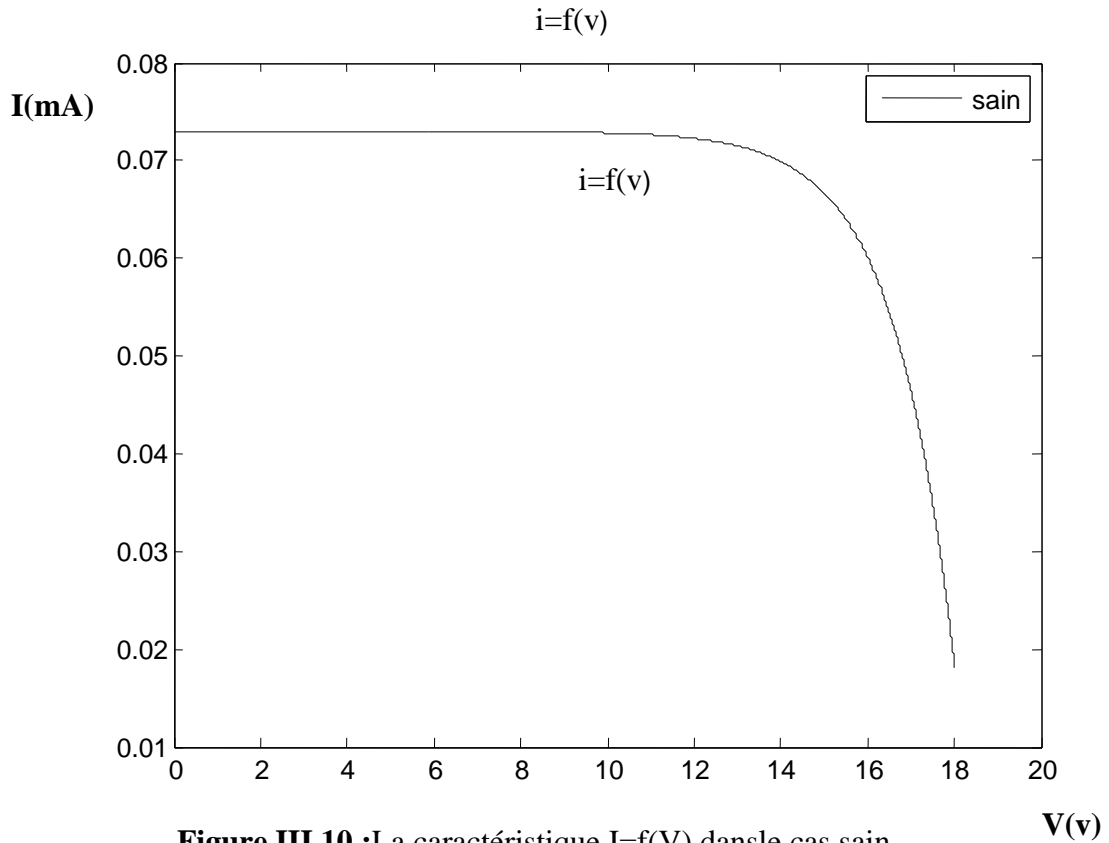


Figure III.10 :La caractéristique $I=f(V)$ dansle cas sain.

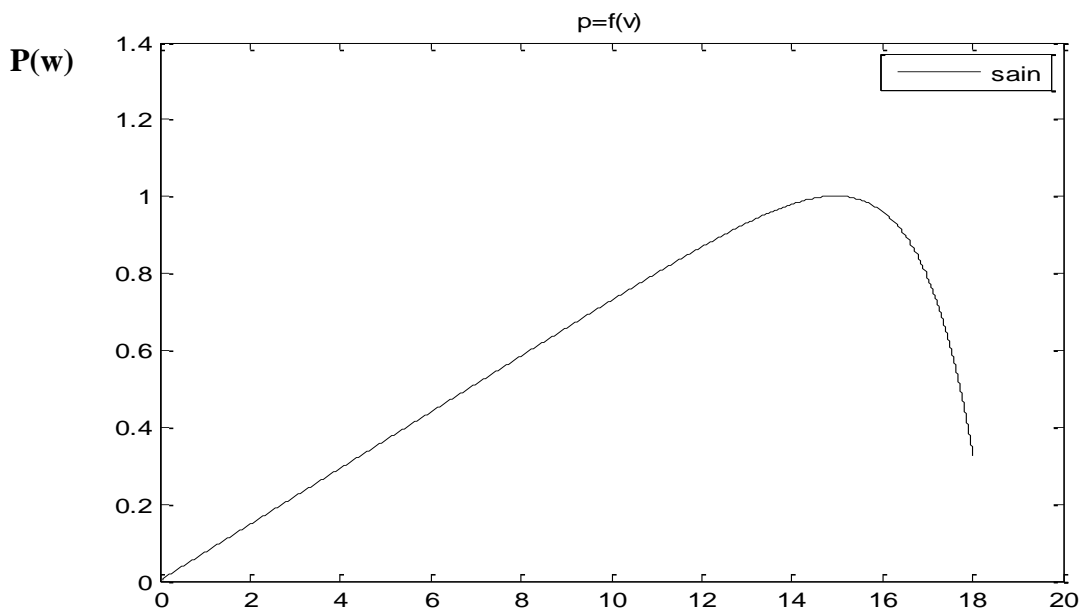


Figure III.11 : La caractéristique $I=f(V)$ dans le cas sain.

b-Cas du PV avec défaut :**b.1-Défaut d'ombrage :**

Pour générer ce défaut d'ombrage partiel de 25% et 50% sur le panneau solaire, on réduit l'ensoleillement reçu par les cellules suivant le rapport d'ombrage dans l'environnement Simulink. .

Les figures III.10 et 11 représentent respectivement les courbes des caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ dans les cas sain et défaut d'ombrage.

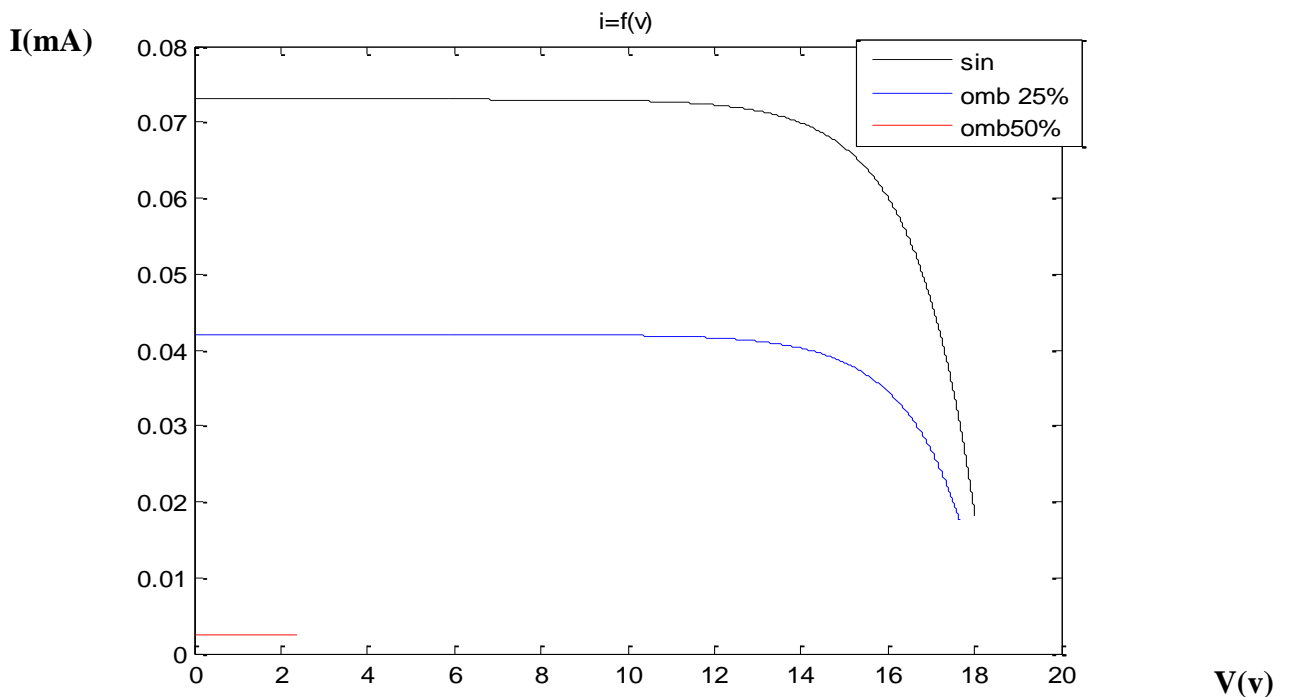


Figure III.12 : La caractéristique $I=f(V)$ d'un système PV pour les cas sain et avec défaut d'ombrage

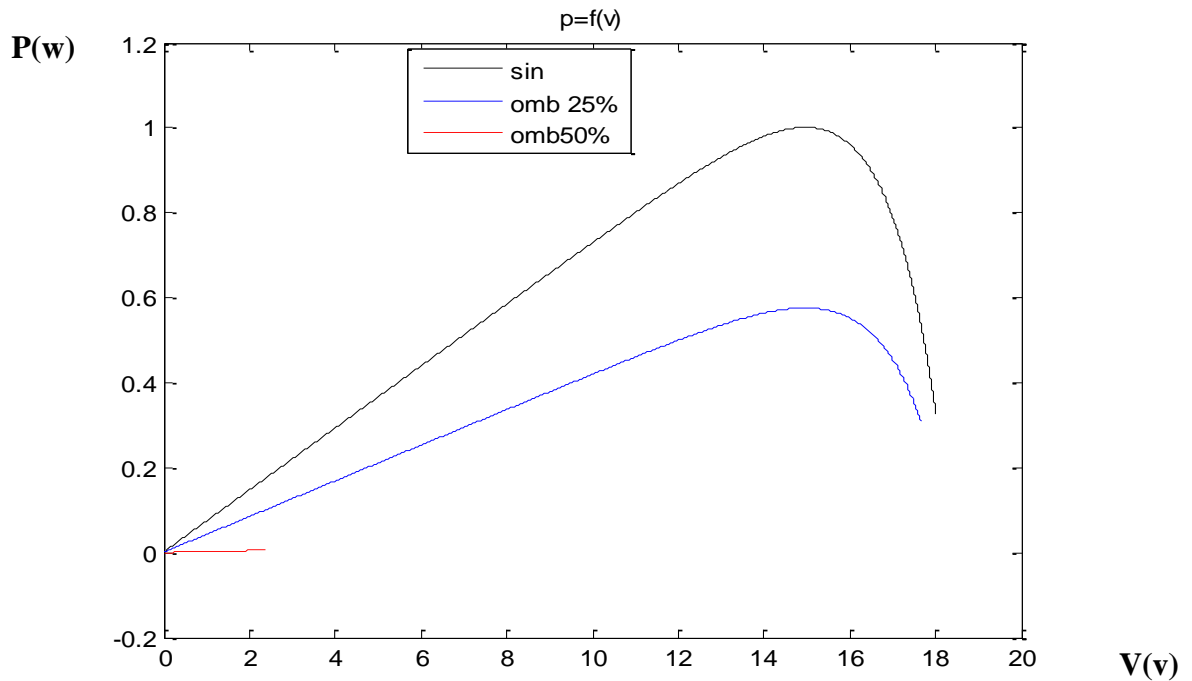


Figure III.13 :La caractéristique $P=f(V)$ d'un système PV pour les cas sain et avec défaut d'ombrage

b.2 -Défaut d'augmentation de R_s :

Pour réaliser ce défaut, on a inséré en série une résistance à la sortie R_s . Pour chaque valeur de la résistance série prise du PV par exemple { $R_s = 1.7\Omega$., $R_s = 2.26\Omega$.ou $R_s = 3.4\Omega$ }et en simulant, les caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ du système en fonctionnement sain et celle en défaut R_s sont représentées dans les figures III.14 et 15.

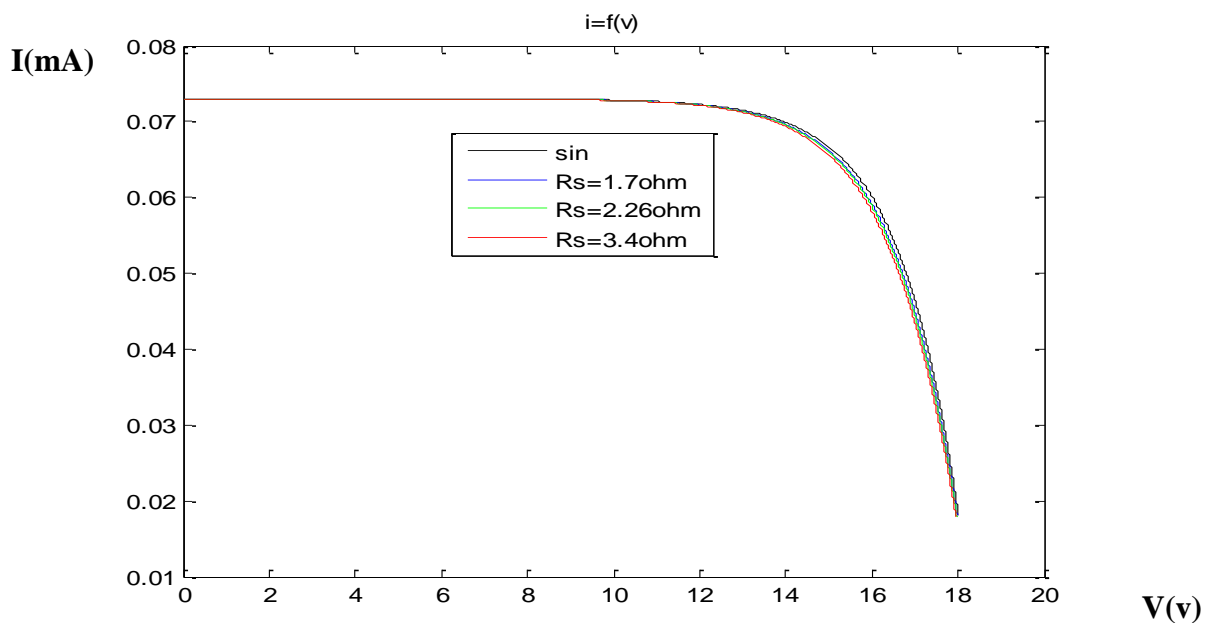


Figure III.14 : La caractéristique $I=f(V)$ pour les cas sain et avec défaut de R_s par Simulink

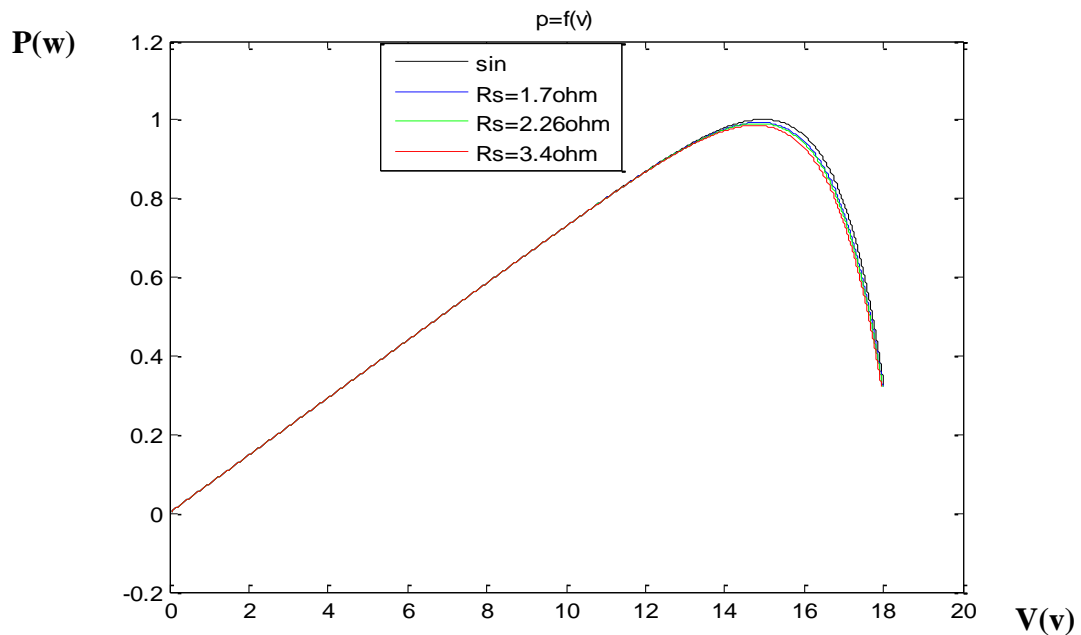


Figure III.15 : La caractéristique $P=f(V)$ pour les cas sain et avec défaut de R_s par Simulink

b.3 - Défaut de diminution de R_p :

Pour réaliser ce défaut, on a inséré en parallèle R_p avec le module PV à la sortie. Pour chaque valeur de la résistance parallèle prise du PV par exemple { $R_p=1\text{k}\Omega$, $R_p=2\text{k}\Omega$ ou $R_p=3\text{k}\Omega$ } et en simulant, les caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ du système en fonctionnement sain et celle en défaut R_s sont représentées dans les figures III.16 et 17.

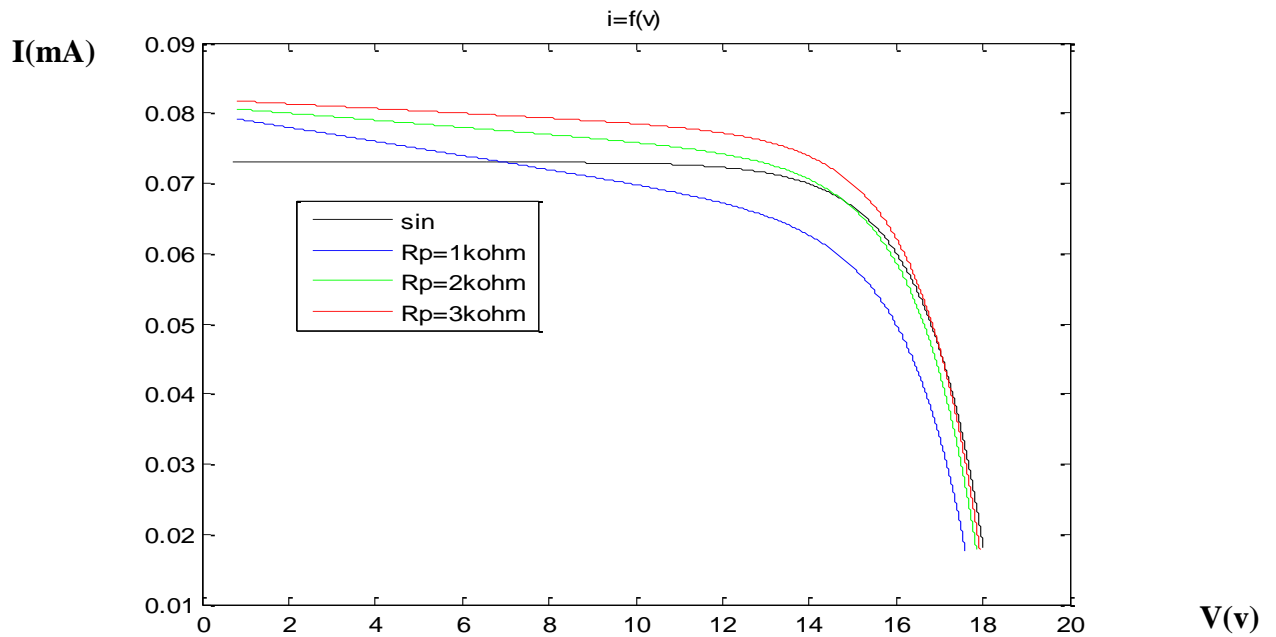


Figure III.16 :La caractéristique $I=f(V)$ d'un système PV pour les cas sain et avec défaut de R_p par Simulink.

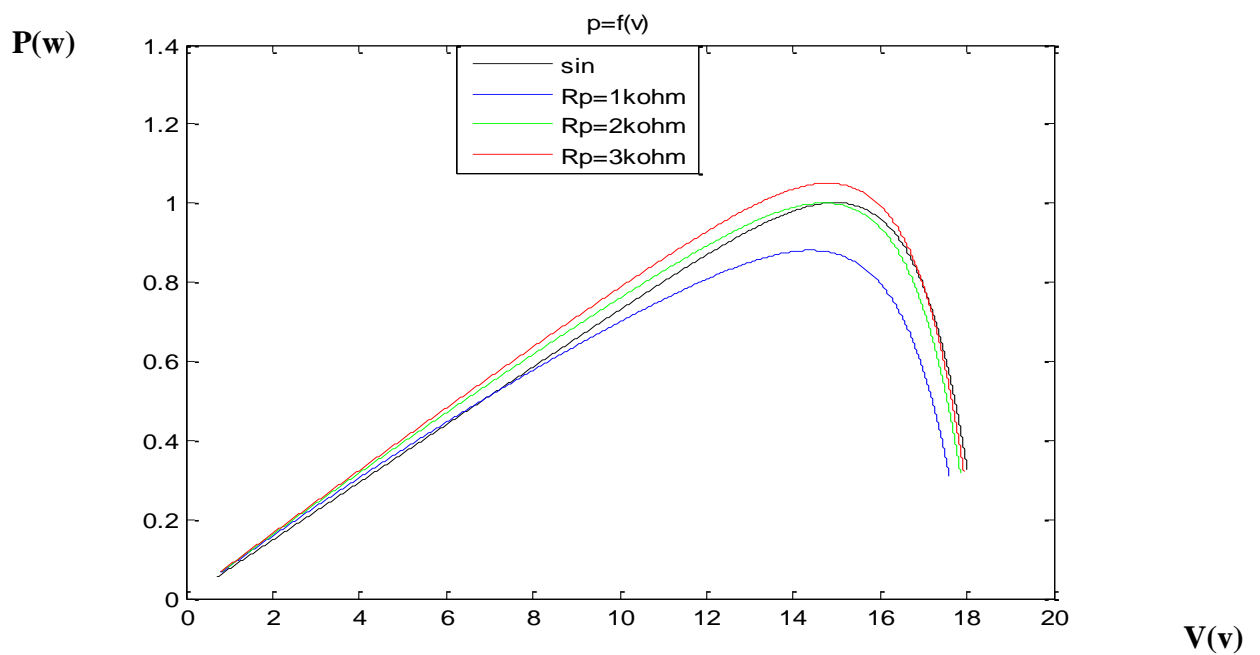


Figure III.17 :La caractéristique $P=f(V)$ d'un système PV pour les cas sain et avec défaut de R_p par Simulink

III.2.1.3 Etude comparative entre les résultats expérimentaux et ceux de la Simulation :

A partir des résultats obtenus, nous pouvons faire l'étude comparative suivante:

a-Cas du PV sain :

Les figures III.18 et 19 représentent respectivement les courbes des caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ dans le cas de sain pour l'expérimentation et la simulation.

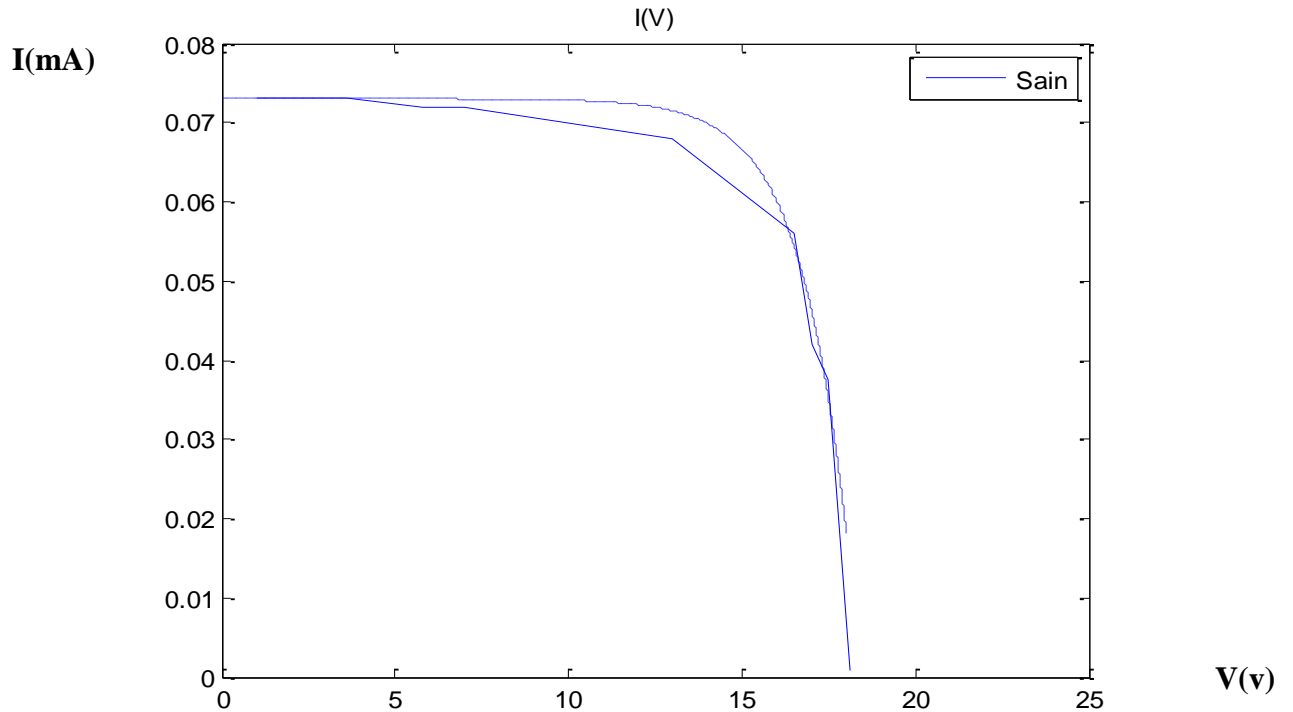


Figure III.3 : les caractéristiques $I=f(V)$ dans le cas de sain pour l'expérimentation et la simulation.

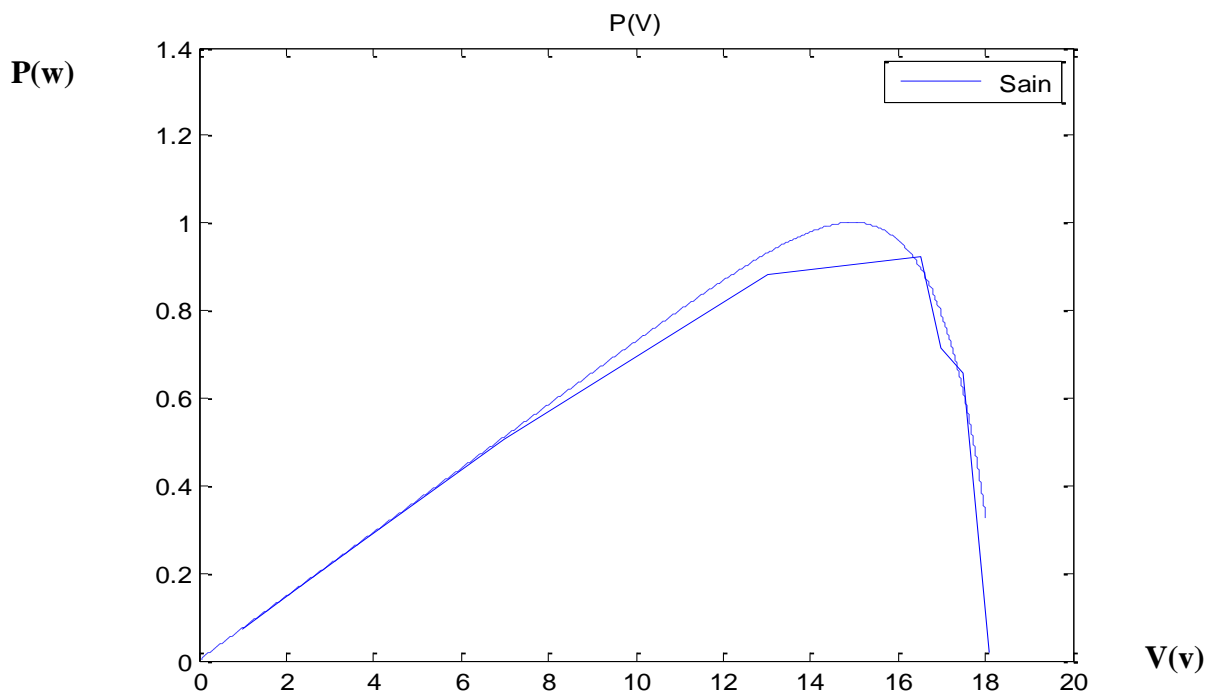


Figure III.19 : les caractéristiques $P=f(V)$ dans le cas de sain pour l'expérimentation et la simulation.

b-Cas du PV avec défaut :

b.1-Défaut d'ombrage :

Les figures III.(20 et 21) représentent respectivement les courbes des caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ dans le cas de sain et défaut d'ombrage pour l'expérience et la simulation.

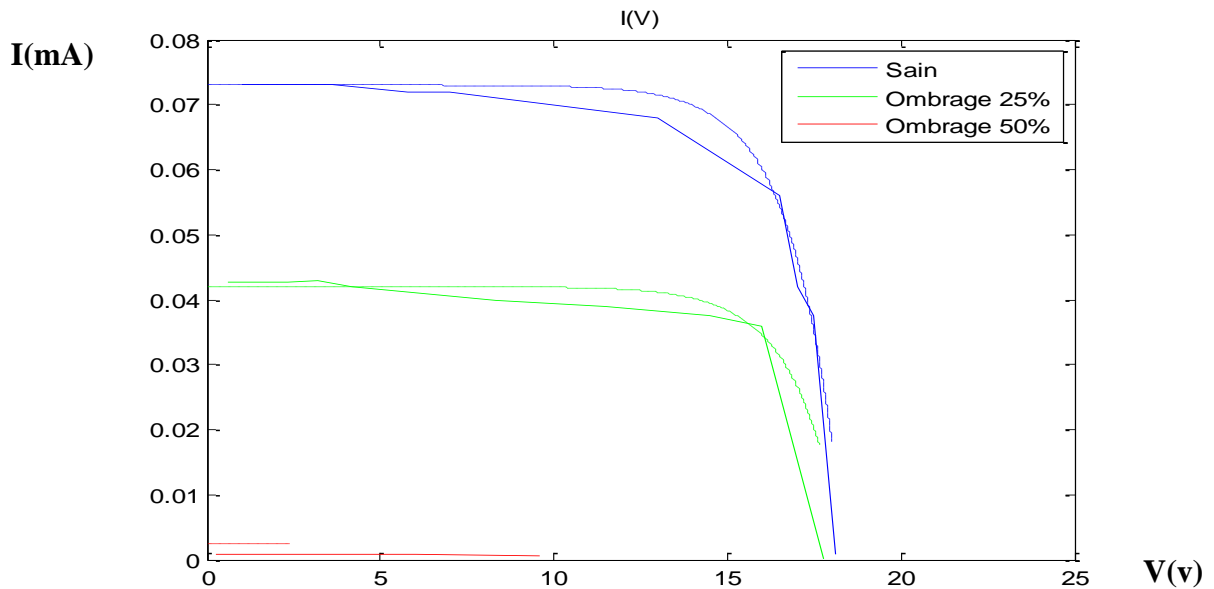


Figure III.20: les caractéristiques $I=f(V)$ dans le cas sain et d'ombrage pour l'expérience et la simulation.

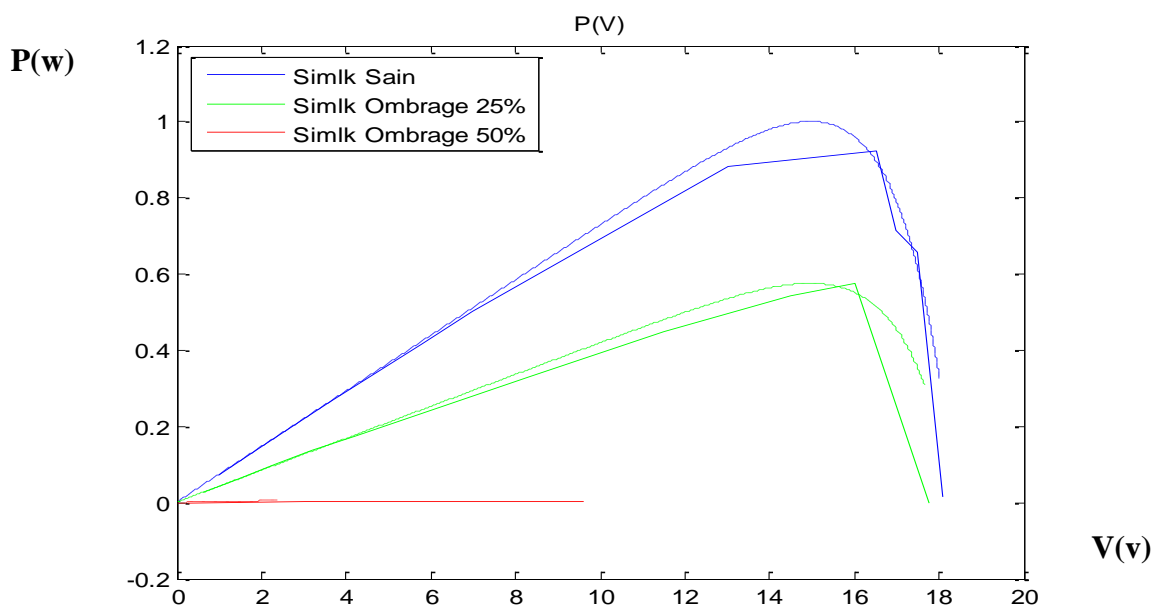


Figure III.21: les caractéristiques $P=f(V)$ dans le cas sain et d'ombrage pour l'expérience et la simulation.

b.2 -Défaut d'augmentation de Rs :

Les figures III.22 et 23 représentent respectivement les courbes des caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ dans le cas de sain et défaut de R_s pour l'expérimentation et la simulation.

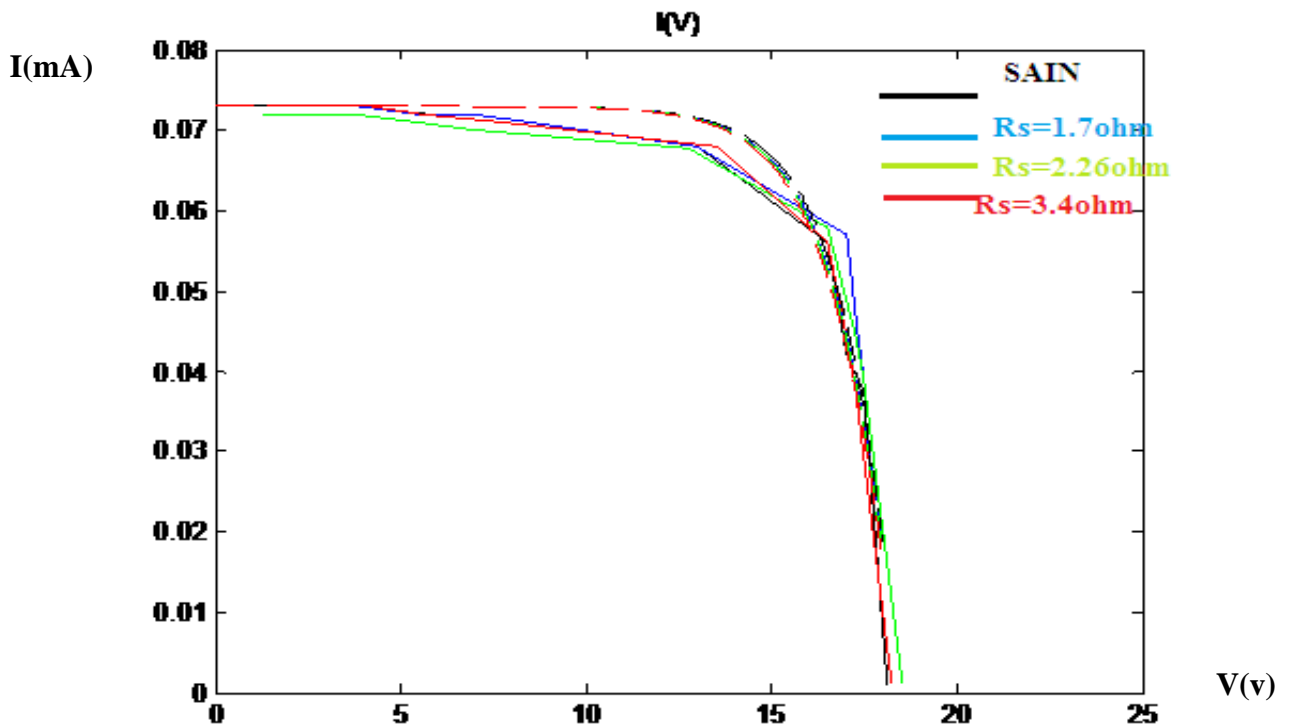


Figure III.22: les caractéristiques $I=f(V)$ dans le cas sain et défaut de R_s pour l'expérimentation et la simulation

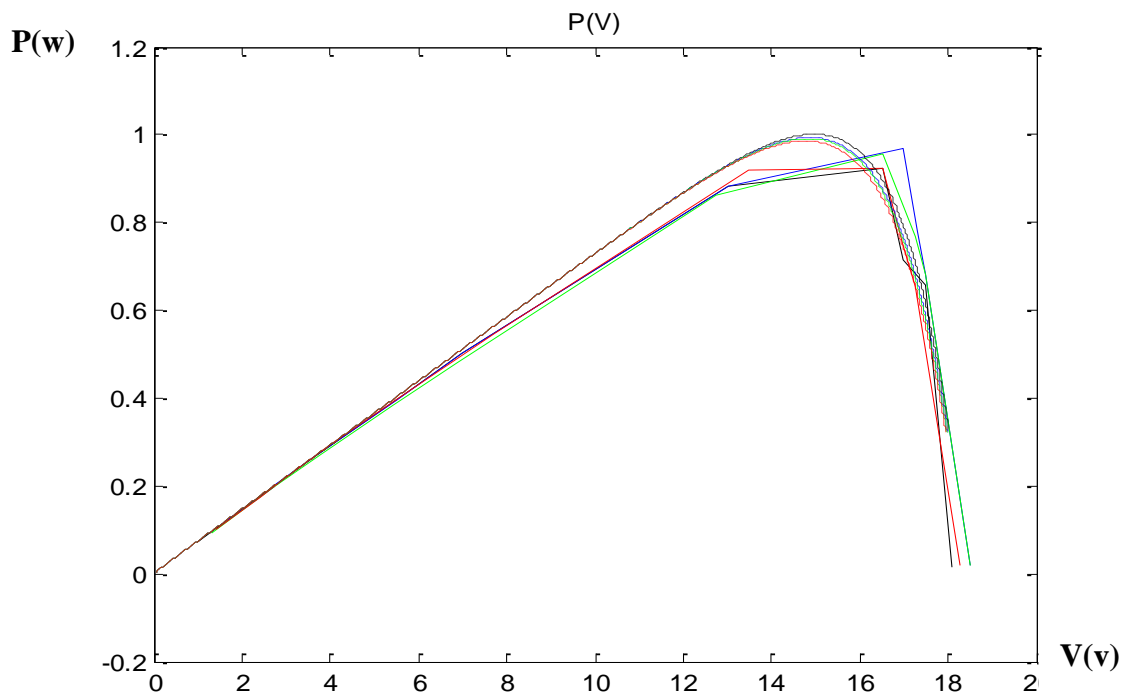


Figure III.23: les caractéristiques $P=f(V)$ dans le cas sain et défaut de R_s pour l'expérimentation et la simulation

b.3 -Défaut de diminution de R_p :

Les figures III.24 et 25 représentent respectivement les courbes des caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ dans le cas de sain et défaut de R_s pour l'expérimentation et la simulation.

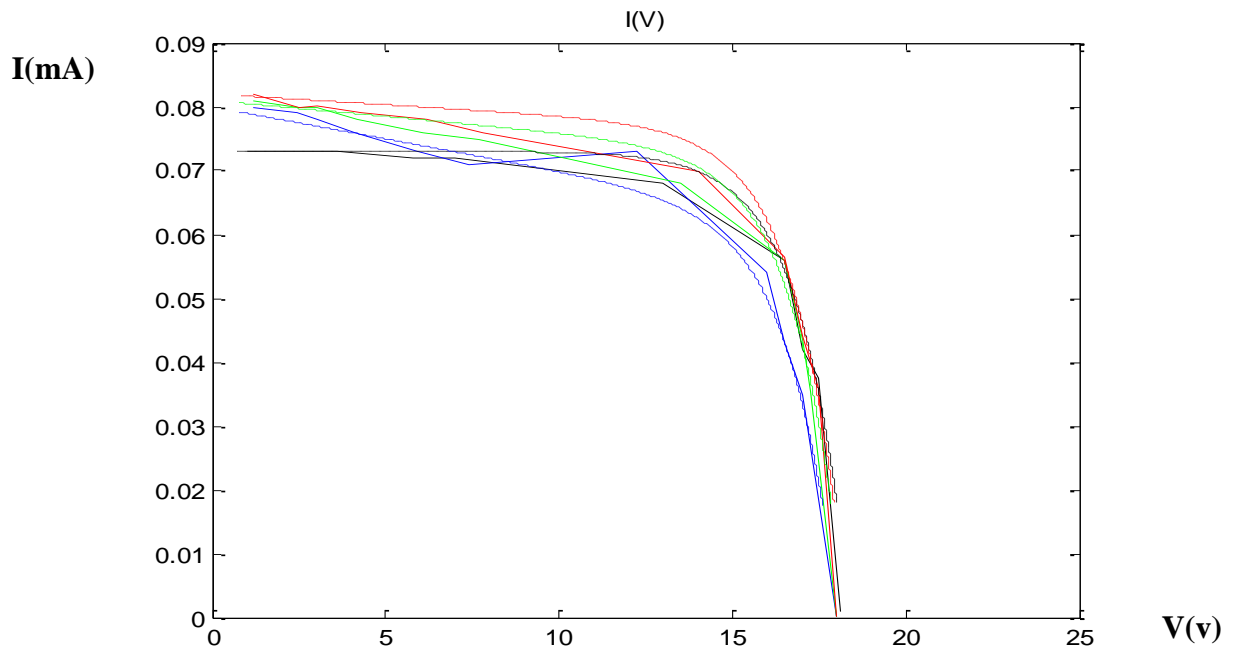


Figure III.24: les caractéristiques $I=f(V)$ dans le cas sain et défaut de R_p pour l'expérimentation et la simulation

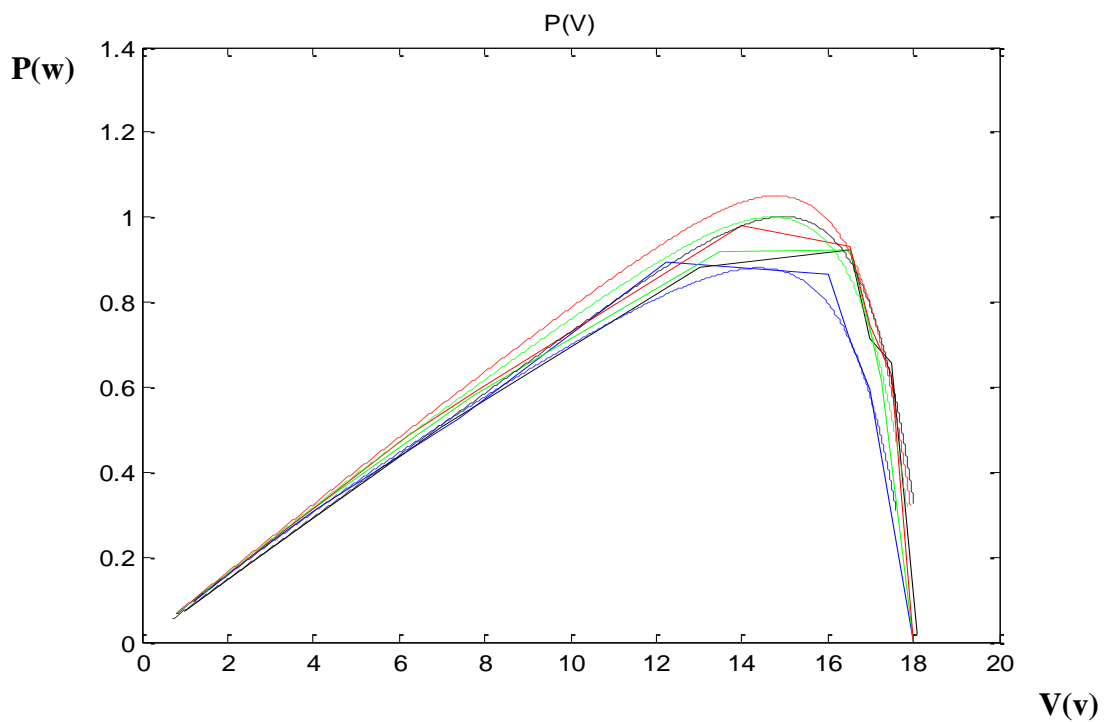


Figure III.25: les caractéristiques $P=f(V)$ dans le cas sain et défaut de R_p pour l'expérimentation et la simulation

C-Interprétation des résultats :

Notre approche consiste à estimer, à l'aide d'un modèle mathématique du système, les grandeurs mesurées sur celui-ci. Si le modèle reflète bien le comportement du système sain, tout écart entre les grandeurs estimées et mesurées traduira l'apparition d'un ou plusieurs défauts

En comparant les résultats trouvés en pratique (expérimentaux) et ceux de simulations Simulink/matlab, Nous remarquons une très petite différence entre leurs caractéristiques, cela est dû aux différentes incertitudes, « modèle et de mesure»

-L'incertitude de mesure se produit lors de la mesure de la caractéristique I-V du système PV actuel. Cette dernière est construite à partir d'un ensemble de couples « Courant. Tension » mesurés.

Il existe une tolérance pour tous les instruments de mesure du courant et de la tension.

Pour l'incertitude de modèle, l'erreur de modèle se réfère à l'écart entre la sortie du modèle représentant un système et celle du système actuel. Cette erreur est provoquée principalement par l'inexactitude des paramètres utilisés par le modèle. Le modèle du module PV utilisé dans notre simulation ne représente pas parfaitement un module PV réel. Ceci est dû à l'hypothèse des simplifications des paramètres du modèle que nous avons retenu.

-Pour le défaut d'ombrage :

Dans ce cas, lorsque nous faisons la somme de toutes les tensions des cellules interconnectées, cette valeur peut être négative puisqu'une partie des cellules produit une tension négative lorsque le courant qui la traverse dépasse la valeur du courant de court-circuit. C'est dans ce cas que la diode by-pass rentre en compte en devenant passante. En fonctionnement normal cette diode by-pass est bloquée. Par conséquent que plus l'ombrage appliqué sur le panneau augmente, plus le courant maximal diminue ce qui influe sur la puissance qui diminue de sa part. L'explication de ce décalage s'explique par le fait que plus de diodes by-pass deviennent actives.

-Pour le défaut R_s :

La figure III.22 illustre la perte en tension pour un courant donné qui est plus importante lorsque la résistance série augmente. Ce phénomène explique la déviation qui apparaît par rapport à la caractéristique I-V en fonctionnement normal. De plus, nous remarquons que pour une valeur de résistance assez importante, la perte en tension peut être suffisamment grande pour rendre la tension du groupe négative et activer dans ce cas la diode by-pass.

Pour cela nous nous déduisons que plus la résistance série de panneau augmente plus que la tension et la puissance diminuent.

-Pour le défaut Rp

La figure III-16 illustre, pour une tension donnée, la perte en courant qui est élevée lorsque la résistance parallèle diminue. Si cette résistance est suffisamment petite, elle peut absorber tout le courant généré et faire apparaître une forte déviation de la caractéristique I-V par rapport à celle du fonctionnement normal. Ensuite, nous allons visualiser l'influence de l'échauffement de certaines cellules, sur la caractéristique I-V du panneau.

Pour cela nous nous déduisons que plus la résistance parallèle de panneau n'augmente plus que la tension et la puissance augment.

III.2.2 Détection des défauts des panneaux solaires à l'aide de l'algorithme IBIP

III.2.2.1-L'objectif

L'objectif de cette partie est de présenter un algorithme de détection de défauts qui sont difficiles à détecter lors de la surveillance d'un panneau photovoltaïque. Cet algorithme s'appelle l'inverse de la probabilité individuelle d'appartenance (IBIP). L'outil software qui a été utilisé pour effectuer nos simulations est le logiciel Scilab version 5.5.1

III.2.2.2-L'algorithme IBIP et son application :

a-Cas du PV sain

La figure (III.26) montre la courbe moyenne de la puissance fournie par 20 panneaux pendant dix jours. Cette courbe représente la puissance sans défauts pendant la période du mois de Juillet. L'expérience a été effectuée au niveau du laboratoire de recherche CDER ADRAR ALGERIA « UNITE DE RECHERCHE EN ENERGIE RENOUVLABLE AU MILIEU SAHARIENNE URERMS ALGERIA »

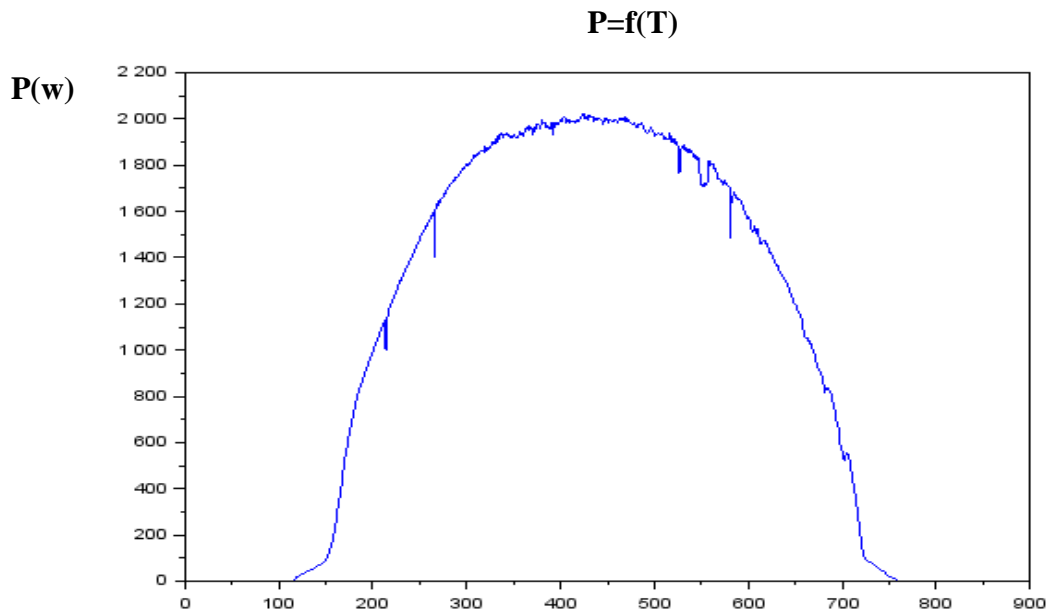


Figure III.26. : Puissance moyenne (sans défauts) fournie par 20 panneaux en fonction $T(\text{min})$ temps.

b-Algorithmme de l'inverse de la probabilité :[21]

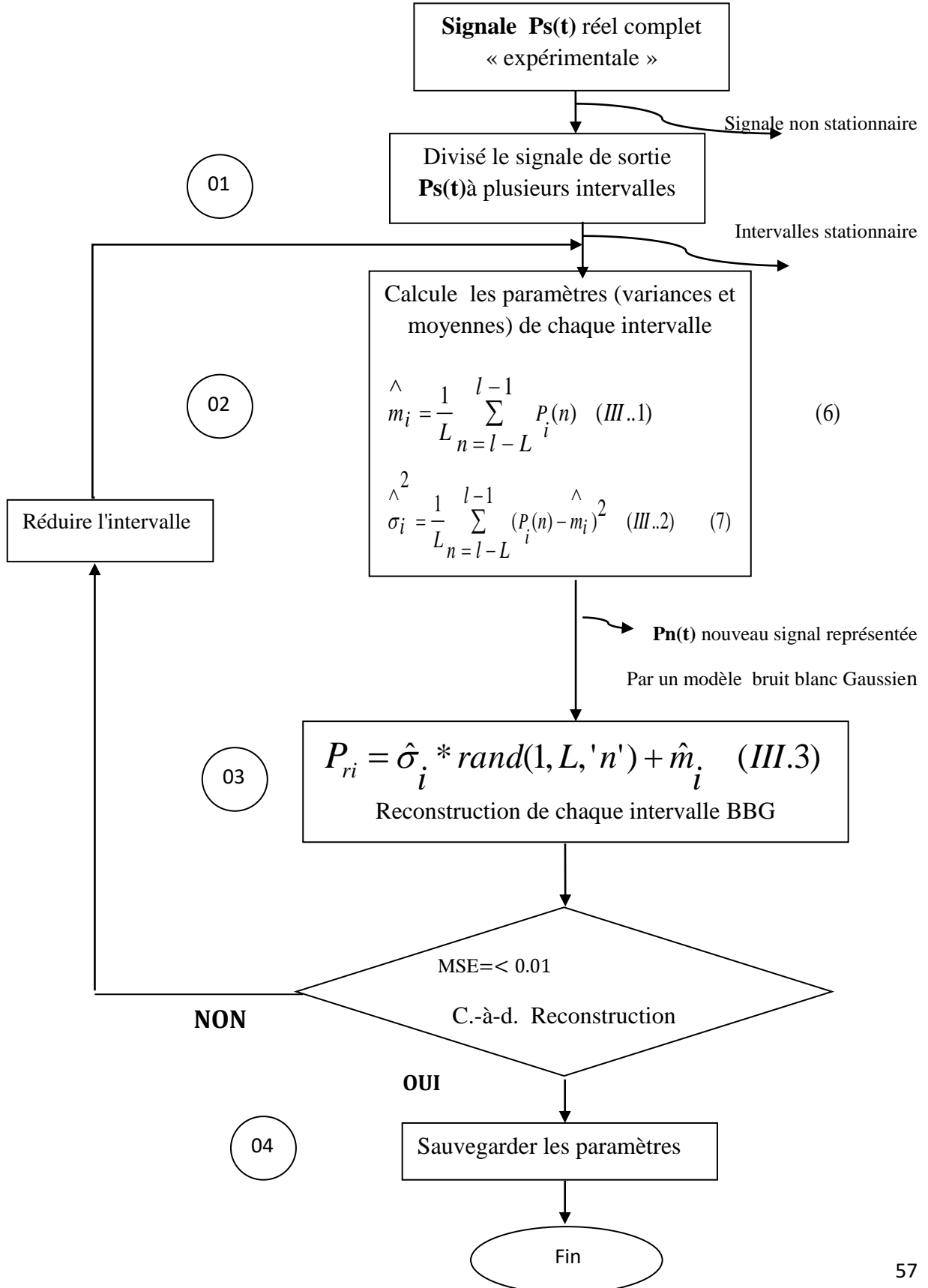
Les défaillances d'un système physique peuvent être signalées par des modifications ou de nouvelles variations dans un processus, Cet algorithme a pour objectif de détecter différents changements représentant des conditions anormales, mais uniquement si ces changements représentent des défauts ayant un impact significatif sur le comportement de l'état des panneaux solaires. En premier lieu on cherche un modèle probabilistique pour représenter la puissance moyenne sans défauts. Dans notre cas nous avons choisi un bruit blanc Gaussien qui semble le mieux adapté. Comme le signal de la puissance n'est pas entièrement stationnaire (SSL) comme le cas d'un bruit blanc, alors il faut segmenter la courbe en petits intervalles réguliers afin d'obtenir moins de variations et donc plus de stationnarité des segments. Cette technique permet de calculer la probabilité de chaque valeur du signal de la puissance en présence d'éventuels défauts dans les panneaux solaires. L'idée principale de notre algorithme de l'inverse de la probabilité d'appartenance (IBP) est de considérer un défaut comme un évènement rare dans le comportement des panneaux et par conséquent sa probabilité d'appartenir au comportement normale est presque nulle. Et si on inverse la probabilité de chaque valeur, l'inverse qui correspond au défaut devra être donc représenté par le pic le plus élevé dans la courbe de la (IBP).

Une description complète de l'algorithme de l'IBP est illustrée par l'organigramme ci-dessous.

b.1-Organigramme de la IBIP.

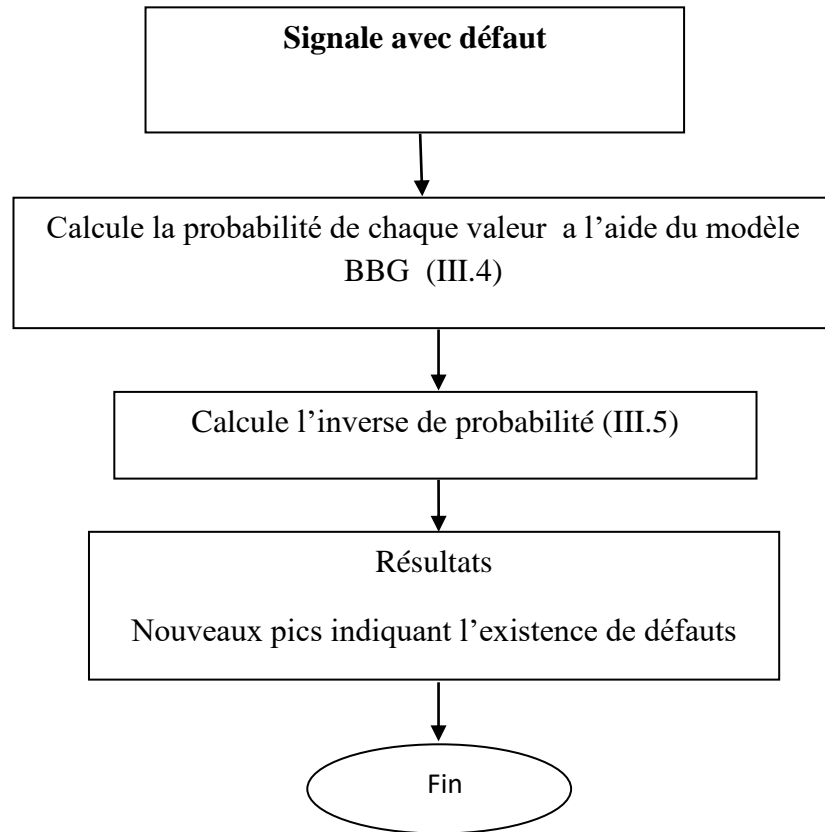
b.1.1-Partie. I

Modélisation du signal sans défauts (sain)



b.1.2-Partie. II

Inverse de la probabilité individuelle (IBIP) du signal avec défauts



-On calcule la probabilité de chaque valeur du signal à l'aide des paramètres que nous avons obtenus précédemment comme suit:

$$p_i^{(n)} = \frac{1}{\hat{\sigma}_i \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(p_i^{(n)} - \hat{m}_i)^2}{2 \cdot \hat{\sigma}_i^2} \right] \quad (III.4)$$

Puis on inverse la probabilité (IBIP) en utilisant la formule suivante :

$$\frac{1}{\mathbf{P}} = \left[\frac{1}{p_1(1)} \frac{1}{p_1(2)} \cdots \frac{1}{p_2(1)} \cdot \frac{1}{p_2(2)} \cdots \frac{1}{p_2(L)} \cdots \frac{1}{p_I(L)} \right] \quad (III.5)$$

c-Application de la IBIP:

Pour voir la qualité et l'efficacité de l'IBIP en termes de détection de défauts, on s'est focalisé sur la partie de la courbe de la puissance la plus stable, en l'occurrence celle qui correspond à

l'intervalle ($t=300mn -t=510mn$) où la puissance est maximale. La puissance dans cet intervalle est illustrée dans la figure(III.27) ci-dessous

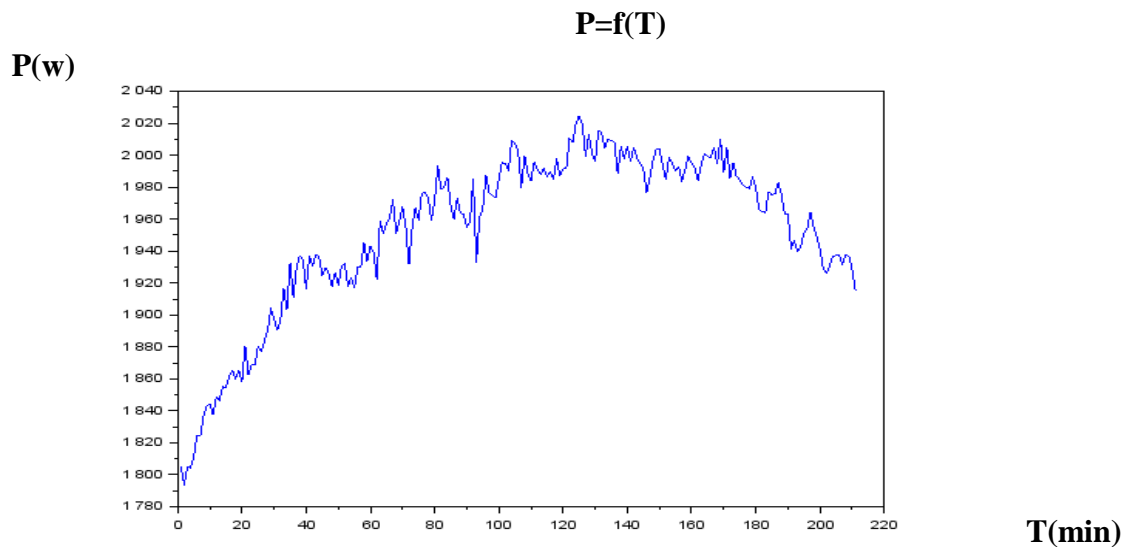


Figure III.27 : caractéristiques ($p=f(t)$) dans intervalle de ($T=300 -T=510$)

Cette partie de la courbe est modélisée par un bruit blanc Gaussien en suivant les étapes de l'algorithme de l'IBIP. La figure(III.28) montre que la reconstruction de la puissance sans défauts à l'aide du modèle BBG est presque parfaite, et par conséquent le modèle BBG ainsi obtenu, représente d'une manière fidèle la puissance sans défauts. Les paramètres de ce modèle sont ensuite sauvegardés pour estimer la probabilité de chaque valeur de la puissance avec défauts.

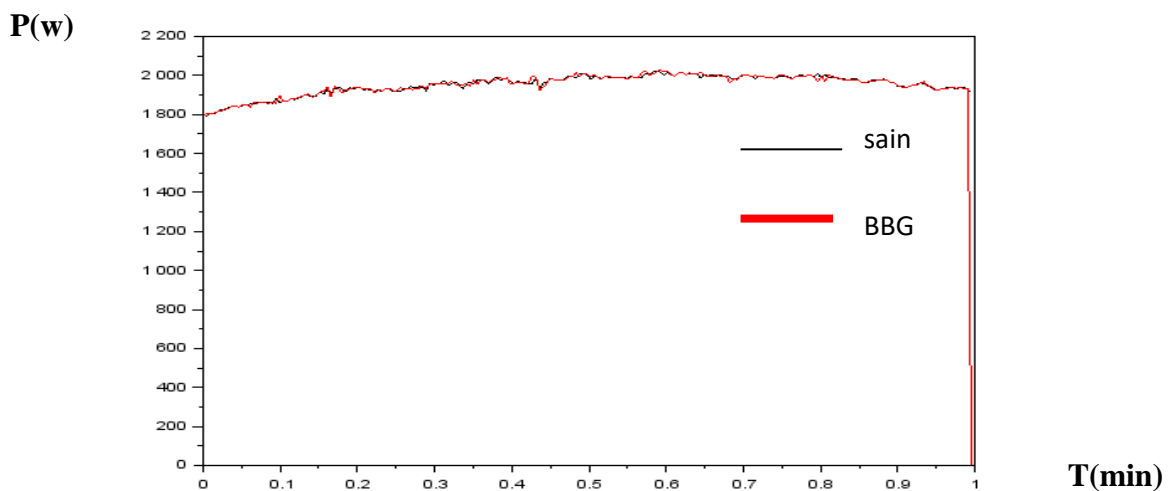
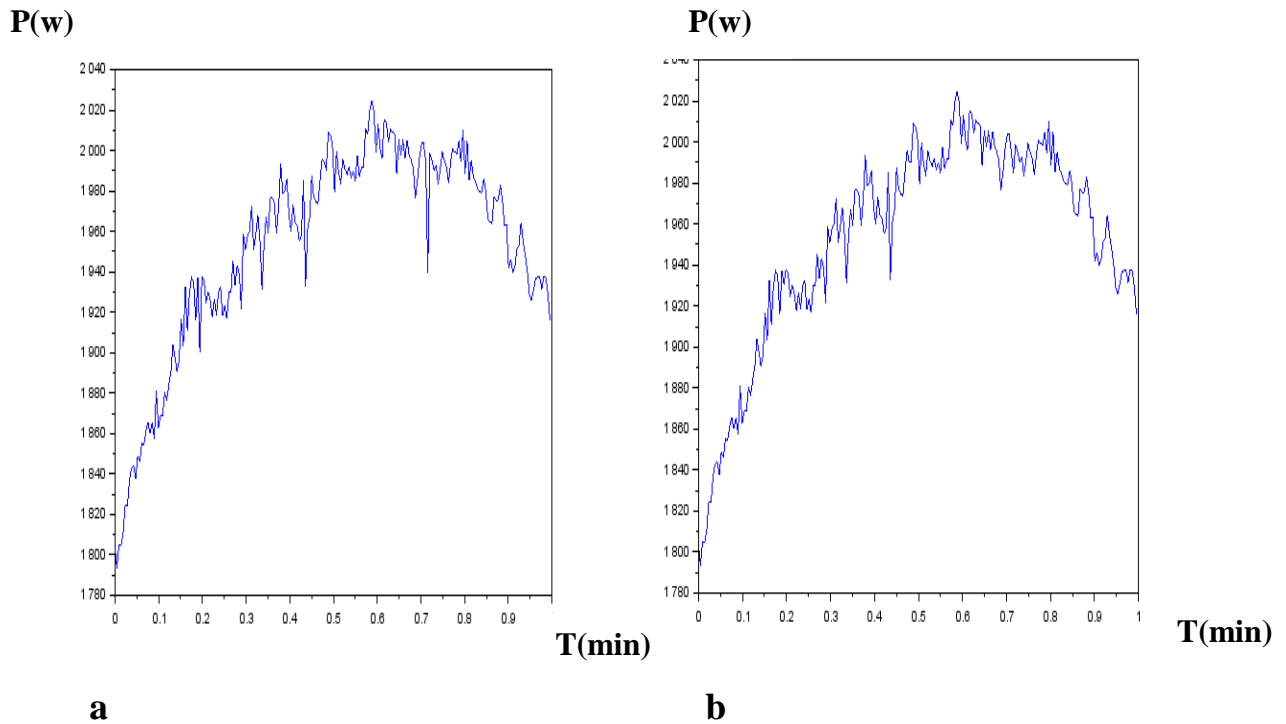


Figure III.28 : caractéristique $p=f(t)$ des courbes original (sain) et régulier (BBG)

d-Application aux cas avec défauts :

On présente ci-dessous deux exemples de défauts figure III.29, la figure à gauche représente deux défauts et celle à droite un seul défaut. Il est clair que la détection des défauts par observation directe n'est pas facile. Les pics associés aux défauts sont solubles dans le comportement globale de la puissance, d'où la nécessité d'un algorithme robuste et efficace pour la détection des défauts partiellement cachés dans un processus aléatoire.



a **b**
Figure III.29: les courbes (a,b) représentent la caractéristique $p=f(t)$ pour deux cas de défaut déferent

L'inverse de la probabilité d'appartenance (IBIP) correspondant respectivement aux deux cas de défauts précédents sont illustrés dans la figure suivante

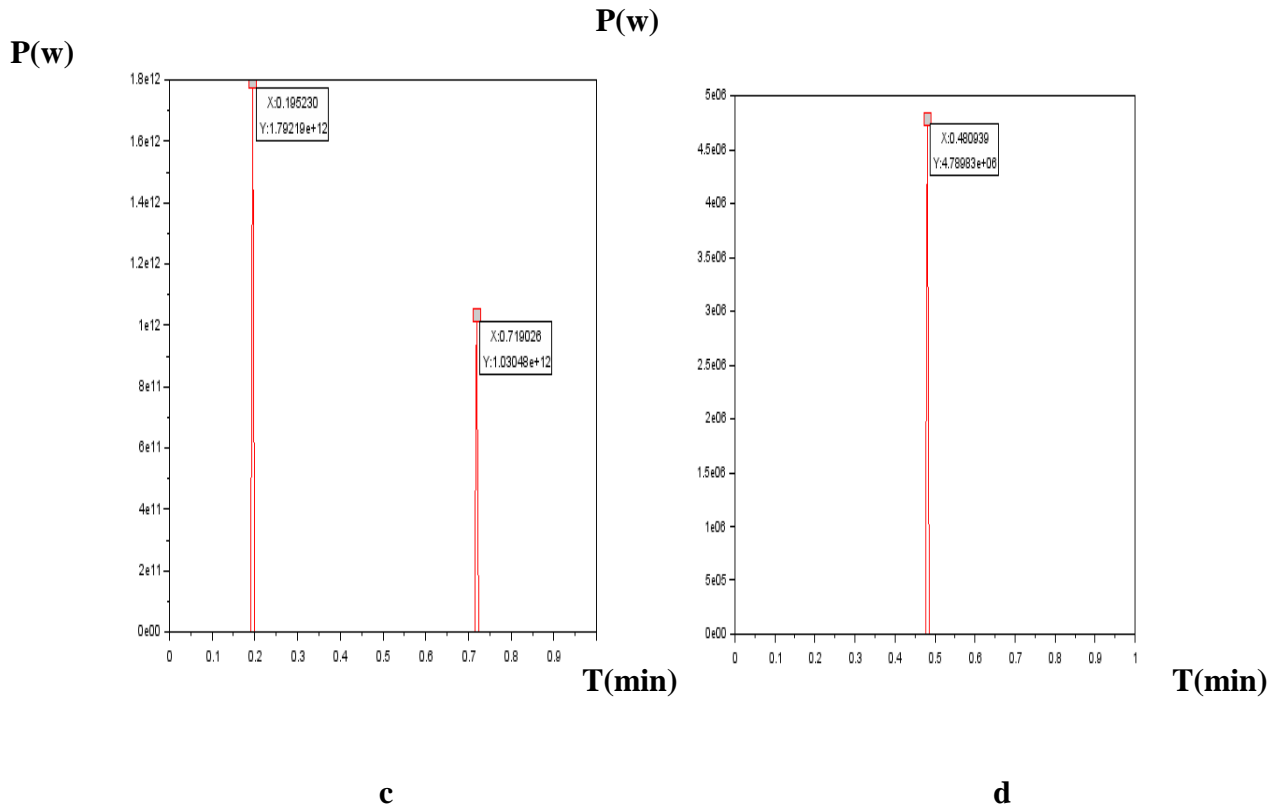


Figure III.30 :les courbes(c,d) représentent l'IBIP pic des défauts au niveau de la signal $P_n(t)$ ' inverse

On constate clairement et sans ambiguïté les pics correspondants aux défauts. L'IBIP prouve ainsi sa qualité et son efficacité dans la détection des défauts qui sont même cachés et donc difficiles à localiser par une simple observation directe sur la courbe de la puissance. Nous avons illustré ci-dessous la détection des défauts par l'IBIP et par observation directe pour une meilleure comparaison.

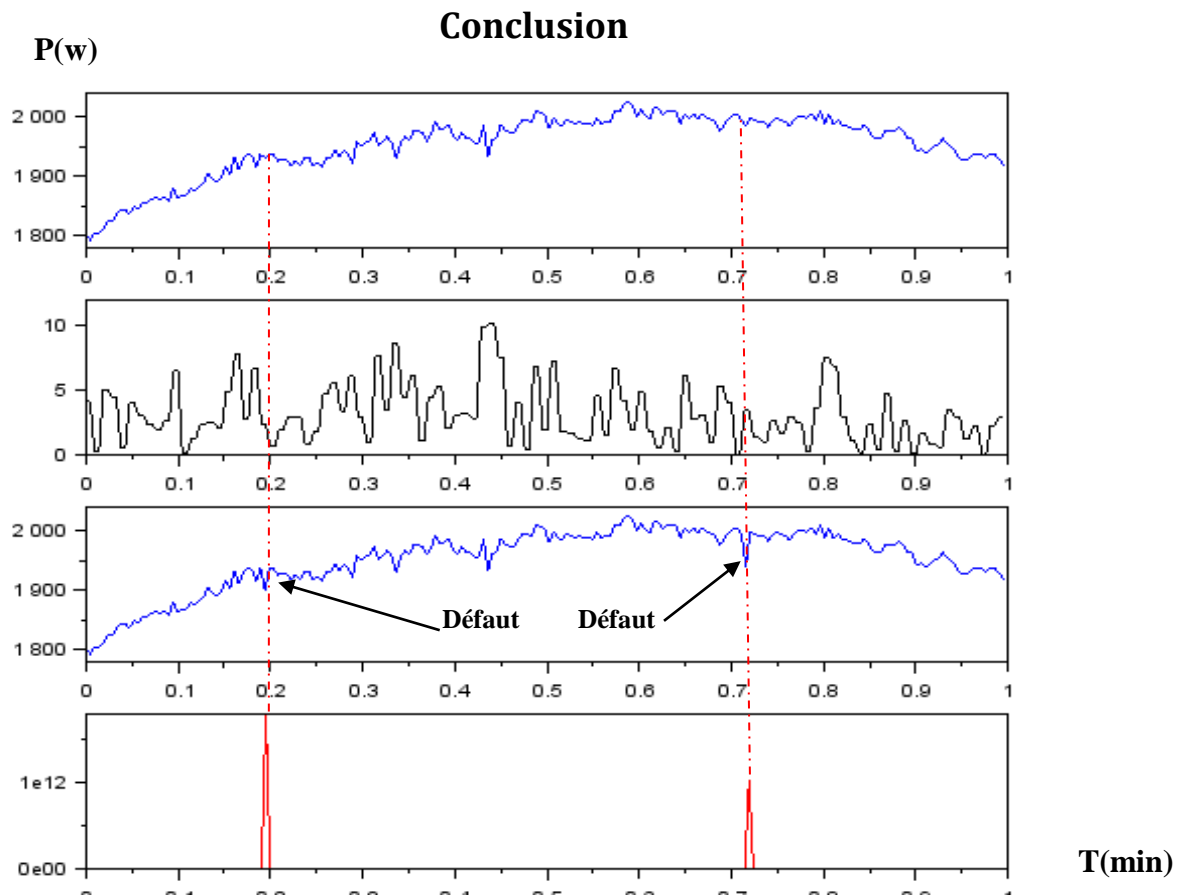


Figure III.31: les démarches de modélisation pour détecter l^{er} cas de défaut

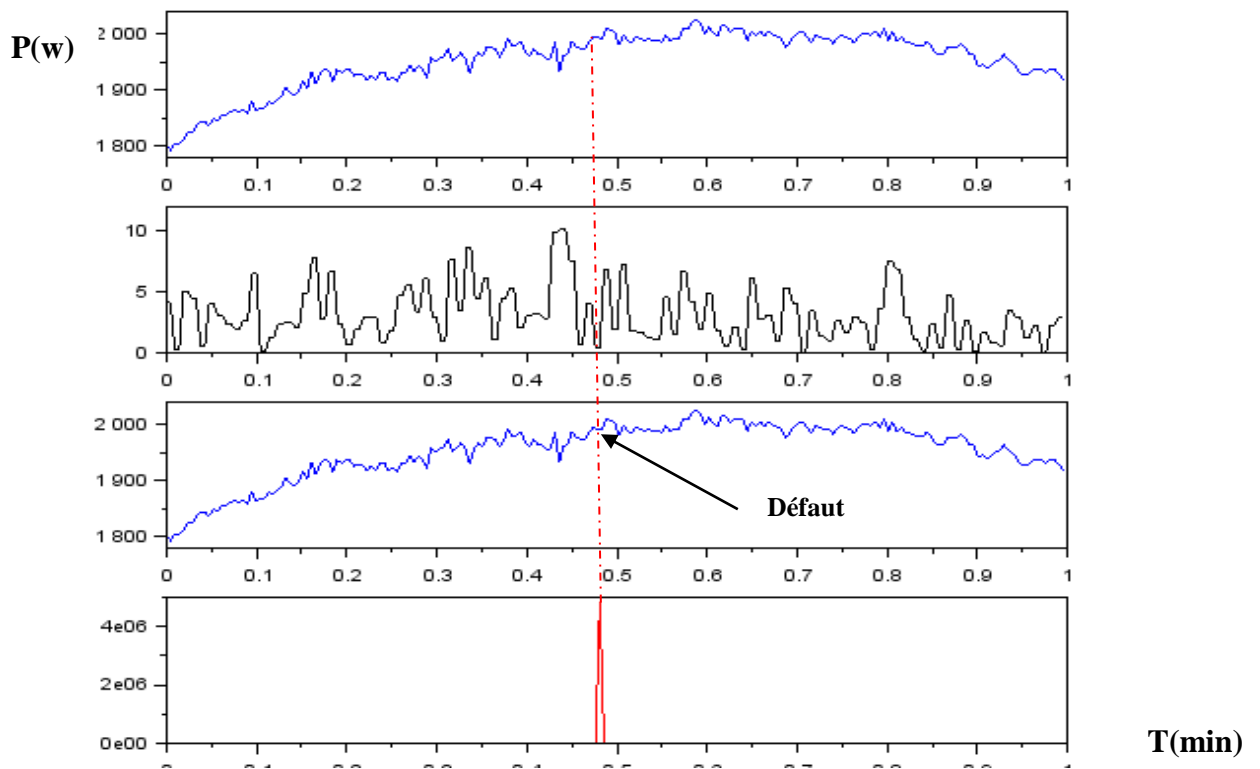


Figure III.32 : les démarches de modélisation pour détecter 2eme cas de défaut

III.3-Conclusion

Dans la 1^{ère} partie de ce chapitre on a présenté les différents résultats expérimentaux obtenus par la méthode Volt-Ampère-métrique, ainsi que ceux obtenus par simulation numérique sous Matlab/Simulink. pour les différents défauts que nous avons considérés (défaut d'ombrage défaut résistance série et parallèle).Et une bonne concordance des résultats a été remarquée sur les différentes caractéristiques électriques obtenues $I(V)$ et $P(V)$. Ensuite, nous avons illustré un algorithme de l'inverse de la probabilité pour détecter les défauts présents dans un panneau photovoltaïque.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le développement d'une méthode pour la détection et la localisation de défaut dans un système PV, soit raccordé au réseau électrique ou non, permet de réduire les coûts de maintenance et surtout augmenter sa productivité. Dans le cadre du travail de ce mémoire on s'est principalement concentré sur la détection et la localisation de défaut dans la partie DC du système photovoltaïque, c'est-à-dire du côté 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 et de l'augmentation de la résistance série et parallèle 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 travail réside dans le fait que les défauts cités précédemment engendrent la même signature sur la caractéristique.

La contribution apportée dans ce travail apparaît dans la capacité de séparer les deux signatures d'une part et de étudier permettant de tracer la caractéristique de n'importe quel PV de manière automatique et de fournir une aide à la décision du diagnostic des défauts précédents. 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 de la cellule photovoltaïque et nous avons aussi rappelé les différents éléments constituant un générateur photovoltaïque, en allant des cellules jusqu'à l'injection aux réseaux ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Le second chapitre se divise en deux parties, la première présente les différents défauts affectant un des panneaux solaire que ce soit les défauts dus aux conditions climatiques ou de la construction et d'utilisations, ainsi que l'effet de ces défauts sur les paramètres électriques et physiques. La deuxième partie présente les généralités sur des différentes méthodes de détection et de diagnostic de défauts. Finalement dans le dernier chapitre, notre but de cette étude est divisé en deux parties dans le premier nous avons dimensionné l'installation de notre système PV. Ensuite, on a appliqué une simulation numérique de l'installation PV à l'aide du logiciel Matlab dans des conditions normales et défectueuses pour chacun. Nous avons ainsi fait une comparaison entre les résultats obtenus par simulation et des résultats expérimentaux obtenus au niveau de Laboratoire pour voir les caractéristiques électriques I-V et P-V en temps réel.

La deuxième partie, Afin d'optimiser l'énergie produite par les sources d'ER (PV), nous avons adopté un algorithme de probabilité inverse pour détecter les défauts dans un panneau

Conclusion Générale

solaire en utilisant la puissance fournie par les panneaux. L'algorithme de l'inverse de probabilité est une nouvelle technique basée sur l'inverse de la probabilité individuelle d'appartenance (IBIP) afin de faciliter la détection de défauts multiples. Nous avons montré que l'IBIP appliquée au processus de la puissance fournie par les panneaux, peut détecter des irrégularités tels que des pics prononcés représentant des défauts mieux que les procédures statistiques standards sans trop de complexité de calcul. La technique IBIP est donc une approche très prometteuse pour la détection de plusieurs défauts et peut être considérée comme une étape vers une meilleure détection des défauts avant une défaillance complète des panneaux solaires.

Bibliographie

- [01] lenergeek.com/2018/12/07/aie-électricité-weo2018/.
- [02] livre de l'énergie solaire « Transformation directe de l'énergie solaire en électricité, les semiconducteurs et l'énergie solaire : Par P. Aigrain»
- [03] livre de l'électronique de puissance « LES CONVERTISSEURS DE L'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE. Volume 4, La conversion continu-alternatif » de Francis Labrique , Guy Séguier , et al. | 1 septembre 1995
- [04] J. A. Gow and C. D. Manning, "Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies," IEE. Proc.-Electr. Power Appl., vol. 146, 2009
- [05] Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat géographiquement autonome Akassewa Tchapo Singo
- [06] S. Mau, T. Krametz, W. Jahna, and H. Fechner, "Quality testing for PV-modules according to standards and performance control for supporting manufacturing," no. June, pp. 10–12, 2004
- [07] J. Al Ahmar, S. Wiese, "Analysis and simulation of cracks and micro cracks in PV cells ," International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE), 2013.
- [08] SKOCZEK, T. SAMPLE, E. DUNLOP, and H. OSSENBRINK, "Electrical performance results from physical stress testing of commercial PV modules to the IEC 61215 test sequence," Sol. Energy Mater. Sol. Cells, vol. 92, no. 12, pp. 1593– 1604, Dec. 2008.
- [09]: Marir-Benabbas M : « Etude du problème de « HOT SPOT » dans un module solaire photovoltaïque » Thèse de magistère .Constantine. 1984
- [10] A. Ricaud ; Photopiles solaire de la physique de conversion photovoltaïque aux filières, matériaux et procédés; presses polytechniques et universitaires romandes 1997.

Bibliographie

- [11] S. Vighetti, Y. Lembeye, J. Ferrieux, and J. Barbaroux, "Module photovoltaïque et ombrages: étude et intégration d'une structure d'équilibrage," EPF 2010, 2010 - hal.archives-ouvertes.fr.
- [12] J. L. Crozier, "Characterization of Cell Mismatch in Photovoltaic Modules Using Electroluminescence and Associated Electro-optic Techniques." Nelson Mandela Metropolitan University, 2012.
- [13] P. Parinya, B. Wiengmoon, D. Chenvidhya, C. Jivacate, K. Kirtikara, and C. Limsakul, "correlation between electrical parameters of solar cells and temperature characteristics obtained from infrared thermography," Tech. Dig. Int. PVSEC-17, Fukuoka, Japan, 2007.
- [14] A. Monastyrskyi, S. Ostapenko, O. Polupan, H. Maeckel, and M. Vazquez, "Resonance Ultrasonic Vibrations for in-line crack detection in silicon wafers and solar cells," in Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2008.
- [15] Long Bun "Détection et localisation de défauts dans un système photovoltaïque" Thèse de doctorat dans l'énergie électrique. Université de Grenoble, 2011.
- [16] K.-H. Chao, S.-H. Ho and M.-H. Wang, "Modeling and fault diagnosis of a photovoltaic system," Electric Power Systems Research, vol. 78, pp. 97-105, 2008.
- [17] A. Chouder, S. Silvestre; "Automatic supervision and fault detection of PV systems based on power losses analysis"; Energy Conversion and Management; vol. 51, pp. 1929-1937, 2010.
- [18] T. Mishina, H. Kawamura, S. Yamanaka, H. Ohno and K. Naito, "A study of the automatic analysis for the I-V curves of a photovoltaic subarray," presented at the Photovoltaic Specialists Conference, 2002. Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE, 2002.
- [19] M. Miwa, S. Yamanaka, H. Kawamura and H. Ohno, "Diagnosis of a Power Output Lowering of PV Array with a $(-dI/dV)$ -V Characteristic " presented at the Photovoltaic

Bibliographie

Energy Conversion, Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on
Waikoloa, HI, 2006.

[20].D. Sera, R. Teodorescu and P. Rodriguez, "Photovoltaic module diagnostics by series
resistance monitoring and temperature and rated power estimation " in Industrial Electronics,
2008. IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE Orlando, FL 2008, pp. 2195 – 2199

[21] <http://www.actapress.com/PaperInfo.aspx?paperId=45846>