

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière : Électronique
Spécialité : micro-électronique

Présenté par

YKRELEF Samah

&

SADI Lounes

Étude et caractérisation des défauts dans les systèmes photovoltaïques

Proposé par : AISSAT Abdelkader

&

SMARA Zoubeyr

Année Universitaire 2021-2022

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah le tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté, la santé et la patience de mener à terme ce présent travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur **le Professeur AISSAT Abdelkader** pour son encadrement efficace, ses conseils précieux et sa patience.

Nous tenons à remercier aussi notre Co-promoteur **SMARA Zoubeyr** pour ses remarques et ses conseils et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire. Je lui exprime toute ma reconnaissance pour sa confiance en mon travail.

Nous souhaiterons à la fin remercier les membres du jury...et... d'avoir acceptés de juger ce modeste travail.

YKRELEF Samah

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah le tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté, la santé et la patience de mener à terme ce présent travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur **le Professeur AISSAT Abdelkader** pour son encadrement efficace, ses conseils précieux et sa patience.

Nous tenons à remercier aussi notre Co-promoteur **SMARA Zoubeyr** pour ses remarques et ses conseils et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire. Je lui exprime toute ma reconnaissance pour sa confiance en mon travail.

Nous souhaiterons à la fin remercier les membres du jury...et... d'avoir acceptés de juger ce modeste travail.

SADI Lounes

Dédicace

En témoignage d'amour et de respect à tous ceux qui me sont chers, je dédie ce modeste travail
à :

Nos grandes familles.

Nos chers amis et enseignants.

*Ainsi qu'à tous ceux qui m'ont aidé, soutenu et conseillé tout en long des
épreuves qui ont donné lumière à ce travail.*

Merci à tous

YKRELEF Samah

Dédicace

En témoignage d'amour et de respect à tous ceux qui me sont chers, je dédie ce modeste travail
à :

Nos grandes familles.

Nos chers amis et enseignants.

*Ainsi qu'à tous ceux qui m'ont aidé, soutenu et conseillé tout en long des
épreuves qui ont donné lumière à ce travail.*

Merci à tous

SADI Lounes

Résumé

ملخص

الطاقة هي العنصر الأساسي والضروري في الحياة وقوى الطلب المستمر على الطاقة متزايد لإيجاد مصادر أخرى للطاقة وإنتاجها من الطاقات المتجددة والموارد الأخرى ومن بين هذه الطاقة الشمسية لما لها من مزايا عديدة وهذه الأطروحة تحلل النمذجة ومحاكاة الأنظمة الكهروضوئية التي تعمل على آلية "الاضطراب والتوصيف". نتائج المحاكاة التي حصلت عليه تمت بواسطة MATLAB / SIMULINK نسخة 2016 لنظام تحكم في أكثر العيوب شيوعاً. **كلمات مفتاحية :** الطاقة , محاكاة الأنظمة , الكهروضوئية , التوصيف.

Résumé

L'énergie c'est l'élément fondamental et nécessaire de la vie en augmentant la demande énergétique continue oblige à trouver d'autres sources d'énergie et de la produire à partir d'énergies renouvelables et d'autres ressources et parmi cela l'énergie solaire en raison de ses nombreux avantages et cette thèse analyse la modélisation et la simulation de systèmes photovoltaïque fonctionne sur un mécanisme de « perturbation et caractérisation ». Les résultats de la simulation obtenue par MATLAB/SIMULINK Version 2016, pour un système de contrôle des défauts les plus fréquents.

Mots clés : énergétique, simulation, photovoltaïque, caractérisation.

Abstract

The energy is the fundamental and necessary element of life increasing and the continuous energy demand forces to find other sources of energy and to produce it from renewable energies and other resources and among this solar energy because of its many advantages and this thesis analyzes the modeling and simulation of photovoltaic systems operating on a mechanism of "disturbance and characterization". The results of the simulation obtained by MATLAB/SIMULINK Version 2016, for a control system of the most frequent defects.

Keywords: energy , simulation, photovoltaic, characterization

Remerciements	I
Dédicaces.....	II
Résumé.....	III
Table des matières.....	IV
Liste des figures.....	V
Liste des tableaux.....	VI
Liste des abréviations.....	VII
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralités sur les cellules photovoltaïques

I. Introduction	4
I.1. Le soleil	4
I.1.1. Rayonnement solaire	4
I.1.2. Types de rayonnements	5
I.1.3. Le spectre solaire	6
I.2. Conversion photovoltaïque	7
I.2.1. Définition	7
I.2.2. Effet photovoltaïque	8
I.2.3. Principe de fonctionnement	8
I.2.4. les différentes technologies photovoltaïques	9
I.3. Cellule photovoltaïque	12
I.4. Type des matériaux utilisé pour la fabrication des cellules PV	12
I.5. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque.....	13
I.6. Conclusion	17

Chapitre II : Les défauts des systèmes photovoltaïques

II.1. Introduction	19
II.2. Les différents types des défauts dans les systèmes photovoltaïques	19
II.2.1 La bulle d'air	19
II.2.2 Fissures dans les cellules :	20
II.2.3 Défaut de revêtement anti -reflet (ARC)	21
II.2.4 Points Chauds (Hot spots).....	22
II.2.5 L'augmentation de la résistance série (R_s).....	23
II.3. Défaut de mis match et d'ombrage partiel	24
II.3.1. Mis match	24
II.3.2. L'ombrage partiel	24
II.2.3. Défauts de la diode de by-pass.....	25
II.4 Conclusion	26

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

III.1.Introduction	28
III.2. Etude de cas.....	28
III.2.1. Etude de 6 modules en série	28
III.2.1.1. Schéma de Simulation sans défaut.....	28
III.2.1.2 Défaut d'ombrage.....	29
III.2.1.3 Défaut de la diode by-pass	30
III.2.1.5 Résultat de simulation.....	32
III.2.2.Etude de 6 modules en parallèle	34
III.2.2.1 Schéma de Simulation sans défaut.....	34

Table des matières

III.2.2.2. Défaut d'ombrage.....	35
III.2.2.3. Défaut de la diode by-pass	36
III.2.2.4. Défaut de mis-match	37
III.2.2.5. Résultat de simulation.....	38
III.2.3. Etude de 3 modules en série * 2 modules en parallèle	39
III.2.3.1 Schéma de Simulation sans défaut.....	39
III.2.3.2. Défaut d'ombrage	40
III.2.3.3. Défaut de mis-match	41
III.2.3.4. Défaut de la diode by-pass	42
III.2.3.5. Résultat de simulation.....	43
III.2.4. Etude de 2 modules en série * 3 modules en parallèle.....	44
III.2.4.1 Schéma de Simulation sans défaut.....	44
III.2.4.2. Défaut d'ombrage.....	45
III.2.4.3. Défaut de mis-match	45
III.2.4.4. Défaut de la diode by-pass	46
III.2.4.5. Résultat de simulation.....	47
III.3. Conclusion	49
IV. Conclusion générale	51
V. Bibliographies :.....	53

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Le rayonnement solaire.....	5
Figure I.2. Type de décomposition des ondes.....	6
Figure I.3. Longueur d'onde	7
Figure I.4. Phénomène photovoltaïque.....	9
Figure I.5. Cellule en silicium poly cristallin.....	9
Figure I.6. Cellule en silicium monocristallin	10
Figure I.7. Cellule silicium amorphe en couche mince.....	11
Figure I.8. Cellule multi jonction.....	12
Figure I.9. Cellule idéale.....	13
Figure I.10. Point de puissance maximale.....	15
Figure I.11. Courbe caractéristique d'une cellule Pv	15
Figure I.12. Courbe d'influence de la température.....	18
Figure II.1. Défaut de la bulle d'air.....	20
Figure II.2. Défaut de fissures dans les cellules.....	20
Figure II.3. Défaut de revêtement anti -reflet (ARC).....	21
Figure II.4. Défaut de Points Chauds (Hot spots).....	22
Figure II.5. . Défaut de l'augmentation de la résistance série (R_s)	23
Figure II.6. la courbe I(V) de défaut d'augmentation de la résistance série R_s	23
Figure II.7. Défaut de l'ombrage partiel.....	25
Figure III.1 Simulation de 6 modules en série.....	28
Figure III.2. Simulation de 6 modules en série ombragée.....	29
Figure III.3 Simulation de 6 modules en série avec défaut diode by-pass.....	30
Figure III.4 Simulation de 6 modules en série avec défaut mismatch.....	31
Figure III.5. Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension.....	32
Figure III.6. Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension.....	32
Figure III.7. Simulation de 6 modules en parallèle.....	33
Figure III.8. Simulation de 6 modules en parallèle ombragée.....	34

LISTE DES FIGURES

Figure III.9. Simulation de 6 modules en parallèle avec défaut de la diode by-pass.....	35
Figure III.10. Simulation de 6 modules en parallèle avec défaut de mis-match.....	36
Figure III.11. Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension.....	37
Figure III.12. Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension.....	37
Figure III.13. Simulation de 3 modules en série * 2 modules en parallèle.....	38
Figure III.14. Simulation de 3 modules en série * 2 modules en parallèle ombragée.....	39
Figure III.15. Simulation de 3 modules en série * 2 modules en parallèle avec défaut mis-match.....	40
Figure III.16. Simulation de 3 modules en série * 2 modules en parallèle avec défaut de la diode by-pass.....	41
Figure III.17. Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension.....	42
Figure III.18. Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension.....	42
Figure III.19. Simulation de 2 modules en série * 3 modules en parallèle.....	43
Figure III.20. Simulation de 2 modules en série * 3 modules en parallèle ombragée.....	44
Figure III.21. Simulation de 2 modules en série * 3 modules en parallèle avec défaut mis-match.....	45
Figure III.22. Simulation de 2 modules en série * 3 modules en parallèle avec défaut de la diode by-pass.....	46
Figure III.22. Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension.....	46
Figure III.23. Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension.....	47

Liste des Tableaux

Tableau I.1 Type des matériaux utilisé pour la fabrication des cellules PV.....	13
--	----

Liste des acronymes et abréviations

Liste des acronymes et abréviations

Acronymes	Signification	Unité
I _{cc}	Densité de Courant de Court-circuit	mA/cm ²
V _{co}	Tension de Circuit Ouvert	V
η	Rendement électrique	%
FF	Facteur de forme	%
P _m	Puissance maximale fournie par une cellule	W.m ⁻²
V _m	Tension maximale	V
T	Température	K
R _{sh}	Résistance shunt	Ω.cm ²
R _s	Résistance en série	Ω.cm ²
α	Coefficient d'absorption	cm ⁻¹
E _g	Energie de bande interdite d'un matériau	eV
I _m	Courant maximale	A
hν	Énergie de photon	eV
n et p	Densités des porteurs.	C/cm
q	La charge élémentaire d'électrons	A. s
V	Le potentiel	V
E _g	Energie de gap	S.m ⁻¹
I _{irr}	L'irradiation	W/m ²
λ	Langueur d'onde	Nm
P _c	Puissance crête	Wc
P _p	Puissance peak	Wp

Introduction générale

Introduction générale

Selon l'accord international sur le climat adopté à l'issue de la COP 26 à Paris [2021], les inquiétudes climatiques et la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre poussent les chercheurs à chercher des moyens plus écologiques de produire de l'électricité. Un autre problème est celui des réserves limitées d'énergie fossile et fissile. [1]

Par conséquent, on dit que l'avenir des énergies renouvelables est élevé et parmi ces énergies, l'énergie solaire est une source d'énergie propre et puissante avec d'autres énergies renouvelables et son principe c'est de convertir la lumière en électricité à l'aide de cellules solaires basées sur un effet appelé « effet photovoltaïque ».

La production d'électricité à partir de cellules solaires en silicium à jonction unique il s'agit d'une technologie mature avec un record d'efficacité actuelle de 27,6 %, ce qui est faible par rapport à l'énergie émise par le soleil pendant le fonctionnement et est susceptible de diverses perturbations et anomalies. Ces résultats défavorables réduisent la productivité et réduisent la rentabilité des installations, sans parler des coûts de maintenance pour remettre le système sur les rails. [2]

La fiabilité du système PV joue un rôle très important. En effet le système d'énergie solaire exposé à divers sollicitations (humidité, température, vibrations, etc.). Cela impacte gravement le fonctionnement et la sécurité du système en question il est donc fondamental de pouvoir mettre en place une surveillance stricte et détectable. Dans ce cas, une combinaison de techniques de diagnostic, de détection et de localisation des erreurs pour assurer des performances optimales du système réduit les coûts de maintenance et surtout augmente la productivité en augmentant la disponibilité et les performances de l'installation.

Notre mémoire comporte trois chapitres, dans la première partie nous avons présenté des généralités sur les cellules photovoltaïques (définition, étapes de fonctionnement, type des matériaux utilisés).

Le deuxième chapitre nous avons parlé sur les différents types des défauts dans les systèmes photovoltaïques en générales avec leur définitions et illustration.

Dans le dernier chapitre, nous avons utilisé logiciel de simulation Matlab Simulink dans le but de simuler les trois défauts les plus fréquents dans les systèmes photovoltaïques (défaut d'ombrage, défaut de la diode by-pass et le défaut de mismatch) .Et on a simulé six modules par quatre configurations et on a déterminée l'influence de ces défauts sur les systèmes photovoltaïques et à la fin le travail a été terminé par une conclusion générale.

Chapitre I :

Généralités sur les cellules photovoltaïques

Chapitre 1 : Généralités sur les cellules photovoltaïques

I. Introduction

L'énergie renouvelable est une énergie aux ressources illimitées parmi lesquelles il existe plusieurs types de sources d'énergie renouvelables : hydroélectricité, énergie éolienne, énergie de la biomasse, production d'électricité photovoltaïque... Dans ce chapitre je vais vous donner un aperçu de la définition des cellules solaires et nous aborderons le rayonnement solaire, l'effet photovoltaïque. Enfin, nous discutons des types de matériaux utilisés pour fabriquer chaque génération de cellules solaires.

I.1. Le soleil

Malgré sa distance considérable (149,6 x 10⁶ kilomètres) de la terre, le soleil reste à ce jour la source d'énergie la plus importante. Gigantesque sphère incandescente composée principalement de gaz ionisé, c'est le plus gros objet du système solaire il est assez grand pour contenir plus d'un million de terres.

Le soleil émet environ 90 x 10¹⁵ GW de puissance sous forme de rayonnement mais les couches terrestres ne reçoivent que 180 x 10⁶ GW. Le rayonnement solaire arrivant sur terre subit des changements majeurs principalement dus à des phénomènes d'absorption et de diffusion et à partir de là nous introduisons le concept d'éclairement comme la densité de puissance qu'une surface exposée à un flux lumineux reçoit dans des conditions atmosphériques optimales cette densité de puissance atteint 1 kW/m² sur un site à 1 mètre d'altitude. [3]

L'Algérie bénéficie d'environ 3200 heures d'ensoleillement par an et bénéficie de conditions climatiques propices à l'application de la technologie solaire. Cette énergie est abondante sur toute la surface de la terre et est fortement atténuée lorsqu'elle traverse l'atmosphère, mais la quantité restante lorsqu'elle atteint le sol est encore importante [3].

I.1.1. Rayonnement solaire

Le soleil émet $6.3 \cdot 10^7$ W/m² d'énergie lumineuse au-dessus de l'atmosphère, l'énergie lumineuse du soleil est estimée avec précision à 1366 W/m² et c'est l'irradiation ou le rayonnement solaire instantané reçu à un moment donné au-dessus de l'atmosphère terrestre à incidence normale (c'est-à-dire le plan perpendiculaire à la direction du soleil). Cette énergie

Chapitre 1 : Généralités sur les cellules photovoltaïques

tombant en ligne droite vers la terre n'atteint pas complètement la terre car elle est convertie par absorption et diffusion lors de son passage dans l'atmosphère [4].

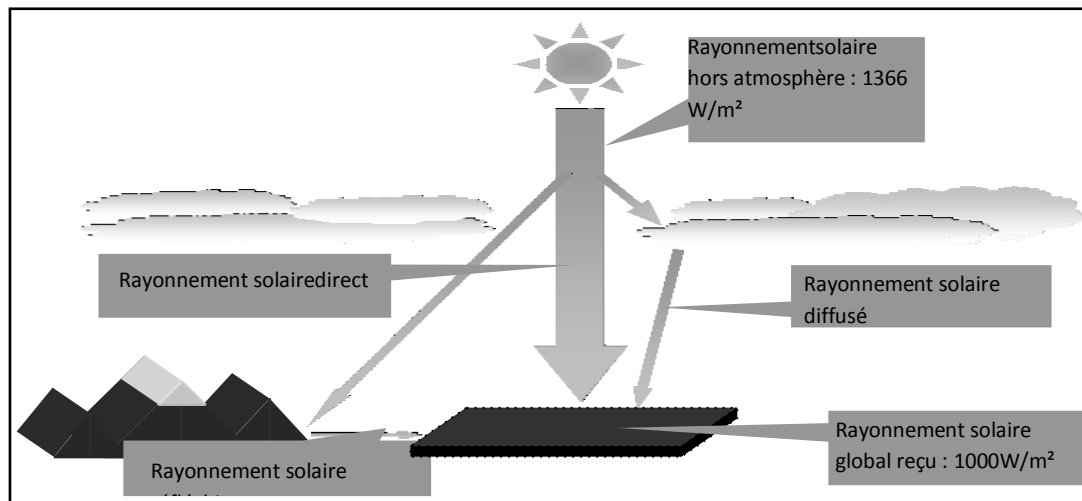


Figure I.1. Le rayonnement solaire [4].

I.1.2. Types de rayonnements

- Le **rayonnement solaire direct** provient directement du soleil sans être diffusé par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux et peuvent être focalisés par un miroir.
- Le **rayonnement solaire réfléchi** est la partie réfléchi par le sol cela dépend de l'environnement du site par exemple la neige reflète de nombreux rayons.
- Le **rayonnement solaire diffusé** est la lumière diffusée par l'atmosphère (couche d'ozone, nuages, oxygène, gaz, poussière, vapeur d'eau, etc.). La diffusion est le phénomène de division d'un rayon parallèle en plusieurs rayons se déplaçant dans toutes les directions dans le ciel les gouttelettes d'eau (nuages) et les molécules d'air et la poussière provoquent cette explosion de rayons solaires.
- Le **rayonnement solaire global** est la somme de ces différents rayonnements solaires. Par temps clair et sans nuages, il atteint des valeurs de 1000 W/m^2 . Ce rayonnement peut être mesuré avec un pyranomètre ou un solarimètre [5].

Chapitre 1 : Généralités sur les cellules photovoltaïques

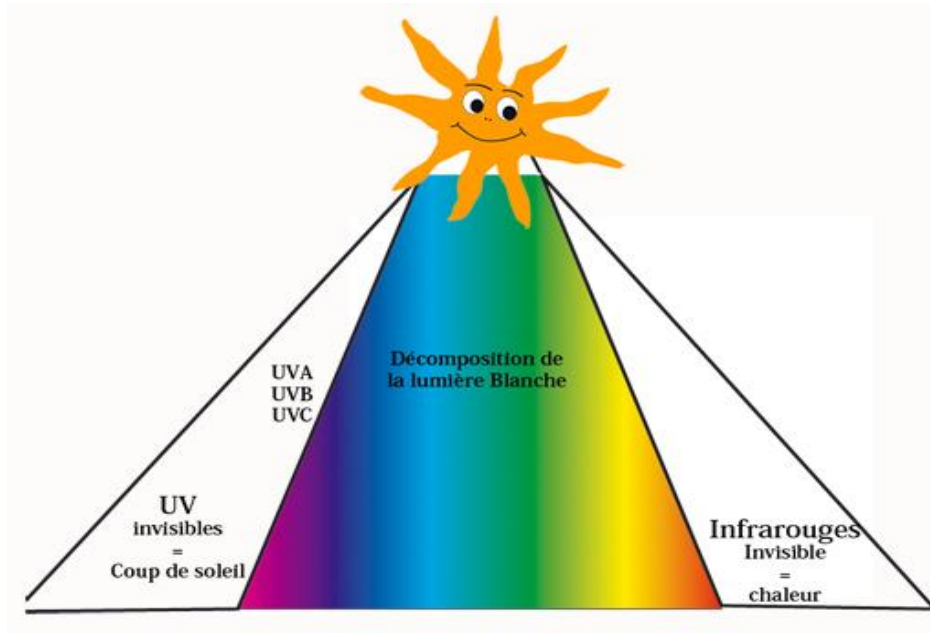


Figure I.2. Type de décomposition des ondes [5].

Les rayons à ondes longues qui atteignent la surface de la Terre sont principalement :

- Ultraviolet A et B (UVA et UVB) - environ 56 %
- Lumière visible - environ 39 %
- Infrarouge (IR) - environ 5 % [5].

I.1.3.Le spectre solaire

La lumière du soleil se compose de toutes sortes de rayonnements de différentes couleurs caractérisés par différentes longueurs d'onde les photons particules de lumière constituent ce rayonnement électromagnétique. En 1924, Louis de Broglie confirme à la fois la nature particulaire et ondulatoire de la lumière et l'existence de particules (photons) et la propagation d'ondes avec une fréquence vibratoire et une longueur d'onde.

Le rayonnement émis par le soleil correspond à celui d'un corps noir à une température de 6000°C.L'irradiance au-dessus de l'atmosphère est de 1,35 kW/m² avec un spectre centré à $\lambda=0,48 \mu\text{m}$. En surface la densité de puissance n'est que de 0,9 kW/m²,

Chapitre 1 : Généralités sur les cellules photovoltaïques

principalement due à l'absorption par l'ozone l'eau et le dioxyde de carbone. De plus, le spectre n'est plus continu, mais présente des bandes d'absorption.

Pour mesurer les influences atmosphériques, on utilise une masse d'air définie par $AM=1/\cos\alpha$. Où α est l'angle que fait la direction du soleil par rapport à la verticale. AM0 est utilisé pour indiquer les conditions au-dessus de l'atmosphère. AM 1.5 atteint le sol par temps clair (une zone de 1 mètre carré formant un angle de 48° avec l'équateur). On distingue également les spectres AM1.5D et AM1.5G, correspondant respectivement au flux direct et au flux global (flux direct et flux divergent) la figure 5 montre ces spectres. Il montre quelques semi-conducteurs utilisés pour des applications photovoltaïques et leurs énergies de gap correspondantes [6].

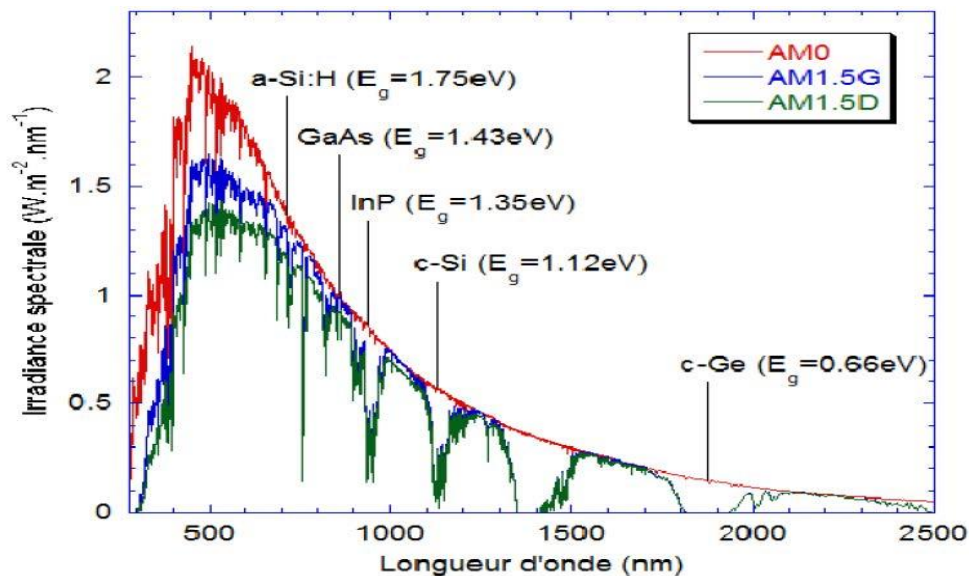


Figure I.3. Longueur d'onde [6].

I.2. Conversion photovoltaïque

I.2.1. Définition

La conversion de l'énergie solaire est le processus de conversion de l'énergie photonique provenant du soleil sous forme d'ondes électromagnétiques en énergie électrique. Pour obtenir ce comportement, un dispositif optoélectronique adapté appelé « cellule solaire » ou « cellule solaire » doit être mis en œuvre [7].

Chapitre 1 : Généralités sur les cellules photovoltaïques

I.2.2. Effet photovoltaïque

Le terme photovoltaïque provient de « photo » qui signifie lumière et de « volta » qui signifie électricité désignant donc la production d'électricité à partir de lumière. L'effet photovoltaïque est un processus de transformation de l'énergie émise par le soleil sous forme de photons en énergie électrique à l'aide de cellules solaires [7].

L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons d'un matériau qui peut être un métal ou un semi-conducteur lorsqu'il est éclairé. Les électrons ne sont émis que si la fréquence de la lumière est suffisamment élevée (la fréquence limite dépend du matériau) alors que leur nombre qui détermine l'intensité du courant est proportionnel à l'intensité de la source lumineuse. Deux effets sont à distinguer : l'émission d'électrons proprement dite et la modification de la conductivité du matériau qui donne l'effet photovoltaïque.

I.2.3. Principe de fonctionnement

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de transformer directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité. Cette conversion se produit par la génération et le transfert de charges positives et négatives dans le matériau semi-conducteur sous l'influence de la lumière. Un matériau semi-conducteur est constitué de deux parties : une région riche en électrons (dopée n) et une région pauvre en électrons (dopée p) les électrons excédentaires dans le matériau de type n diffusent dans le matériau de type p lorsque la région de type n'entre en contact avec la région de type p.

Les régions initialement dopées n sont chargées positivement et les régions initialement dopées p sont chargées négativement. Par conséquent, un champ électrique est généré entre eux, ce qui repousse les électrons dans la zone n et les trous dans la direction de la zone p. Une jonction (appelée pn) s'est formée. Les diodes sont obtenues en ajoutant des contacts métalliques aux régions n et p lorsque la jonction est illuminée les photons d'énergies supérieures ou égales à la largeur de la bande interdite (ou gap qui représente la région inaccessible aux électrons) partagent leur énergie avec les atomes. Chacun déplace un électron de la bande de valence vers la bande de conduction laissant un trou mobile créant une paire électron-trou lorsqu'une charge est appliquée aux pôles de la cellule, les électrons de la zone n se connectent aux trous de la zone p via une connexion externe créant une différence de potentiel et permettant au courant de circuler [7].

Chapitre 1 : Généralités sur les cellules photovoltaïques

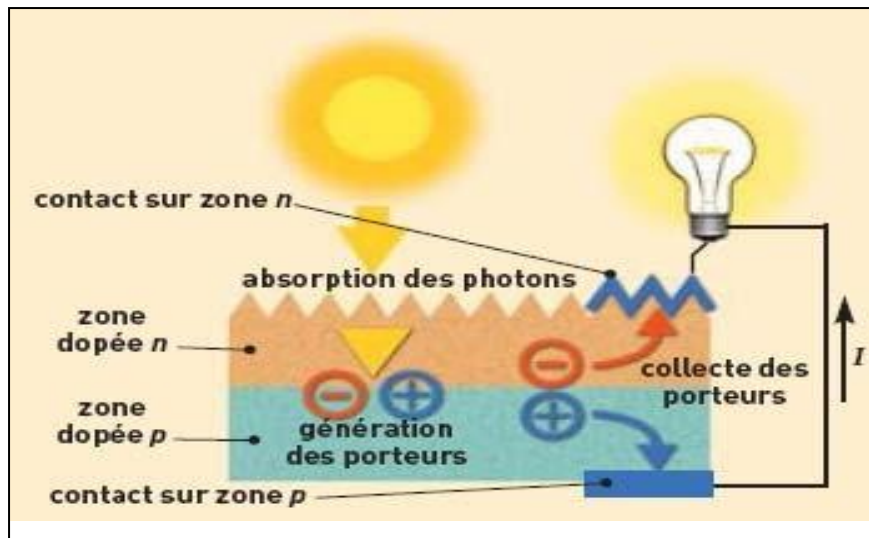


Figure I.4. Phénomène photovoltaïque [7].

I.2.4. les différentes technologies photovoltaïques

❖ Cellule en silicium poly cristallin

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.

❖ Avantage :

- Bon rendement (environ 100 Wc/m^2)
- Durée de vie importante (+/- 30 ans)
- Moins cher que le monocristallin

❖ Inconvénients :

- Rendement faible sous un faible éclaircissement [8].

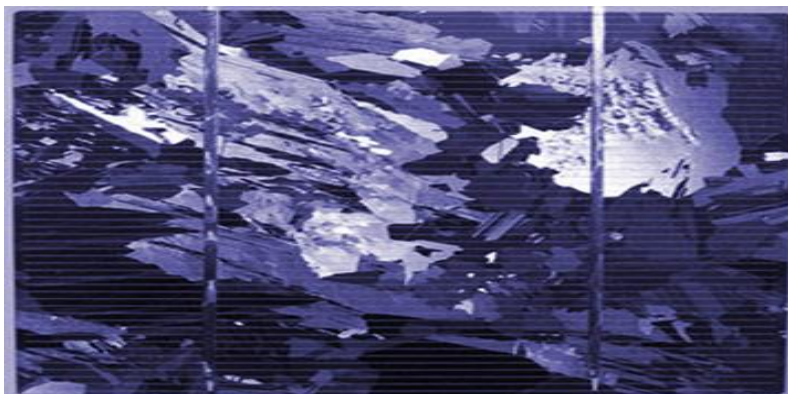


Figure I.5. Cellule en silicium poly cristallin [8].

Chapitre 1 : Généralités sur les cellules photovoltaïques

❖ Cellule en silicium monocristallin

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie 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.

❖ Avantages :

- Meilleur rendement que le poly cristallin (environ 150 Wc/m²)
- Durée de vie importante (+/- 30 ans)

❖ Inconvénients :

- Plus cher que le poly cristallin
- Rendement faible sous un faible éclairement [8].

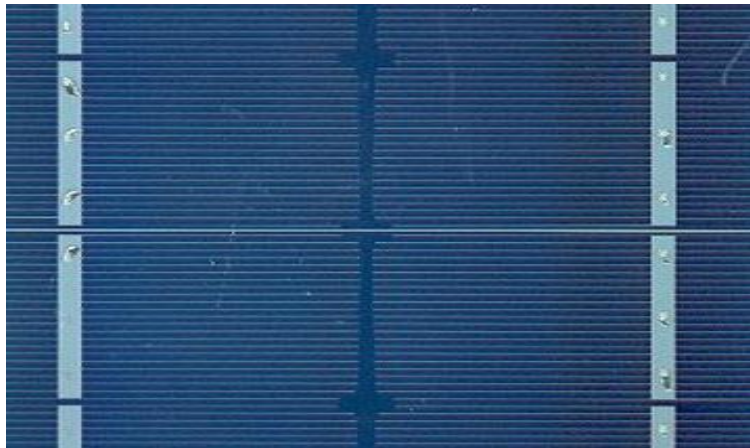


Figure I.6. Cellule en silicium monocristallin [8].

❖ Cellule silicium amorphe en couche mince

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé ou marron. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires".

❖ Avantages

- Fonctionnent avec un éclairement faible
- Bon marché par rapport aux autres types de cellules
- Moins sensible aux températures élevées

Chapitre 1 : Généralités sur les cellules photovoltaïques

- Souple
- ❖ **Inconvénients**
 - Rendement faible en plein soleil (environ 60 Wc/m^2), les cellules en couche mince nécessitent une surface plus importante pour atteindre les mêmes rendements que les cellules épaisses
 - Durée de vie courte (± 10 ans), performances qui diminuent sensiblement avec le temps. [8]

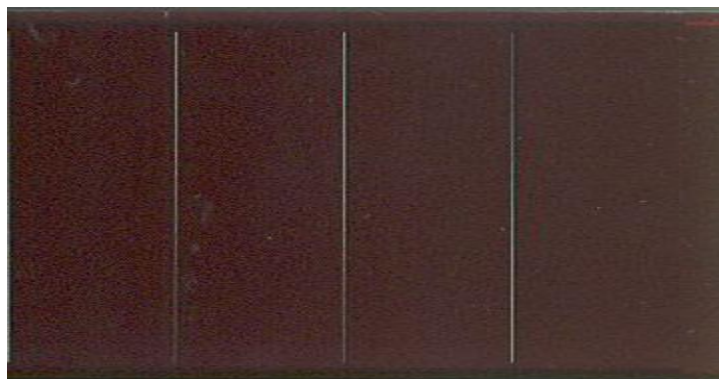


Figure I.7. Cellule silicium amorphe en couche mince [8].

❖ Cellule sans silicium en couche mince CIS / CIGS

Les cellules CIS représentent une nouvelle génération de cellules solaires sous forme de films minces, de type CIS (cuivre, indium, sélénium) ou CIGS (cuivre, indium, gallium et sélénium). Les matières premières nécessaires à la fabrication de ces cellules sont plus faciles à se procurer que le silicium utilisé dans les cellules photovoltaïques classiques (bien que ce dernier soit déjà très abondant sur terre). De plus, leur efficacité de conversion énergétique est la plus élevée à ce jour pour des cellules photovoltaïques en couche mince [9].

❖ Avantages

- Meilleurs rendements par rapport aux autres cellules photovoltaïques en couche mince
- La cellule peut être construite sur un substrat flexible

❖ Inconvénients

- Les cellules en couche mince ont un rendement plus faible que les cellules "épaisses"

❖ Cellule multifonction

Chapitre 1 : Généralités sur les cellules photovoltaïques

Les cellules multi-jonction sont composées de différentes couches qui permettent de convertir différentes parties du spectre solaire et ainsi d'obtenir les meilleurs rendements de conversion.

❖ Avantages

- Rendement inégalé

❖ Inconvénients

- Pas ou peu d'applications commerciales

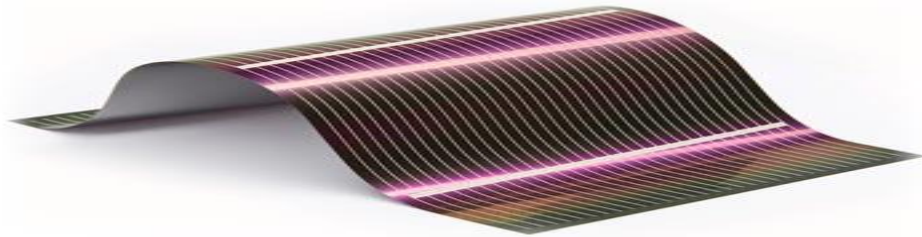


Figure I.8. Cellule multi jonction [9].

I.3. Cellule photovoltaïque

Une cellule solaire est un appareil électronique conçu pour convertir la lumière en électricité et sa structure est basée sur une jonction PN. En d'autres termes il se compose de deux couches, la couche P et la couche N.

Les cellules solaires sont basées sur du silicium semi-conducteur et sont des convertisseurs instantanés qui fournissent de l'énergie électrique lorsqu'elles reçoivent de l'énergie solaire sous forme de rayonnement. Il fonctionne alors comme un générateur de courant continu [10].

I.4. Type des matériaux utilisé pour la fabrication des cellules PV

Le tableau I.I ci-dessous montre les type des matériaux utilise pour la fabrication des cellule pv et on retrouve 3 générations des cellule (classique, couche minces et une génération a base des matériaux organique...) et chaque cellule possède un rendement différent par rapport à le matériau utilise leur de la fabrication.

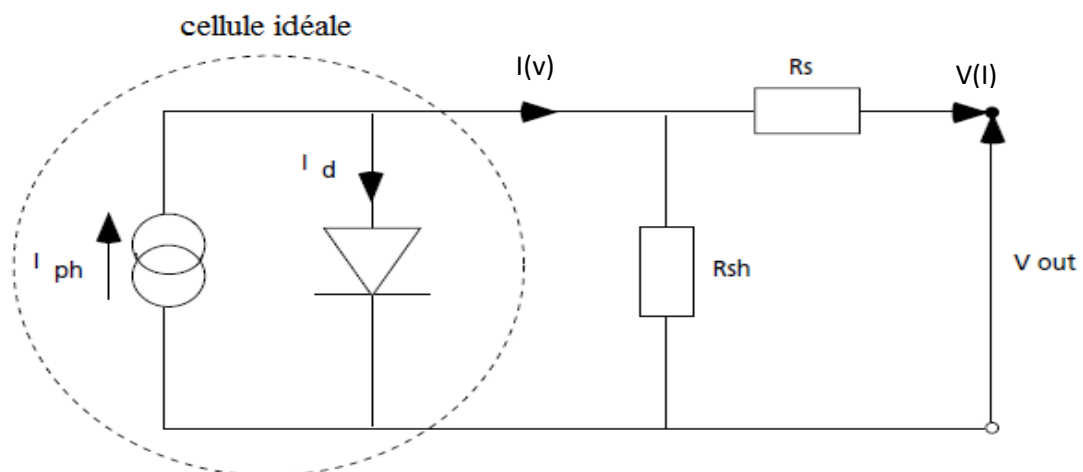
Chapitre 1 : Généralités sur les cellules photovoltaïques

Tableau I.1 Type des matériaux utilisé pour la fabrication des cellules PV [10].

Génération	Type de matériaux	
1 ^{ère} génération : Silicium cristallin « classique »	A base de Silicium	Monocristallin (Mono-Si)
		Polycristallin (Poly-Si)
		Polycristallin ruban (Poly-Si)
2 ^{ème} génération : Couches minces	A base de Silicium	Amorphe (a-Si)
		Microcristallin (μ -Si)
		Micro morphe (μ -Si/a-Si)
	Autres matériaux	Cuivre-Indium- Sélénium
		Tellure de Cadmium
		Cellules à colorant (TiO ₂)
3 ^e génération :	Organiques	
	Grätzel	
	Pérovskites	

I.5. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

Le schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque peut être décrit par le modèle à une exponentielle



Chapitre 1 : Généralités sur les cellules photovoltaïques

Figure I.9. Cellule idéale [11].

-Pour la cellule idéale:

$$I(V) = I_{ph}(\varnothing) - I_d(V) \quad (1)$$

Où

$I(V)$: courant disponible

V : tension aux bornes de la jonction

$I_{ph}(\varnothing)$: courant produit par la photopile, ce courant est proportionnel au flux lumineux (\varnothing).

$$I_d(V) = I_s \left(\exp \frac{V}{\alpha V_t} - 1 \right) \quad (2)$$

$V_t = kT/q$; $V_t = 26$ mV à $T = 300$ K pour le silicium.

α : Facteur technologique dépendant du type de diode et de la manière dont elle est fabriquée ; $1 < \alpha < 2$ pour les diodes

I_s : courant de saturation inverse de la diode

-Une photopile comporte en réalité une résistance série (R_s) et une résistance en dérivation ou shunt (R_{sh}).

$$I = I_{ph} - I_s \exp \left(\frac{q(V + R_s I)}{\alpha K T} \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (3)$$

Ces résistances auront une certaine influence sur la caractéristique $I=f(V)$ de la photopile :

- la résistance série (R_s) est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles.
- la résistance shunt (R_{sh}) est due à un courant de fuite au niveau de la jonction elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée [11].

Chapitre 1 : Généralités sur les cellules photovoltaïques

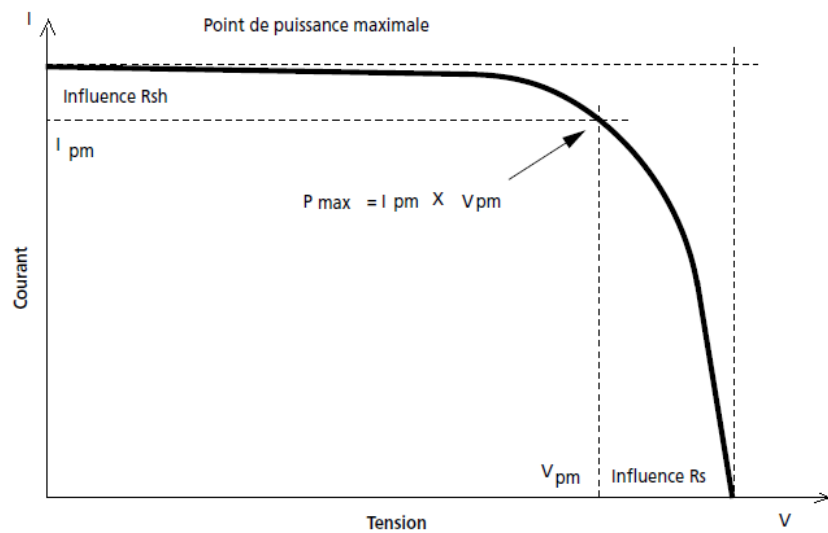


Figure I.10. Point de puissance maximale [11].

- La caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque

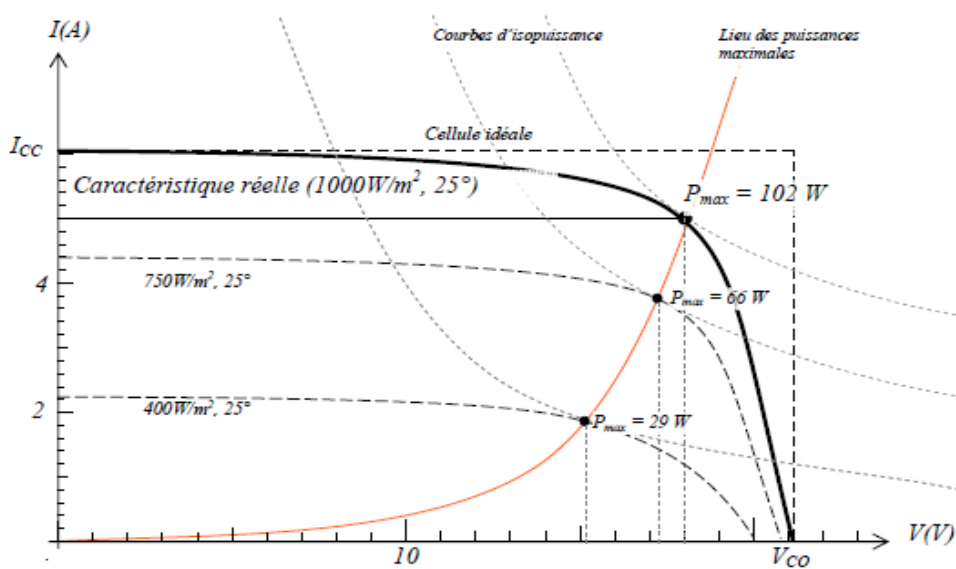


Figure I.11. Courbe caractéristique d'une cellule Pv [11].

La courbe caractéristique d'une cellule PV représente la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension aux bornes de la cellule. Cette courbe est établie dans des conditions ambiantes de fonctionnement données. En effet, le fonctionnement des cellules photovoltaïques dépend des conditions d'ensoleillement et de température à la surface de la cellule. Ainsi, chaque courbe courant-tension correspond à des conditions spécifiques de

Chapitre 1 : Généralités sur les cellules photovoltaïques

fonctionnement. Si par exemple la température de la surface évolue, la courbe n'est plus la même.

- Grandeurs caractéristiques

a. Tension de circuit ouvert V_{CO} (pour $I_{cc} = 0$)

On l'obtient en branchant directement un voltmètre aux bornes de la cellule.

b. Courant de court-circuit I_{CC} (pour $V_{cc} = 0$) : tension nulle correspondant au courant maximum. On obtient sa valeur en branchant un ampèremètre aux bornes de la cellule.

c. La puissance maximale d'une cellule

Une cellule PV possède un point pour lequel sa puissance débitée est maximum. Ce point est tangent à une courbe d'iso puissance. On la nomme P_{max} .

d. Facteur de forme

On appelle facteur de forme f le rapport entre la puissance maximum fournie par la cellule P_{max} , dans des conditions d'éclairement, de température et de vitesse de circulation de l'air ambiant donnés, et le produit du courant de court-circuit I_{cc} par la tension de circuit ouvert V_{co} (c'est à dire la puissance maximale d'une cellule idéale) :

$$ff = \frac{P_{max}}{V_{co} * I_{cc}} \quad (4)$$

e. La puissance crête d'une cellule PV

Dans le cas d'utilisation de photopiles avec le rayonnement solaire, la puissance crête d'une photopile, notée W_c (Watt crête) ou W_p (Watt peak), représente la puissance électrique maximum délivrée dans les conditions suivantes dites conditions standard :

- Éclairement solaire de $1 \text{ kW} / \text{m}^2$
- Température de la cellule PV égale à $+ 25 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Répartition spectrale du rayonnement dit AM.1.5 [11].

f. Influence de la température

L'influence de la température est non négligeable sur une cellule photovoltaïque. Pour le silicium, lorsque la température augmente, le courant augmente d'environ $0,025 \text{ mA/cm}^2/^\circ\text{C}$ alors que la tension décroît de $2,2 \text{ mV}/^\circ\text{C}/\text{cellule}$. Cela se traduit par une

Chapitre 1 : Généralités sur les cellules photovoltaïques

baisse de puissance d'environ 0,4%/°C. Cette influence devra être prise en compte lors du dimensionnement du générateur photovoltaïque [12].

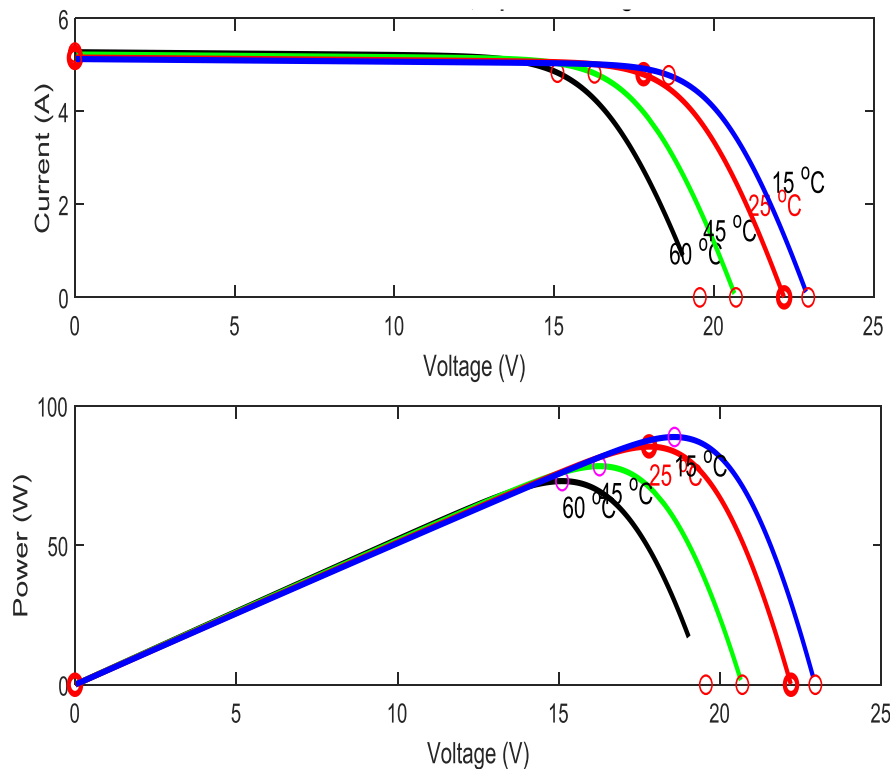


Figure I.12. Courbe d'influence de la température.

L'influence de la température est très significative, ce qui nous conduit à une considération soigneuse, lors de la mise en marche des systèmes photovoltaïques. Sur la Figure1.12, on illustre l'effet de la température sur le comportement des cellules photovoltaïques. Elle montre une diminution considérable de la tension électrique délivrée avec l'augmentation de la température. Tandis que, le courant gagne quant à lui de l'intensité

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les concepts de base de l'énergie photovoltaïque (l'effet photovoltaïque et son principe de fonctionnement) et également défini une cellule photovoltaïque commune. Enfin, nous discutons des différents matériaux utilisés pour fabriquer chaque génération de cellules solaires et de leurs propriétés électriques.

Chapitre II :

Caractérisations des défauts des systèmes photovoltaïques

Chapitre II : Caractérisations des défauts des systèmes photovoltaïques

II.1. Introduction

Cette partie décrit diverses erreurs qui se produisent dans le système "PV". Ces défauts peuvent être causés par des défauts de fabrication ou par des conditions climatiques ou de vieillissement qui affectent la puissance de sortie des modules PV. Notre objectif est de présenter les principales lacunes et défaillances des systèmes photovoltaïques.

II.2. Les différents types des défauts dans les systèmes photovoltaïques

II.2.1 La bulle d'air

Les bulles sont principalement causées par des réactions chimiques qui libèrent des gaz piégés dans les modules PV. Ils forment une chambre à air avec une température de gaz inférieure à celle des cellules adjacentes. Cependant, la chambre à air altère la capacité de dissipation de la chaleur des cellules voisines, de sorte qu'elle surchauffe et devient plus chaude que les cellules voisines. De plus, les microfissures sur la surface de la cellule solaire forment des bulles d'air sur la surface avant, ce qui réduit le rayonnement atteignant la cellule PV, extrait la lumière et augmente la réflexion et la cloque peut se rompre et endommager la surface d'étanchéité postérieure, permettant la pénétration d'humidité (Kaplan, 2012). Trois cas sont illustrés à la figure II-1 un module avec de nombreuses bulles au dos ils apparaissent généralement au centre de la cellule (Fig. II-1.a). Cela peut se produire en raison d'un délaminage à haute température. Une image de fond IR (Figure II-1.b) est obtenue à partir d'un module PV contenant des bulles d'air la face arrière où les bulles sont présentes à une température plus basse, indiquant une température de cellule plus élevée en raison d'une moindre dissipation de chaleur de la cellule. Des bulles d'air sur la face avant peuvent réduire la lumière qui peut atteindre la cellule solaire et provoquer un ombrage partiel, en plus d'effets de chauffage excessifs [13].

Chapitre II : Caractérisations des défauts des systèmes photovoltaïques

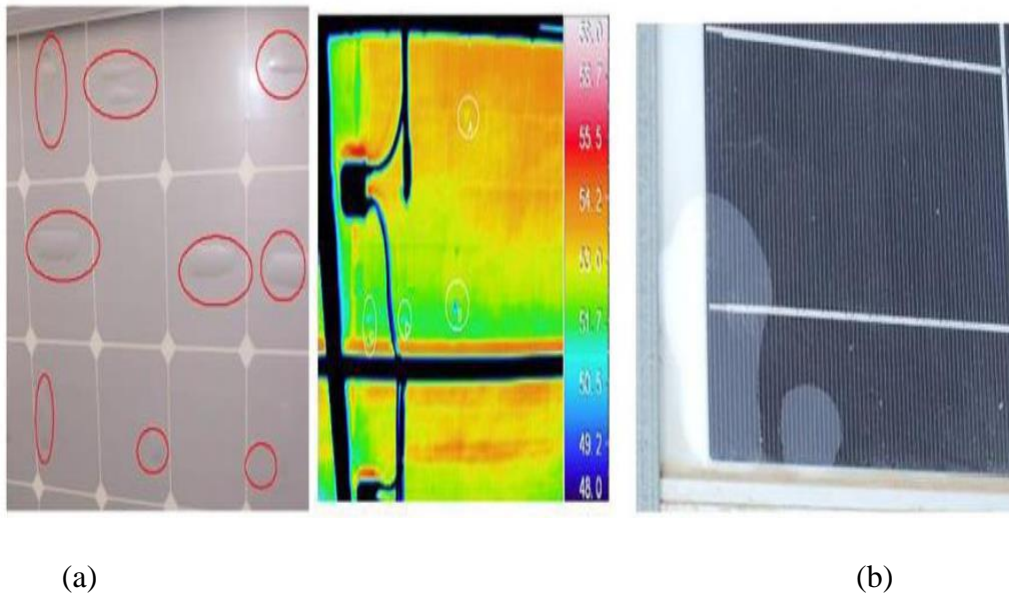


Figure II.1. Défaut de la bulle d'air [13].

II.2.2 Fissures dans les cellules

La rupture de cellule se produit lorsqu'une cellule solaire est soumise à une force externe ou à une contrainte thermique. Aujourd'hui de nombreux fabricants de PV tentent de minimiser l'épaisseur de leurs cellules solaires afin d'économiser le silicium et de réduire les coûts. L'épaisseur est passée de 300 μm à moins de 200 μm et dans certains cas à moins de 100 μm . la surface de la cellule solaire a été augmentée à 210 mm x 210 mm. Cette réduction d'épaisseur et cette augmentation de surface ont rendu les cellules plus fragiles et sujettes à la rupture lors de la manipulation et du stockage [14].

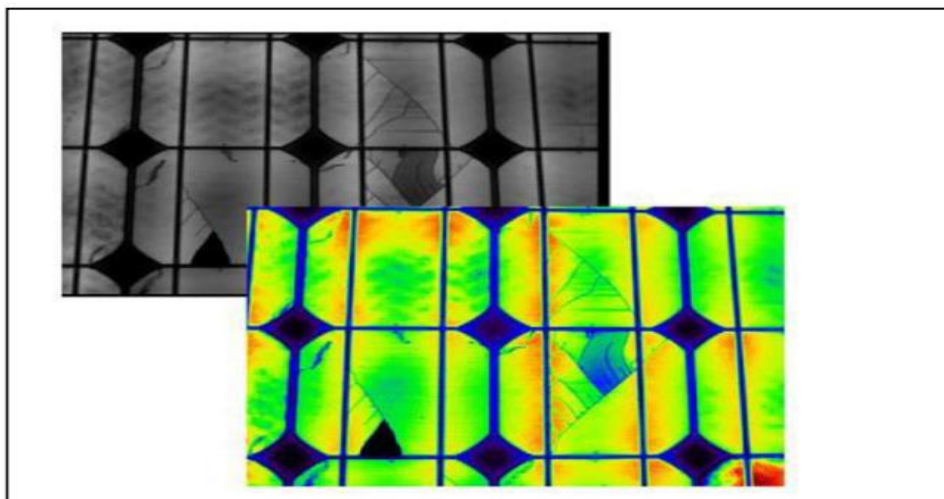


Figure II.2. Défaut de fissures dans les cellules [14].

Chapitre II : Caractérisations des défauts des systèmes photovoltaïques

II.2.3 Défaut de revêtement anti-reflet (ARC)

Outre des stratégies telles que la texturation de la surface des cellules les performances des cellules qui composent le module PV peuvent être améliorées en ajoutant des revêtements antireflets pour maximiser la lumière atteignant la zone active des cellules. Les matériaux couramment utilisés sont le dioxyde de silicium et le nitrure de silicium, et l'épaisseur est choisie de manière à ce que seule une petite fraction de la lumière s'échappe lorsque les modules PV sont exposés au soleil, le revêtement antireflet (ARC) peut recevoir un rayonnement et changer la couleur de l'ARC (Figure II.3). Les propriétés antireflets peuvent être modifiées. La lumière atteignant les cellules peut être plus faible que prévu la caractérisation infrarouge (IR) de ces modules dans diverses conditions n'a révélé aucun effet spécifique lié au changement de couleur de l'ARC. Le traçage du module affecté doit être effectué pour déterminer si cette erreur entraîne une autre erreur plus grave. Ce défaut est associé à l'oxydation ARC et est souligné est cette oxydation ARC peut entraîner une perte d'adhérence entre les cellules et le verre [14].

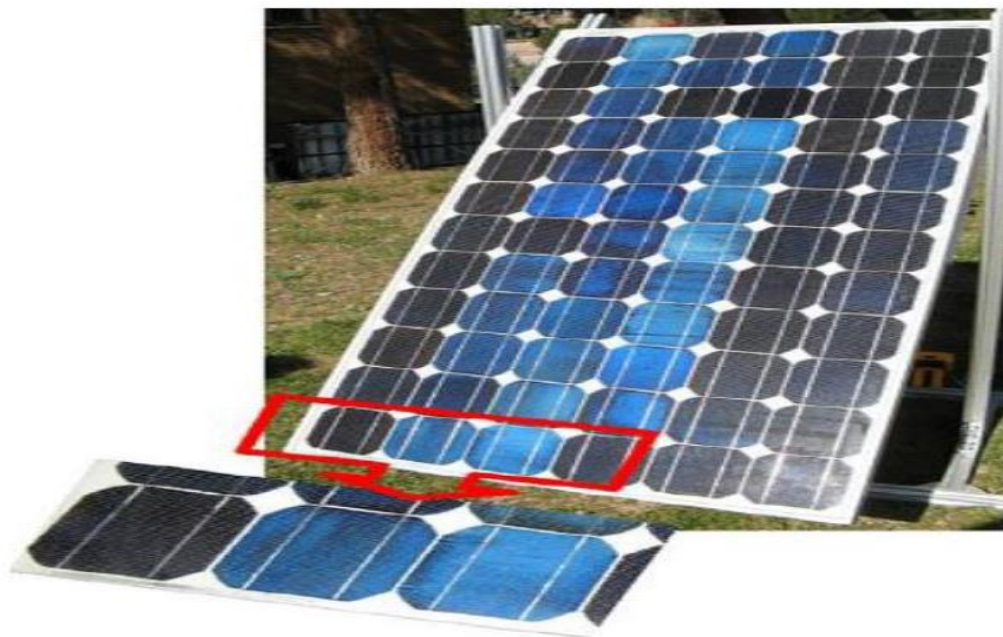


Figure II.3. Défaut de revêtement anti-reflet (ARC) [14].

Chapitre II : Caractérisations des défauts des systèmes photovoltaïques

II.2.4 Points Chauds (Hot spots)

Une cellule ombragée ou fissurée peut entraîner une surchauffe locale du module et entraîner des pertes. Ce phénomène n'est pas appelé hot spot, le phénomène des points chauds est un problème relativement courant dans les générateurs solaires d'aujourd'hui cela présente un risque à la fois pour la durée de vie du module solaire et pour une efficacité de fonctionnement réduite lorsque les cellules PV sont connectées en série le courant traversant l'ensemble est limité par le courant produit par la cellule la moins efficace ou la moins éclairée. Par conséquent les cellules qui n'ont pas reçu la même quantité de lumière que le reste de l'assemblage produiront des courants plus faibles. C'est ce qu'on appelle l'ombrage partiel, si l'un d'eux est partiellement ombragé aucun courant ne passera. La cellule captait alors le courant généré en amont et se comportait comme un récepteur. Il libère de l'énergie sous forme de chaleur qui peut dépasser 100°C et peut brûler si un point chaud est causé par un shunt (une cellule en court-circuit) ou une connexion défectueuse entre les cellules un shunt se produira également. Les points chauds sont directement liés aux défauts de fabrication des cellules ou des modules PV. De plus, si une cellule produit un courant plus faible que le reste de la cellule (appelé décalage), la cellule entière fonctionnera à une température plus élevée que le reste de la cellule ce qui entraînera un point chaud cela peut également être considéré comme un défaut de fabrication du module solaire, les points chauds (Fig. II.4) peuvent endommager ou encapsuler des cellules en un temps de fonctionnement court. [15].

Chapitre II : Caractérisations des défauts des systèmes photovoltaïques

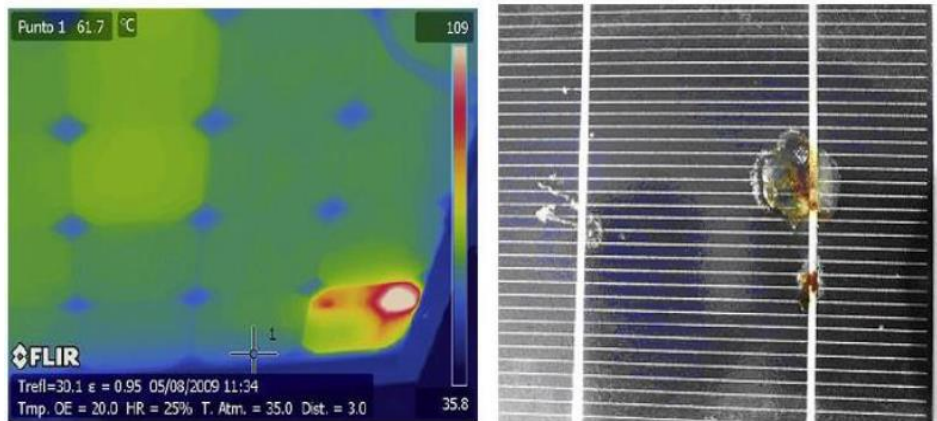


Figure II.4. Défaut de Points Chauds (Hot spots) [15].

II.2.5 L'augmentation de la résistance série (R_s)

La résistance série est l'un des facteurs les plus importants affectant les performances des cellules solaires. Généralement, une résistance série accrue est causée par des connecteurs corrodés entre deux modules PV des vis de connexion mal serrées des soudures par points corrodés entre les cellules, etc. En fonctionnement normal cette résistance de connexion est quasi nulle. La valeur de cette résistance peut augmenter dans des cas anormaux [15].

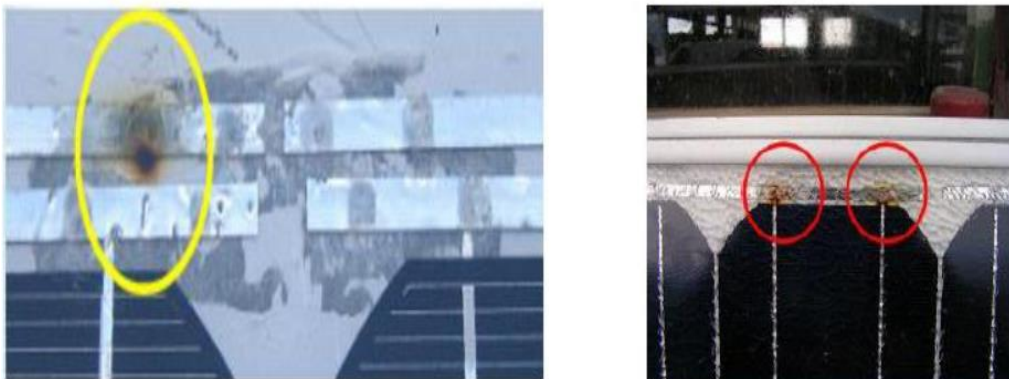


Figure II.5. Défaut de l'augmentation de la résistance série (R_s) [15].

Une forte augmentation de cette dernière entraîne une perte de tension. À certaines limites, la chute de tension devient importante et la tension du générateur devient négative et les diodes de dérivation passent en mode marche et un affaissement peut se produire la courbe. La figure ci-dessous montre le changement avec l'augmentation de la résistance série

Chapitre II : Caractérisations des défauts des systèmes photovoltaïques

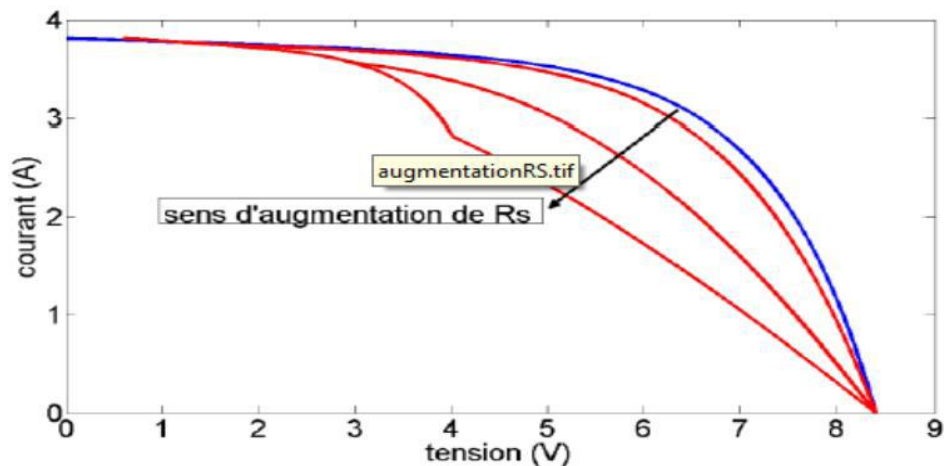


Figure II.6. la courbe I(V) de défaut d'augmentation de la résistance série R_s [15].

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.3. 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.3.1. 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 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. [17].

II.3.2. L'ombrage partiel

Chapitre II : Caractérisations des défauts des systèmes photovoltaïques

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 (hot 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 de rendement. [18].



Figure II.7. Défaut de l'ombrage partiel. [18]

II.2.3. Défauts de la diode de by-pass

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

Chapitre II : Caractérisations des défauts des systèmes photovoltaïques

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. De la même manière que pour la diode anti retour est exposée aux mêmes types de défauts envisagés pour la diode by-pass : court-circuit, circuit ouvert et diode inversée [19].

II.4 Conclusion

Ce chapitre a d'abord fourni un aperçu de la recherche en générale sur les défaillances dans les systèmes (PV) et il a été démontré que ces défaillances peuvent être largement divisées en défaillances de fabrication et en défaillances dues aux conditions climatiques et de fonctionnement. Nous savons également que la plupart des défauts dits électriques sont causés par des conditions climatiques telles qu'une résistance série accrue. Ce travail a porté sur la caractérisation de divers défauts dans les systèmes photovoltaïques.

Chapitre III :

**Simulation des défauts les plus fréquents
dans les installations PV**

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

III.1.Introduction

Un système photovoltaïque peut être sujet à divers défauts et anomalies lors de son fonctionnement qui peuvent dégrader. Les performances du système voire le rendre inutilisable. Le diagnostic des perturbations dans les systèmes Pv passe par trois points essentiels :

- **La détection** : qui consiste à prendre une décision binaire, soit le système fonctionne correctement soit une panne s'est produite,
- **La localisation** : son rôle est de déterminer l'emplacement et les composants défectueux,
- **L'identification** : elle consiste à déterminer l'allure de la panne en vue de déterminer le type de maintenance ou de correction à réaliser sur l'installation.

Dans ce chapitre, trois défauts sont simulés sur l'environnement Matlab/Simulink.

III.2. Etude de cas

III.2.1. Etude de 6 modules en série

III.2.1.1. Schéma de Simulation sans défaut

D'après les conditions efficaces pour un rendement très élevé dans les systèmes photovoltaïques la valeur de l'irradiation est à 1000 W / m^2 et la température à 25 C° , et pour les paramètres du module on a mets les valeurs suivantes :

$$P_{\max} = 85.44 \text{ W} \quad / \quad V_{\text{oc}} = 22.2 \text{ V} \quad / \quad V_{\text{mp}} = 17.8 \text{ V}$$

$$\text{Nombre des cellules} : 36 \quad / \quad I_{\text{sc}} = 5 \text{ A} \quad / \quad I_{\text{mp}} = 4.80 \text{ A}$$

Dans ce scenario, les six modules sont connectés en série avec le même niveau d'éclairement (1000 W/m^2). Ce scenario est considéré comme référence afin de pouvoir distinguer entre le fonctionnement sain est disfonctionnement des systèmes PV.

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

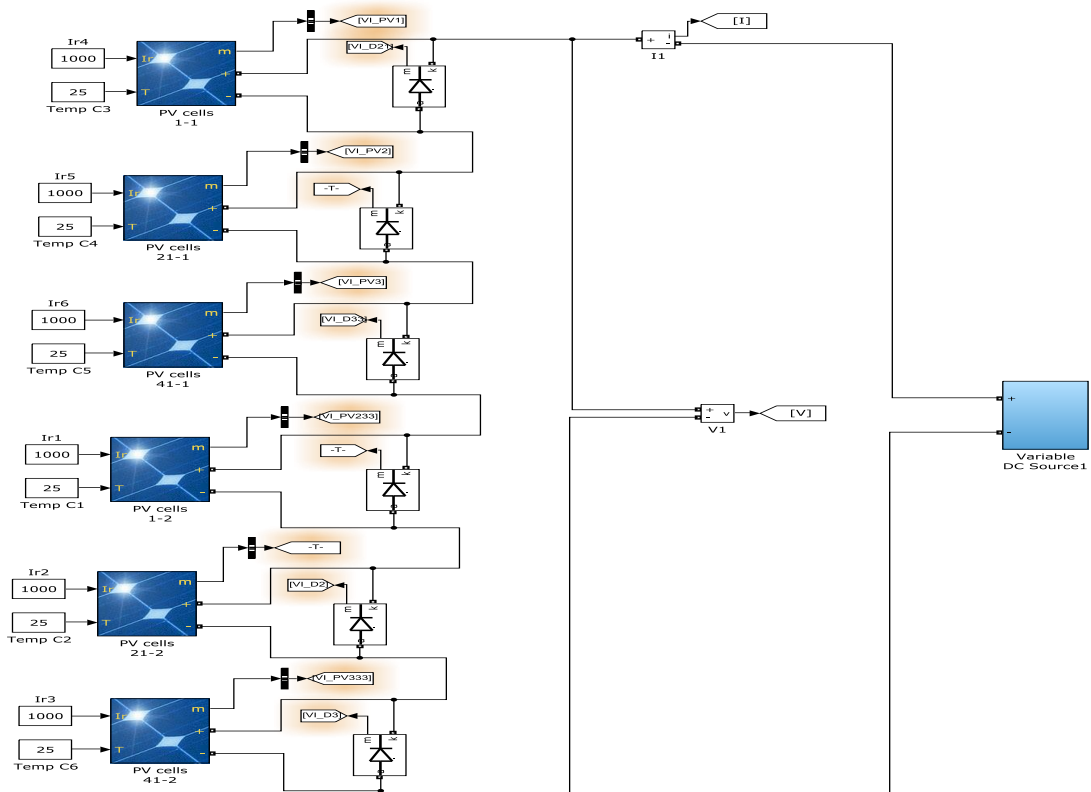


Figure III.1 Simulation de 6 modules en série.

III.2.1.2 Défaut d'ombrage

De même principe que la configuration 1 on a mets les valeurs pour chaque module comme ci-dessous :

$$P_{max} = 85.44 \text{ w} \quad / \quad V_{oc} = 22.2 \text{ V} \quad / \quad V_{mp} = 17.8 \text{ V}$$

$$\text{Nombre des cellules} : 36 \quad / \quad I_{sc} = 5 \text{ A} \quad / \quad I_{mp} = 4.80 \text{ A}$$

Et dans ce scenario, deux modules sont éclairés différemment connectes en série avec le même niveau d'éclairage ($500\text{W}/\text{m}^2$ et $300\text{W}/\text{m}^2$).

$$500\text{W}/\text{m}^2$$

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

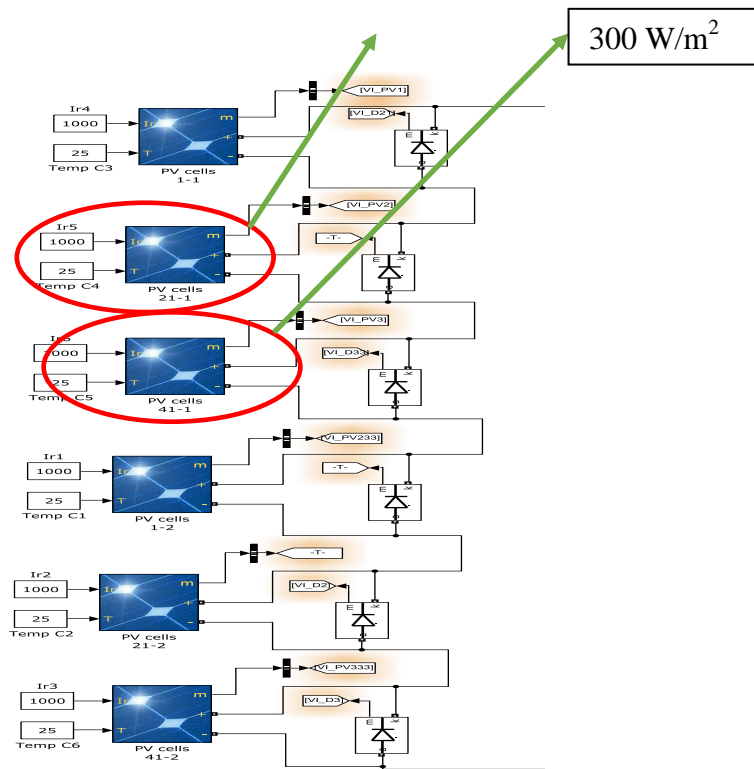


Figure III.2. Simulation de 6 modules en série ombragée.

III.2.1.3 Défaut de la diode by-pass

De même principe que la configuration 1 on a mis les valeurs pour chaque module comme ci-dessous :

$$P_{\max} = 85.44 \text{ W} \quad / \quad V_{oc} = 22.2 \text{ V} \quad / \quad V_{mp} = 17.8 \text{ V}$$

$$\text{Nombre des cellules} : 36 \quad / \quad I_{sc} = 5 \text{ A} \quad / \quad I_{mp} = 4.80 \text{ A}$$

Dans ce scénario, une diode by-pass d'un module PV est court-circuitée.

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

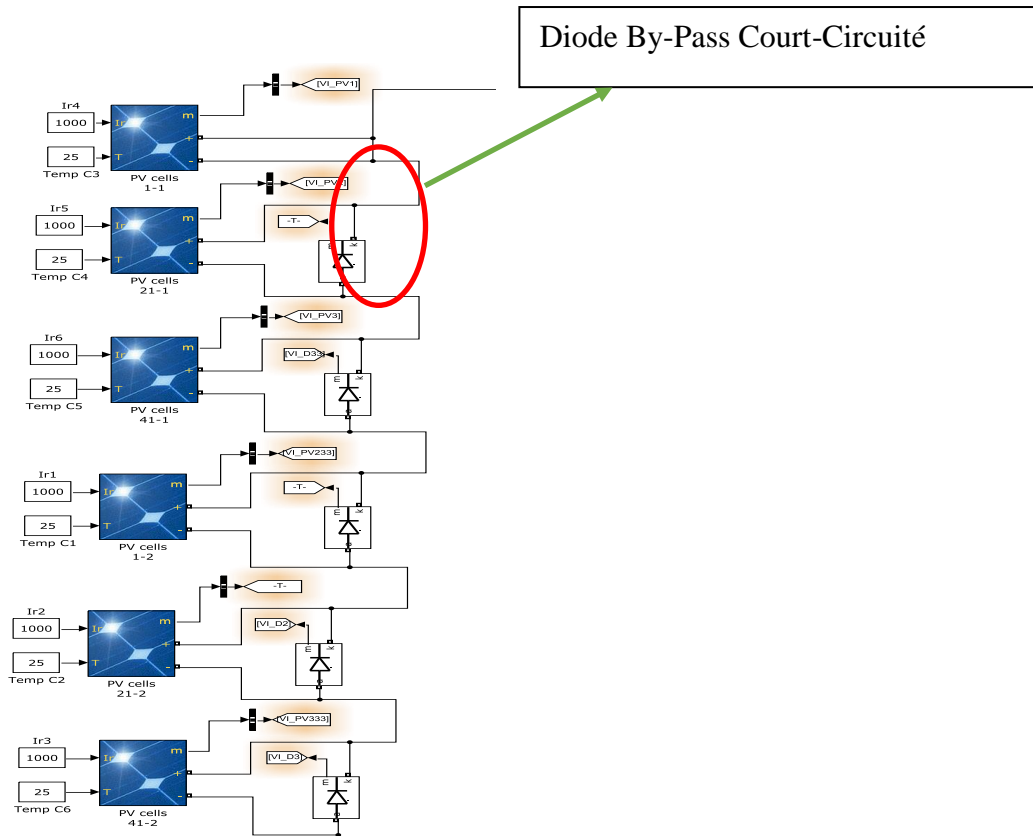


Figure III.3 Simulation de 6 modules en série avec défaut diode by-pass.

III.2.1.4 Défaut de mismatch

De même principe que la configuration 1 on a mets les valeurs pour chaque module comme ci-dessous :

$$P_{max} = 85.44 \text{ W} \quad / \quad V_{oc} = 22.2 \text{ V} \quad / \quad V_{mp} = 17.8 \text{ V}$$

$$\text{Nombre des cellules} : 36 \quad / \quad I_{sc} = 5 \text{ A} \quad / \quad I_{mp} = 4.80 \text{ A}$$

Et dans ce scénario, deux modules possèdent un courant I_{sc} de 4.8A (au lieu de 5.15A). Ce défaut s'est produit dans le d'une dégradation non identique à celle des autres modules.

$$I_{sc} = 4,8 \text{ A}$$

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

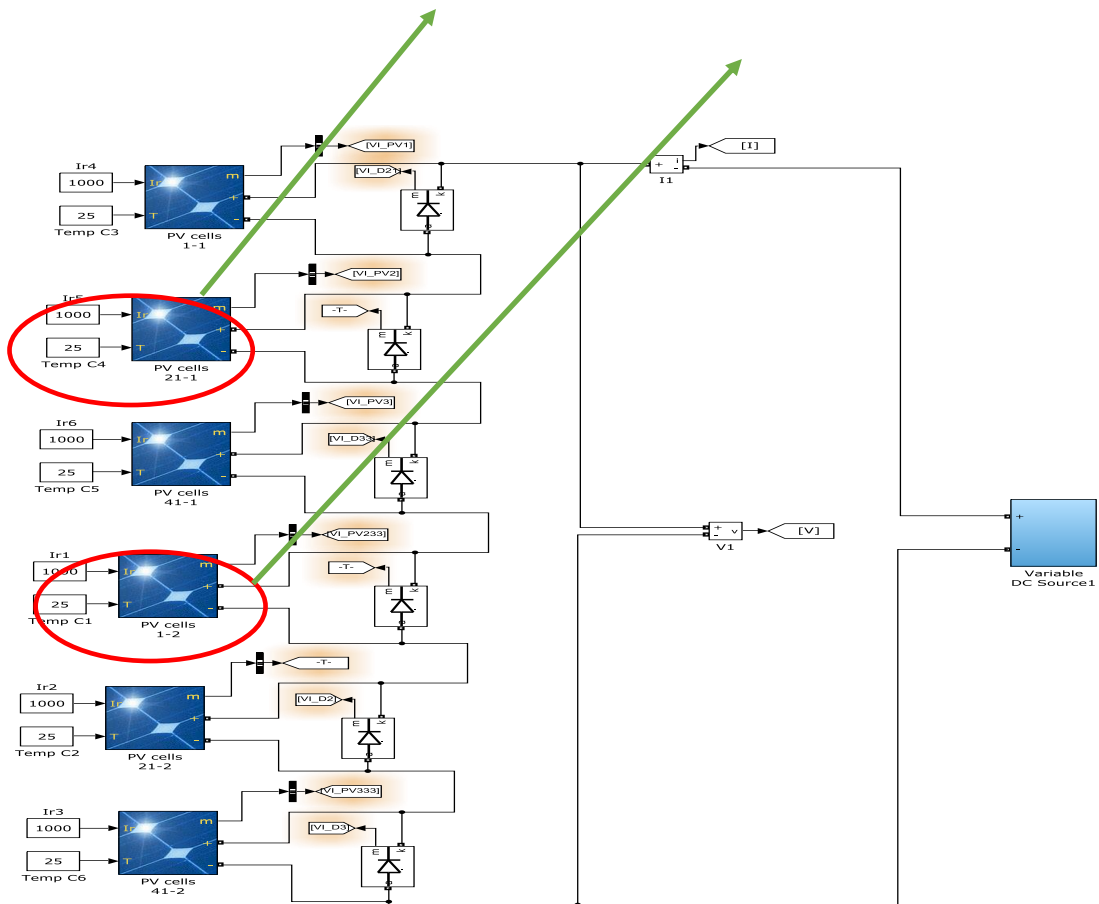


Figure III.4 Simulation de 6 modules en série avec défaut mismatch.

III.2.1.5 Résultat de simulation

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante :

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

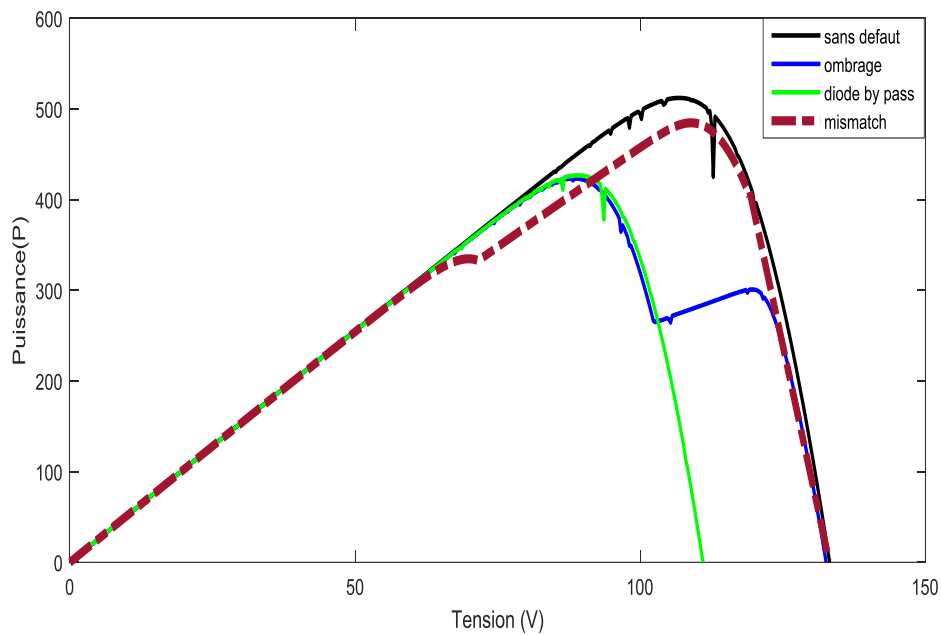


Figure III.5. Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension.

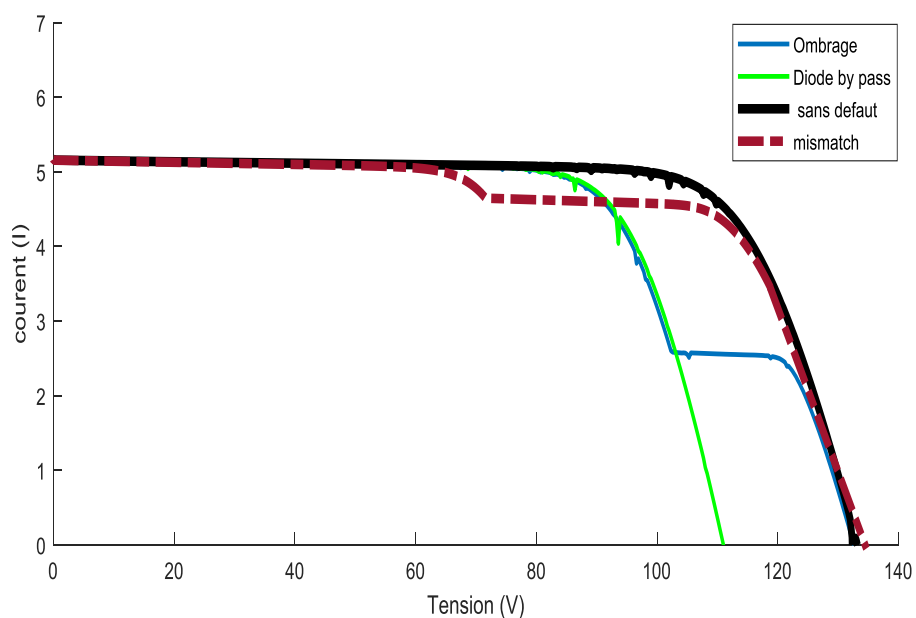


Figure III.6. Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension

Nous remarquons que, par rapport au fonctionnement normal l'effet de mismatch provoque une légère variation du courant de fonctionnement avec une présence d'une petite cassure dans la courbe I-V. Ces symptômes aident les propriétaires des installations solaires à faire

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

des maintenances préventives avant que le défaut persiste et l'effet d'ombrage provoque cassure très importante sur la courbe I-V qui se traduit par l'apparitions de deux pics dans la courbe de puissance (Voir la figure III.6). L'effet d'ombrage rend la poursuite du point de puissance maximale (MPPT) très délicate et l'effet des diodes court-circuitées provoque l'isolation totale des modules affectés, cela ne change pas les formes des courbe I-V et P-V mais, il influe directement la puissance fournie.

III.2.2. Etude de 6 modules en parallèle

III.2.2.1 Schéma de Simulation sans défaut

De même principe que la configuration 1 on a mets les valeurs pour chaque module comme ci-dessous :

$P_{max} = 85.44 \text{ W}$ / $V_{oc} = 22.2 \text{ V}$ / $V_{mp} = 17.8 \text{ V}$

Nombre des cellules : 36 / $I_{sc} = 5 \text{ A}$ / $I_{mp} = 4.80 \text{ A}$

Et dans ce scénario est considéré comme référence afin de pouvoir distinguer entre le fonctionnement sain est disfonctionnement des systèmes PV.

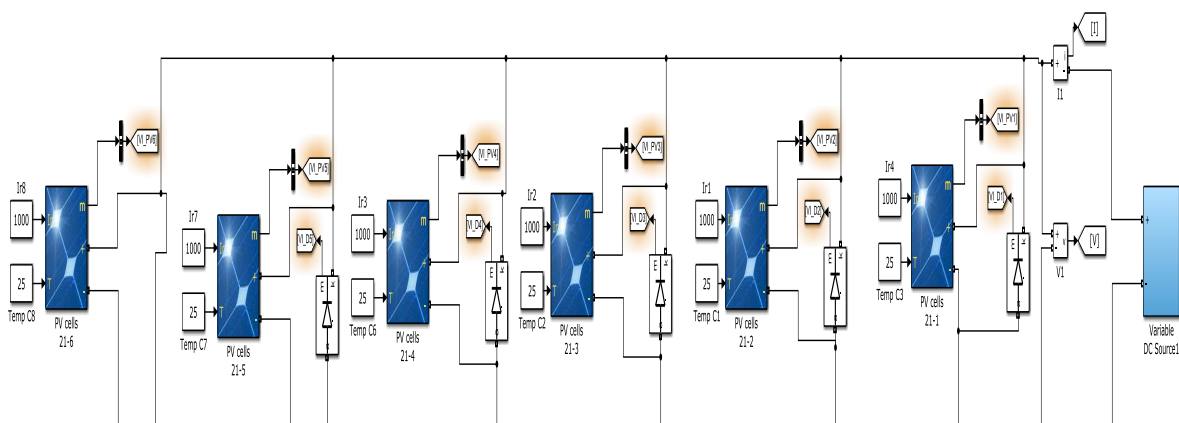


Figure III.7. Simulation de 6 modules en parallèle.

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

III.2.2.2. Défaut d'ombrage

De même principe que la configuration 1 on a mets les valeurs pour chaque module comme ci-dessous :

$P_{max} = 85.44 \text{ W}$ / $V_{oc} = 22.2 \text{ V}$ / $V_{mp} = 17.8 \text{ V}$

Nombre des cellules : 36 / $I_{sc} = 5 \text{ A}$ / $I_{mp} = 4.80 \text{ A}$

Et dans ce scenario, deux modules sont éclairés différemment connectes en série avec le même niveau d'éclairement (500 W/m^2 et 300 W/m^2).

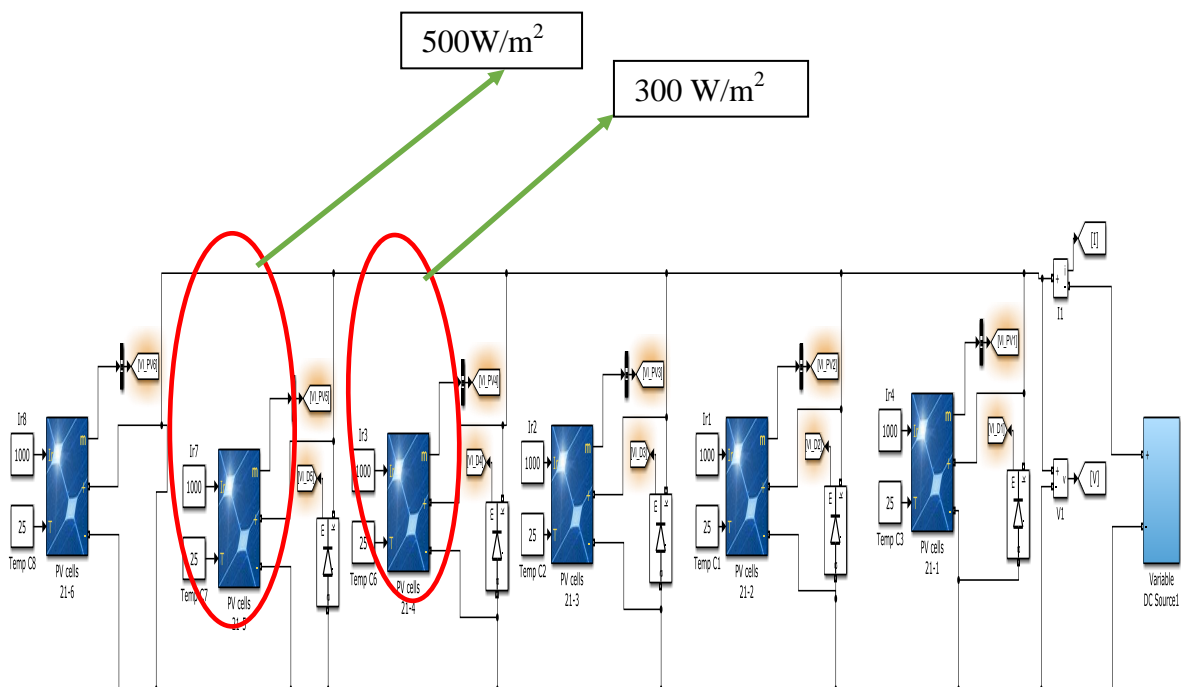


Figure III.8. Simulation de 6 modules en parallèle ombragée.

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

III.2.2.3. Défaut de la diode by-pass

De même principe que la configuration 1 on a mets les valeurs pour chaque module comme ci-dessous :

$P_{max} = 85.44 \text{ W}$ / $V_{oc} = 22.2 \text{ V}$ / $V_{mp} = 17.8 \text{ V}$

Nombre des cellules : 36 / $I_{sc} = 5 \text{ A}$ / $I_{mp} = 4.80 \text{ A}$

Et dans ce scenario, une diode by-pass d'un module PV est court-circuitée.

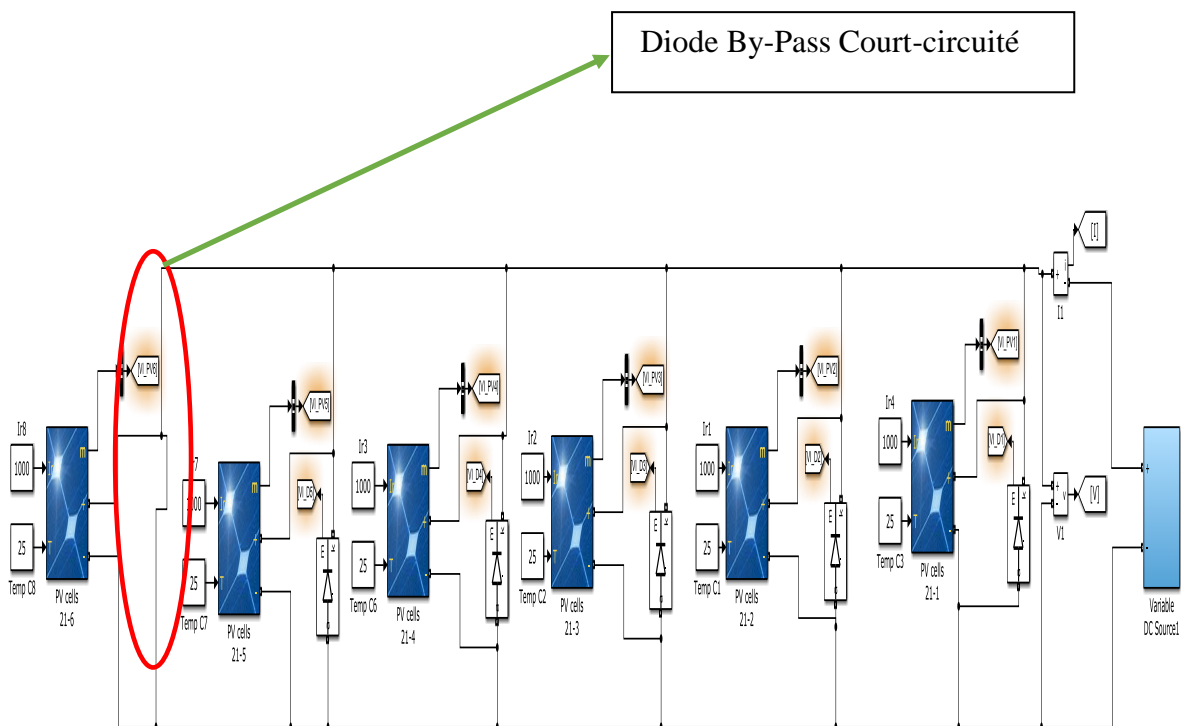


Figure III.9. Simulation de 6 modules en parallèle avec défaut de la diode by-pass.

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

III.2.2.4. Défaut de mis-match

De même principe que la configuration 1 on a mis les valeurs pour chaque module comme ci-dessous :

$P_{max} = 85.44 \text{ W}$ / $V_{oc} = 22.2 \text{ V}$ / $V_{mp} = 17.8 \text{ V}$

Nombre des cellules : 36 / $I_{sc} = 5 \text{ A}$ / $I_{mp} = 4.80 \text{ A}$

Et dans ce scénario, deux modules possèdent un courant I_{sc} de 4.8A (au lieu de 5.15A). Ce défaut s'est produit dans le d'une dégradation non identique à celle des autres modules.

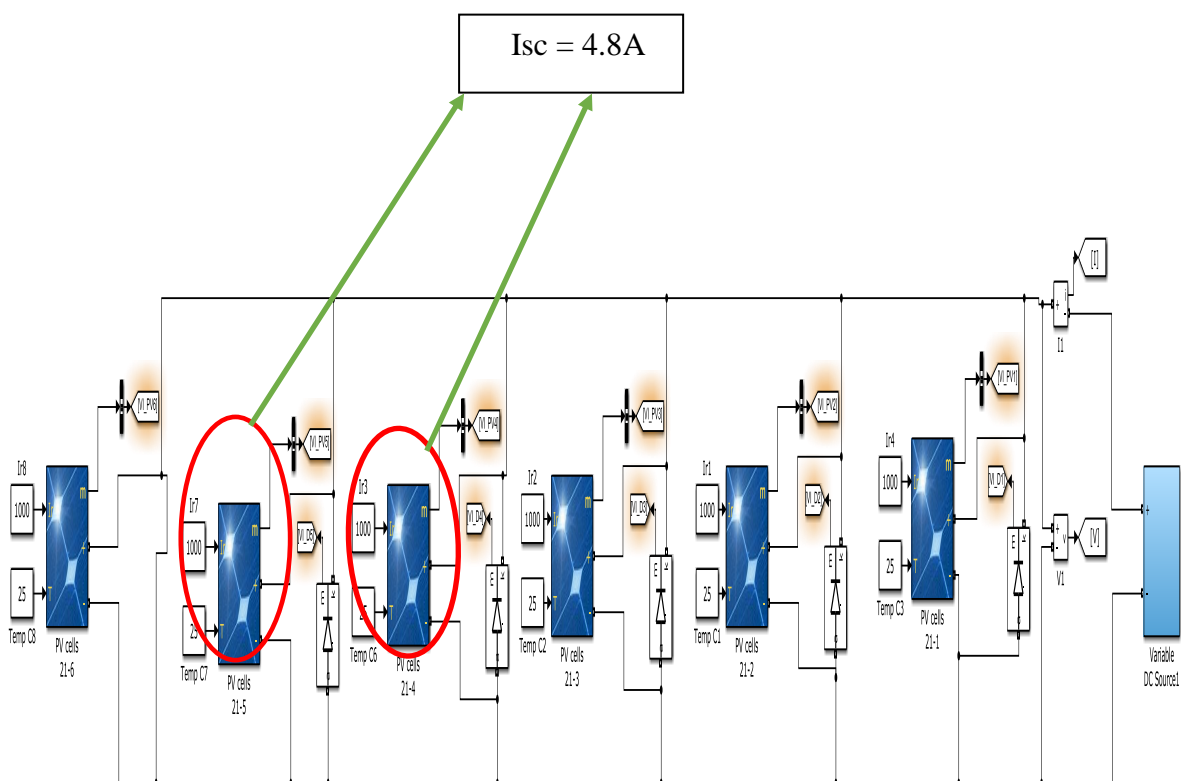


Figure III.10. Simulation de 6 modules en parallèle avec défaut de mis-match.

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

III.2.2.5. Résultat de simulation

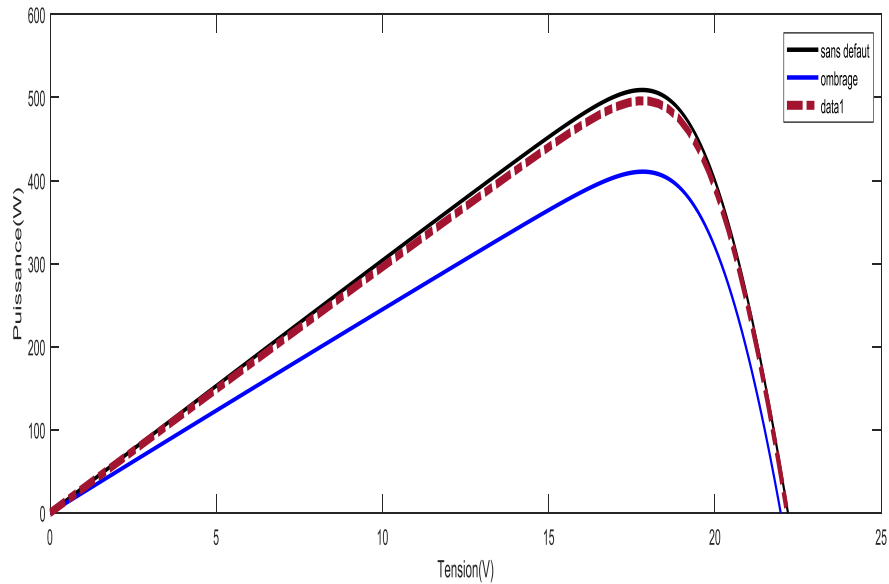


Figure III.11. Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension.

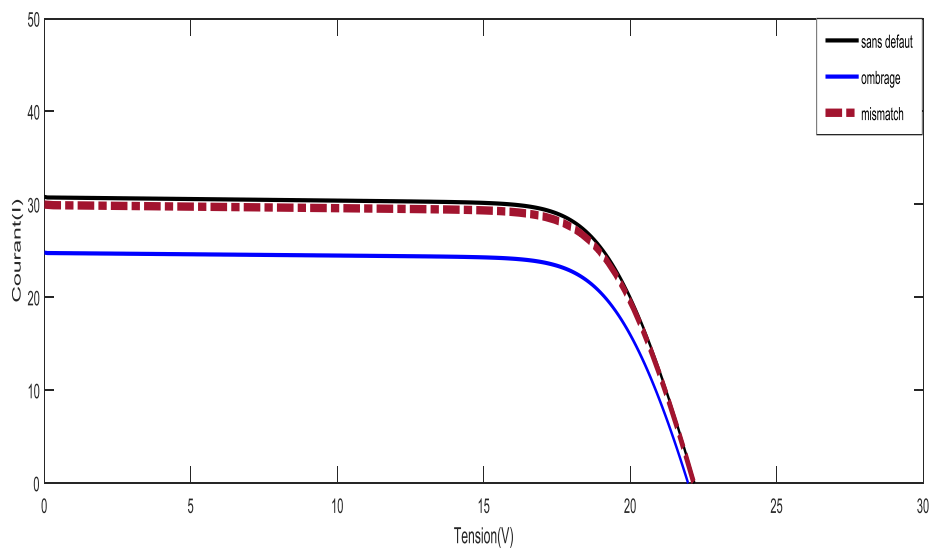


Figure III.12. Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension.

Nous remarquons que, par rapport au fonctionnement normal :

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

L'effet de mismatch provoque une légère variation du courant de fonctionnement sans la présence d'une cassure dans la courbe I-V, cela est traduit par le fait que les modules sont tous en parallèle. Malheureusement le défaut de mismatch ne peut pas être détecté pour le branchement parallèle et l'effet d'ombrage provoque une baisse de puissance (Voir la figure III.11). L'effet d'ombrage ne peut pas être détecté à travers les courbes I-V et P-I, il nécessite d'autres capteurs pour faciliter sa détection (exemple : capteur d'éclairement) et l'effet des diodes court-circuitées provoque le court-circuit de tout le champ PV, donc les systèmes de protection dans les installations PV sont déclenchés (disjoncteurs) et la production se sera arrêtée.

III.2.3. Etude de 3 modules en série * 2 modules en parallèle

III.2.3.1 Schéma de Simulation sans défaut

D'après les conditions efficaces pour un rendement très élevé dans les systèmes photovoltaïques la valeur de l'irradiation est à 1000 W/m^2 et la température à 25 C° , et pour les paramètres du module on a mis les valeurs suivantes :

$$P_{\max} = 85.44 \text{ W} / V_{oc} = 22.2 \text{ V} / V_{mp} = 17.8 \text{ V}$$

$$\text{Nombre des cellules : } 36 / I_{sc} = 5 \text{ A} / I_{mp} = 4.80 \text{ A}$$

Et dans ce scénario, les six modules sont connectés en parallèle avec le même niveau d'éclairement (1000 W/m^2).

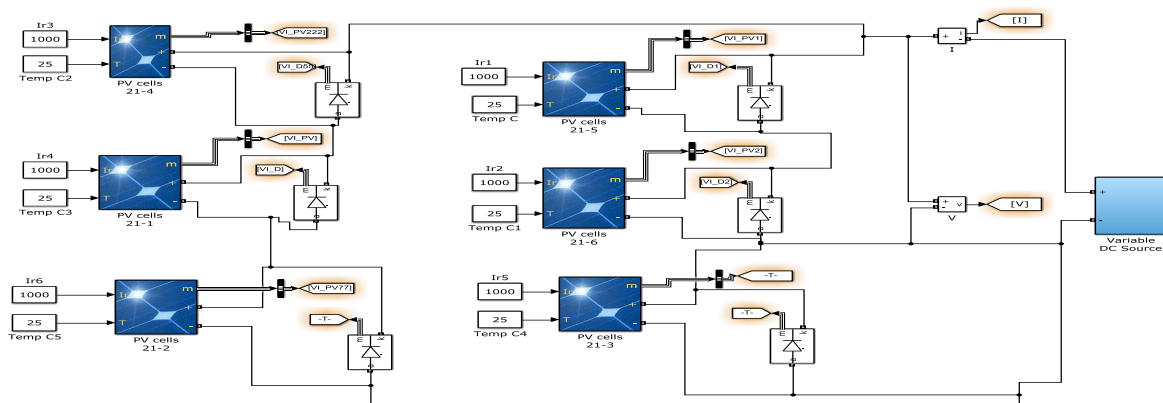


Figure III.13. Simulation de 3 modules en série * 2 modules en parallèle.

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

III.2.3.2. Défaut d'ombrage

De même principe que la configuration 1 on a mets les valeurs pour chaque module comme ci-dessous :

$P_{max} = 85.44 \text{ W}$ / $V_{oc} = 22.2 \text{ V}$ / $V_{mp} = 17.8 \text{ V}$

Nombre des cellules : 36 / $I_{sc} = 5 \text{ A}$ / $I_{mp} = 4.80 \text{ A}$

Et dans ce scenario, deux modules sont éclairés différemment connectes en série avec le même niveau d'éclairement (500W/m^2 et 300W/m^2).

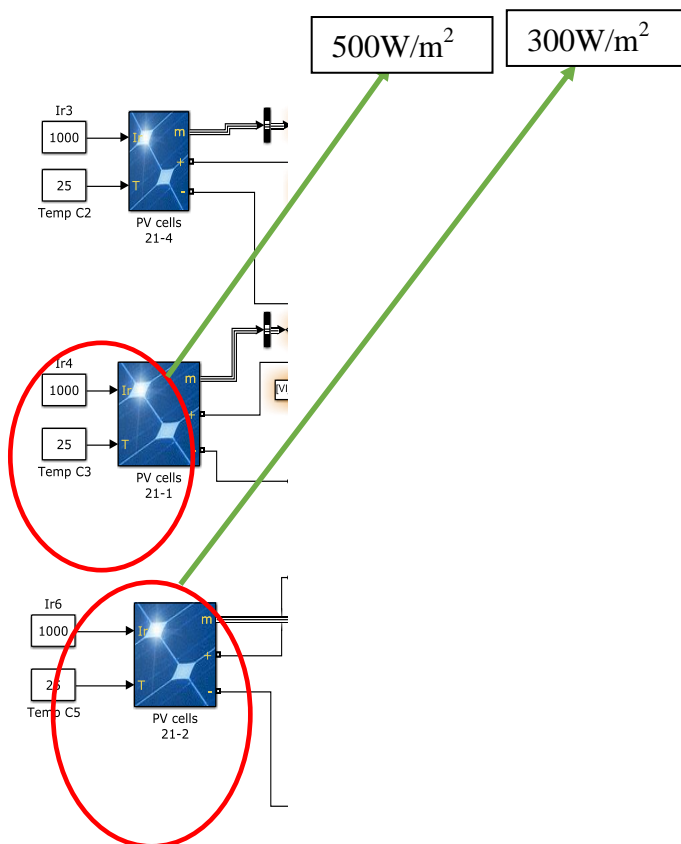


Figure III.14. Simulation de 3 modules en série * 2 modules en parallèle ombragée.

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

III.2.3.3. Défaut de mis-match

De même principe que la configuration 1 on a mets les valeurs pour chaque module comme ci-dessous :

$P_{max} = 85.44 \text{ W}$ / $V_{oc} = 22.2 \text{ V}$ / $V_{mp} = 17.8 \text{ V}$

Nombre des cellules : 36 / $I_{sc} = 5 \text{ A}$ / $I_{mp} = 4.80 \text{ A}$

Et dans ce scénario, deux modules possèdent un courant I_{sc} de 4,8A (au lieu de 5.15A). Ce défaut s'est produit dans le d'une dégradation non identique à celle des autres modules.

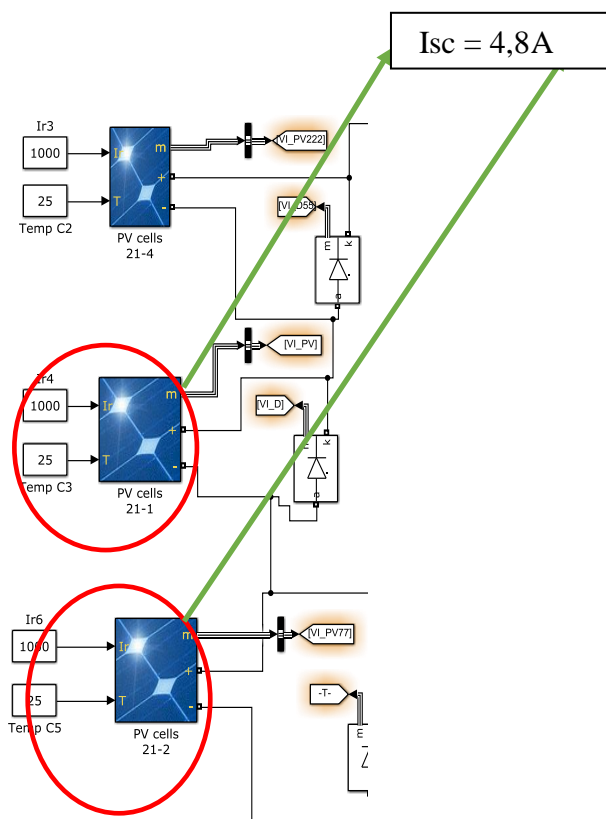


Figure III.15. Simulation de 3 modules en série * 2 modules en parallèle avec défaut mis-match.

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

III.2.3.4. Défaut de la diode by-pass

De même principe que la configuration 1 on a mets les valeurs pour chaque module comme ci-dessous :

$P_{max} = 85.44 \text{ W}$ / $V_{oc} = 22.2 \text{ V}$ / $V_{mp} = 17.8 \text{ V}$

Nombre des cellules : 36 / $I_{sc} = 5 \text{ A}$ / $I_{mp} = 4.80 \text{ A}$

Dans ce scenario, une diode by-pass d'un module PV est court-circuitée.

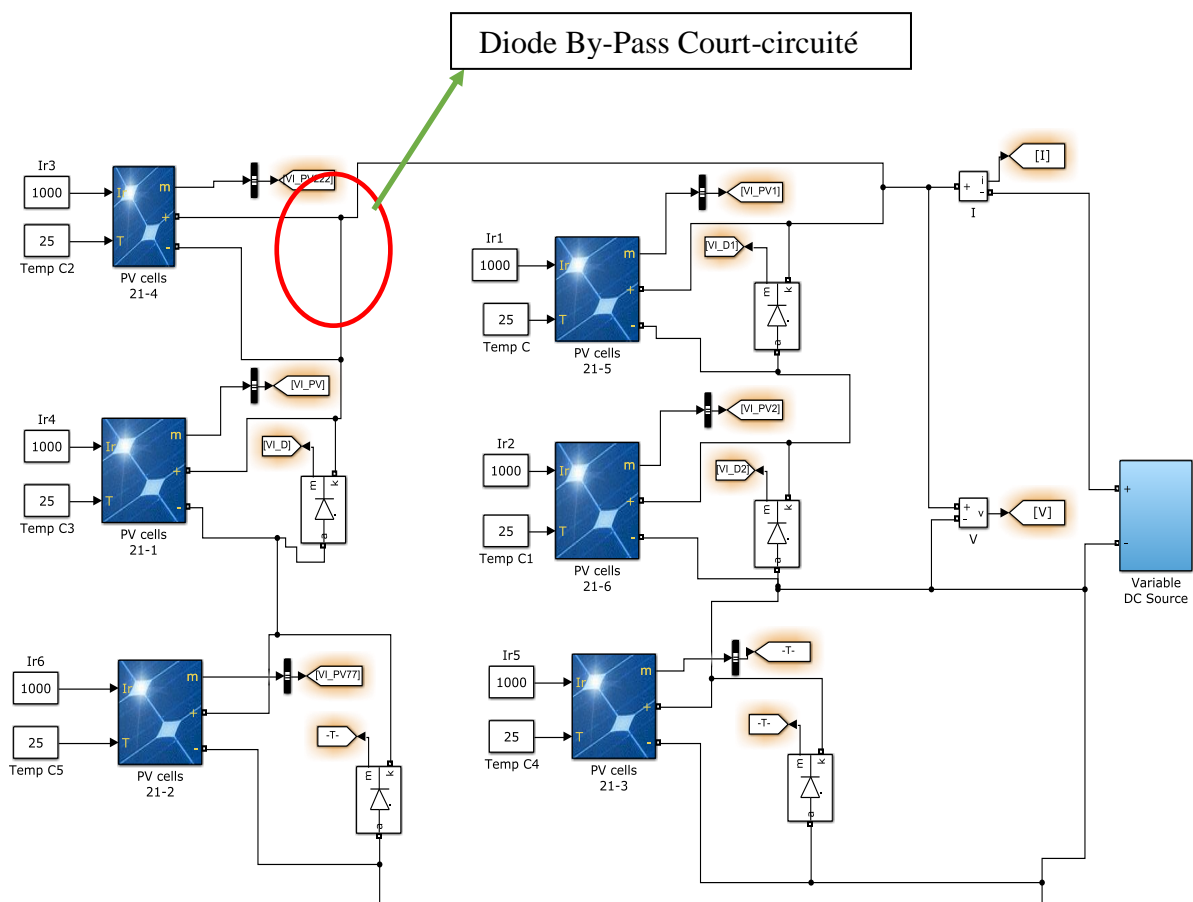


Figure III.16. Simulation de 3 modules en série * 2 modules en parallèle avec défaut de la diode by-pass.

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

III.2.3.5. Résultat de simulation

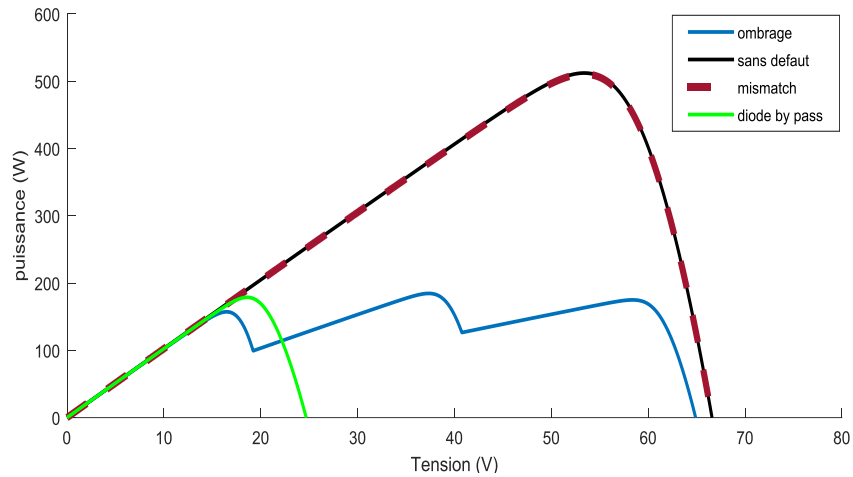


Figure III.17. Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension.

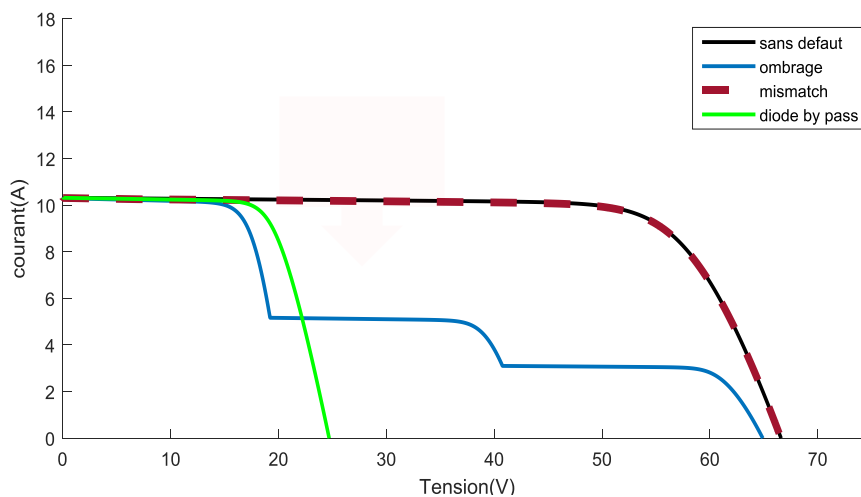


Figure III.18. Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension.

Nous remarquons que, par rapport au fonctionnement normal :

L'effet de mismatch provoque une légère variation du courant de fonctionnement avec une présence d'une petite cassure dans la courbe I-V (Voir le zoom). Ces symptômes aident les

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

propriétaires des installations solaires à faire des maintenances préventives avant que le défaut persiste et l'effet d'ombrage provoque des cassures très importantes sur la courbe I-V qui se traduit par l'apparition de trois pics dans la courbe de puissance (Voir la figure III.17). L'effet d'ombrage rend la poursuite du point de puissance maximale (MPPT) très délicate et pour l'effet des diodes court-circuitées provoque l'isolation totale du module affecté, il provoque aussi le court-circuit du deuxième module dans la deuxième branche, Cela ne change pas les formes des courbes I-V et P-V mais, il influence fortement la puissance fournie.

III.2.4. Etude de 2 modules en série * 3 modules en parallèle

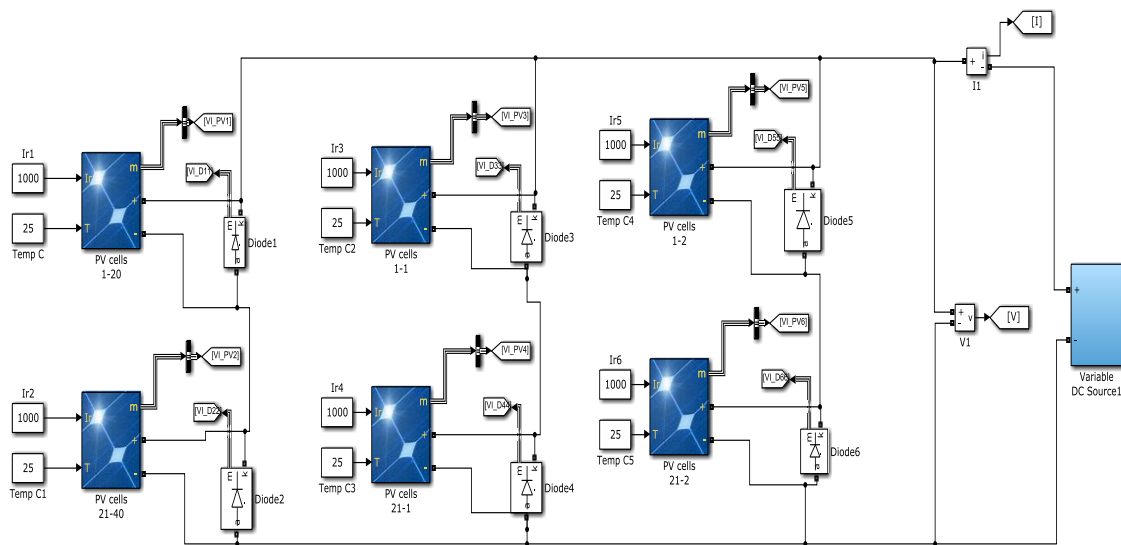
III.2.4.1 Schéma de Simulation sans défaut

D'après les conditions efficaces pour un rendement très élevé dans les systèmes photovoltaïques la valeur de l'irradiation est à 1000 W/m^2 et la température à 25 C° , et pour les paramètres du module on a mis les valeurs suivantes :

$$P_{\text{max}} = 85.44 \text{ W} / V_{\text{oc}} = 22.2 \text{ V} / V_{\text{mp}} = 17.8 \text{ V}$$

$$\text{Nombre des cellules} : 36 / I_{\text{sc}} = 5 \text{ A} / I_{\text{mp}} = 4.80 \text{ A}$$

Et dans ce scénario, les six modules sont connectés en parallèle avec le même niveau



d'éclairement (1000 W/m^2).

Figure III.19. Simulation de 2 modules en série * 3 modules en parallèle.

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

III.2.4.2. Défaut d'ombrage

De même principe que la configuration 1 on a mets les valeurs pour chaque module comme ci-dessous :

$P_{max} = 85.44 \text{ W}$ / $V_{oc} = 22.2 \text{ V}$ / $V_{mp} = 17.8 \text{ V}$

Nombre des cellules : 36 / $I_{sc} = 5 \text{ A}$ / $I_{mp} = 4.80 \text{ A}$

Et dans ce scenario, deux modules sont éclairés différemment connectes en série avec le même niveau d'éclairage (500W/m^2 et 300W/m^2).

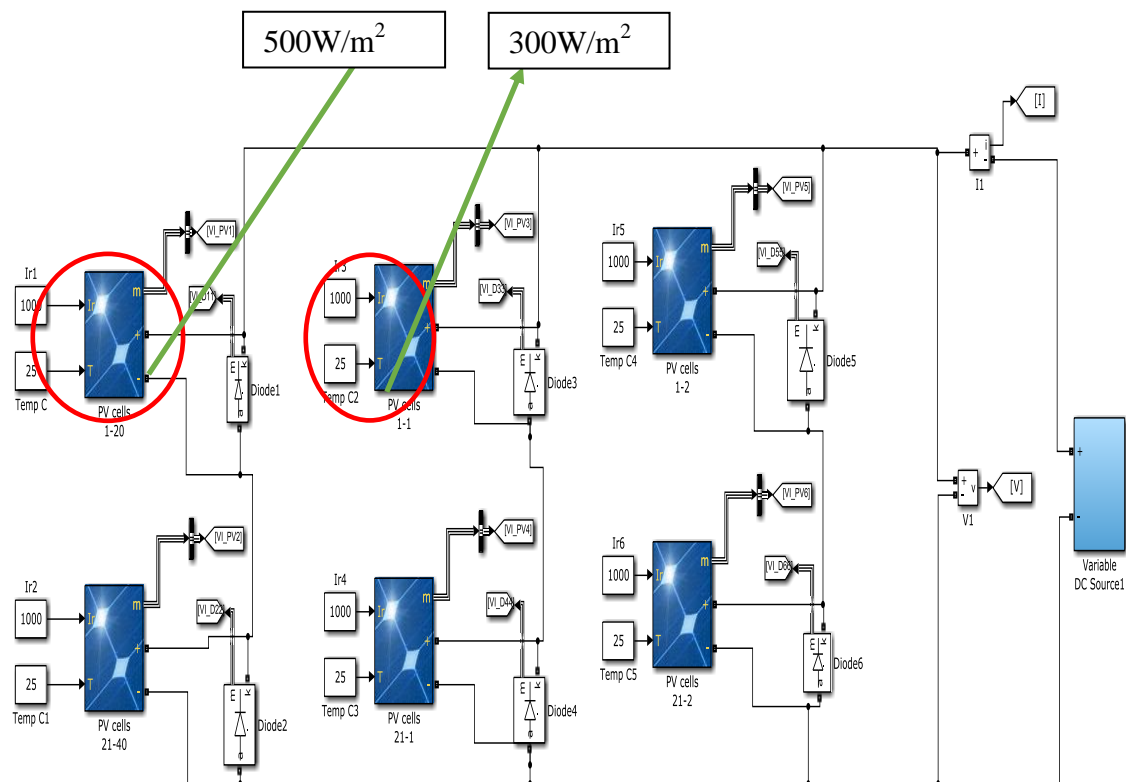


Figure III.20. Simulation de 2 modules en série * 3 modules en parallèle ombragée.

III.2.4.3. Défaut de mis-match

De même principe que la configuration 1 on a mets les valeurs pour chaque module comme ci-dessous :

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

$P_{max} = 85.44 \text{ W}$ / $V_{oc} = 22.2 \text{ V}$ / $V_{mp} = 17.8 \text{ V}$

Nombre des cellules : 36 / $I_{sc} = 5 \text{ A}$ / $I_{mp} = 4.80 \text{ A}$

Et dans ce scénario, deux modules possèdent un courant I_{sc} de 4.8A (au lieu de 5.15A). Ce défaut s'est produit dans le d'une dégradation non des autre modules.

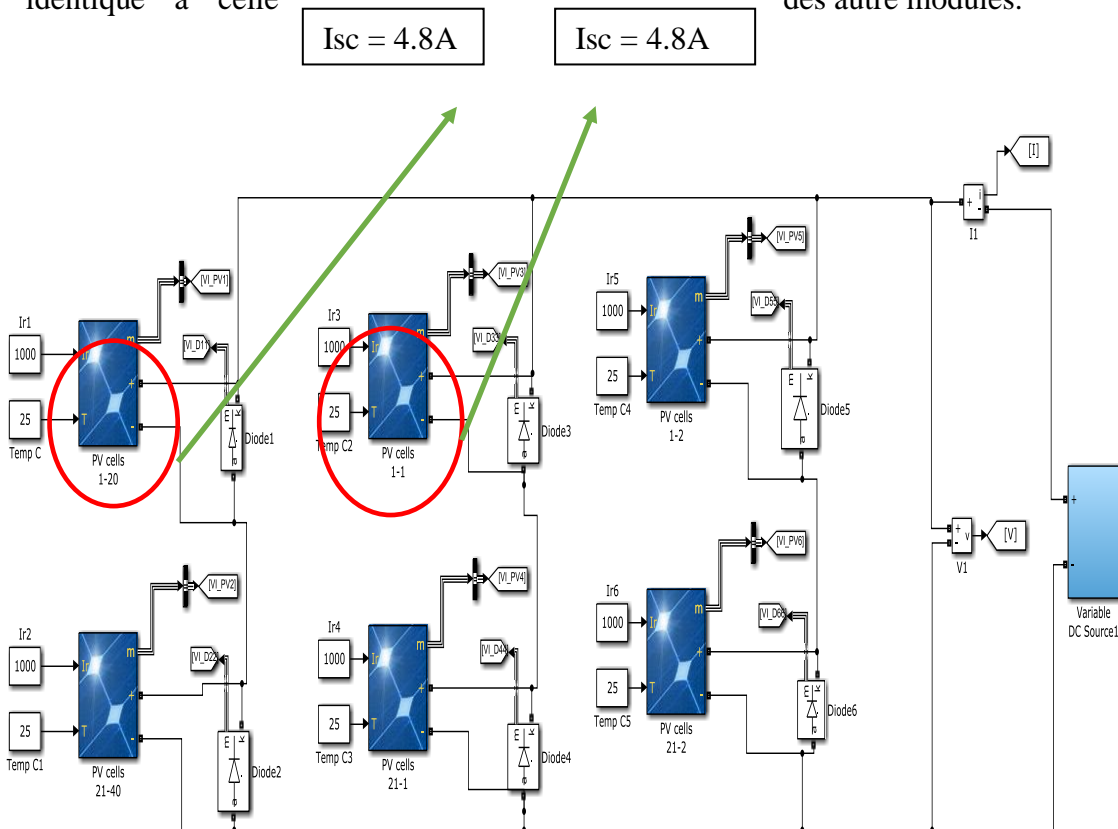


Figure III.21. Simulation de 2 modules en série * 3 modules en parallèle avec défaut mismatch.

III.2.4.4. Défaut de la diode by-pass

De même principe que la configuration 1 on a mets les valeurs pour chaque module comme ci-dessous :

$P_{max} = 85.44 \text{ W}$ / $V_{oc} = 22.2 \text{ V}$ / $V_{mp} = 17.8 \text{ V}$

Nombre des cellules : 36 / $I_{sc} = 5 \text{ A}$ / $I_{mp} = 4.80 \text{ A}$

Et dans ce scénario, une diode by-pass d'un module PV est court-circuitée.

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

Diode By-Pass Court-Circuité

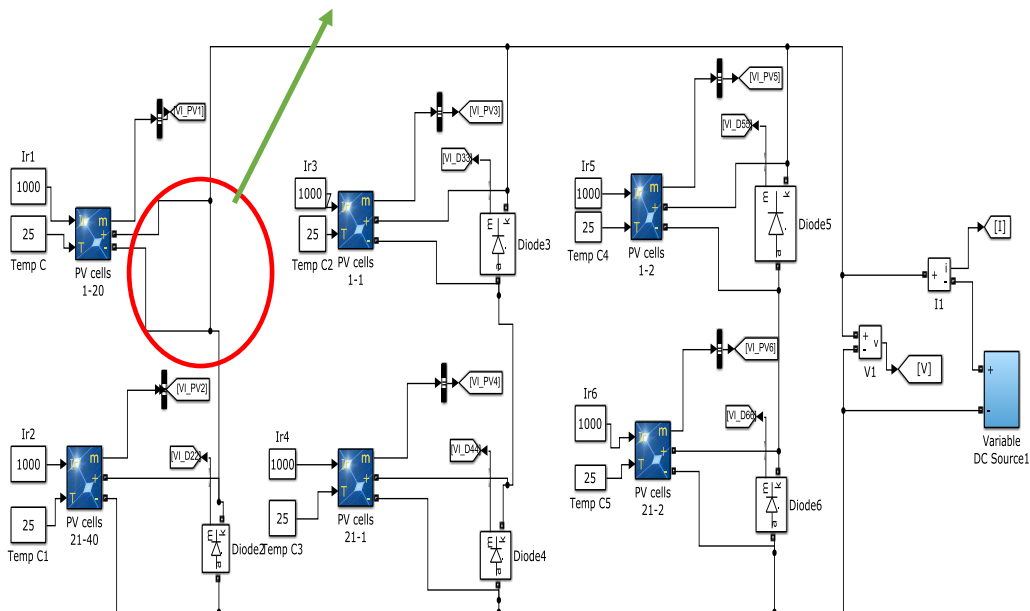


Figure III.22. Simulation de 2 modules en série * 3 modules en parallèle avec défaut de la diode by-pass.

III.2.4.5. Résultat de simulation

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

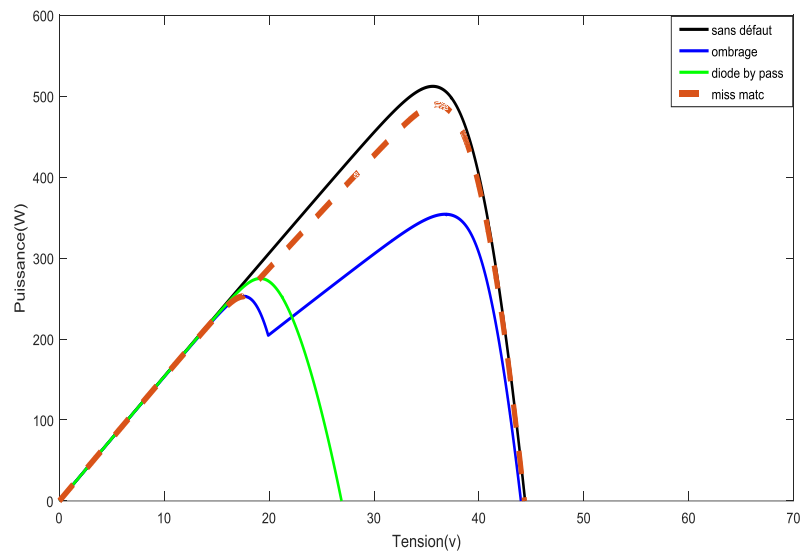


Figure III.23. Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension.

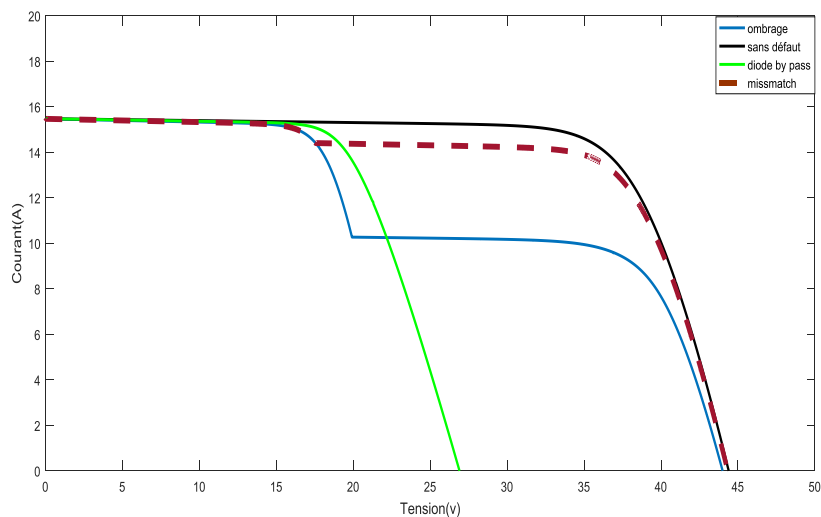


Figure III.24. Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension.

Nous remarquons que, par rapport au fonctionnement normal l'effet de mismatch provoque une légère variation du courant de fonctionnement avec une présence d'une petite cassure dans la courbe I-V. Ces symptômes aident les propriétaires des installations solaires à faire des maintenances préventives avant que le défaut persiste et l'effet d'ombrage provoque une cassure importante sur la courbe I-V qui se traduit par l'apparitions de trois pics dans la courbe de puissance (Voir la figure III.23). L'effet d'ombrage rend la poursuite du point de puissance maximale (MPPT) très délicate et l'effet des diodes court-circuitées provoque l'isolation totale du module affecté, il provoque aussi le court-circuit des deux modules dans

Chapitre III : Simulation des défauts les plus fréquents dans les installations PV

les deux autres branches, Cela ne change pas les formes des courbe I-V et P-V mais, il influe fortement la puissance fournie.

III.3. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié l'effet de trois défauts sur le comportement des systèmes PV ; il s'agit de : l'effet d'ombrage, l'effet de mismatch et l'effet des diodes bypass. Pour l'ombrage, les cassures provoquées dans la courbe I-V engendrent l'apparitions de plusieurs pics sur la courbe de puissance et pour le mismatch une très petite cassure sur la courbe I-V est apparue cela est considéré comme une indication précoce qui aide les propriétaires des installations à réagir avant que dégâts devient importants et pour les diodes court-circuitées une baisse de puissance importante est remarquée. Ces pertes sont plus importantes si le nombre des branchements parallèle augmente.

*Conclusion
générale*

IV. Conclusion générale

Ce travail a été orienté vers la caractérisation des défauts d'ombrage et de la diode bypass et aussi le mismatch au niveau des panneaux photovoltaïques. Une approche globale a été proposée en se basant essentiellement sur l'analyse de la caractéristique $I(V)$ et $P(V)$. La motivation majeure de ce travail réside dans le fait que les défauts cités précédemment engendrent la même signature sur la caractéristique et la contribution apportée dans cette thèse apparaît dans la capacité de séparer les deux signatures d'une part et de proposer un logiciel, qui permette de tracer la caractéristique de n'importe quel PV de manière automatique et de fournir une aide à la décision d'étudier des défauts précédents.

Au début de ce travail nous avons fait notre recherche bibliographique sur les généralités des cellules photovoltaïques dans le concept de base de l'énergie photovoltaïque (l'effet photovoltaïque et son principe de fonctionnement) et également défini une cellule photovoltaïque commune et les différents matériaux utilisés pour fabriquer chaque génération de cellules solaires et de leurs propriétés électriques.

Ensuite nous avons fait le contexte de l'étude a été d'abord sur Un état de l'art sur les différents défauts d'un système (PV) On a montré que ces défauts peuvent être divisés en général aux défauts de fabrication, et aux défauts dus aux conditions climatiques et aux conditions d'exploitation. On a aussi constaté que la plupart des défauts dits électriques, sont dus aux conditions climatiques telles que l'augmentation de la résistance série. Ce mémoire est concentré sur la caractérisation de différents défauts dans le système PV.

A la fin de ce mémoire, nous avons testé les trois défauts les plus fréquents dans les systèmes photovoltaïques sur quatre configurations différentes et on a constaté la dégradation des caractéristiques électriques $I(V)$ et $P(V)$ par rapport à la simulation sans défaut dont le but de visualiser et caractériser les défauts. Des résultats de simulations montrent l'influence de ces défauts sur le rendement générale de l'installation photovoltaïques.

Bibliographies

V. Bibliographies :

[1]: Site web : <https://unfccc.int/fr/process-and-meetings/1-accord-de-paris>

[2]: E. Diaz-Dorado, A. Suirez-Garcia, C. Carrillo, and J. Cidras, “Influence of the shadows in photovoltaic systems with different configurations of bypass diodes”. International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion SPEEDAM 2010.

[3]: A. Rahmani, K. Selmani, « Etude des performances d’une cellule Photovoltaïque à hétérojonctions », Master en Composants et Systèmes de télécommunication, Université de Saida, 2017.

[3] : extrait éditions-ginger c121 « l’énergie solaire photovoltaïque » Copyright 12/10

[4] : site web: <https://www.teteamodeler.com/sante/soleil/vichy/soleil2.htm> 2000

[5] : Dr. Nadine ADRA Article « cellule et technologie photovoltaïque » *Transénergie* 2017

[7] : F. Bougenna, mémoire de MAGISTER, Modélisation et optimisation d’une cellule solaire Tandem a-Si : H /a-SiGe ,2009. Type matériaux

[8] : Daniel Lincot (daniel-lincot@enscp.fr) et Jean-François Guillemoles Institut de Recherche et Développement sur l’Énergie Photovoltaïque

[9] : revue scientifique et technique du CEA « un effort public soutenu en faveur des nouvelles technologies de l’énergie » CLEFS CEA N°50/51 HIVER 2004-2005

[10] : OUSSIDHOUM Samira, Etude comparative des performances de cellules solaires simples et multiples, mémoire de MAGISTER, 2015.

[11] : B. Loic, thèse de DOCTORA, Cellules photovoltaïques organiques souples à grandes surfaces, 2008.

[12] : S. Lamine, thèse de DOCTORAT, Etude expérimentale et thermodynamique du procédé de démoulage appliqué aux semi-conducteurs, 2008.

[13]: 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

[14]: 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

[15] : 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 procédées; presses Polytechniques et universitaires romandes 1997.

[16] : 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.

[17] : 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.

[18]: J. L. Crozier, “Characterization of Cell Mismatch in Photovoltaic Modules Using Electroluminescence and Associated Electro-optic Techniques.” Nelson Mandela Metropolitan University, 2012.

[19] : S. Hachour, 'Approche décentralisée pour la détection et la localisation de défauts dans une ferme photovoltaïque', Projet de Stage, 2011.

[20] : Dossier technique «Eolienne et photovoltaïque

