

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA

-ADRAR-



جامعة أحمد دراية- أدرار

Année / 2021

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Matière

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme de Master en

Physique

Option : Physique Energétique et Energies Renouvelables

Thème

*Extraction des Paramètres du Module
Photovoltaïque installé dans un site saharien*

Présenté Par :

Mr. Ghaitaoui Abd El kader

et

Mr. Hadji Mohamed El Amine

Devant le jury composé de :

Dr. SOULEM Souad	Evaluateur	MCA	Université Ahmed Draia-Adrar
Dr. LARIBI SLIMANE	Rapporteur	MCA	Université Ahmed Draia –Adrar
Mr. KOUSSA Khaled	Co-encadreur	ATR	URERMS-Adrar
Dr. BOUSSOUKAIA Tahar	Evaluateur	MCA	Université Ahmed Draia –Adrar

Année Universitaire 2020/2021

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne populaire et démocratique

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

UNIVERSITE AHMED DRAYA - ADRAR

BIBLIOTHÈQUE CENTRALE

Service de recherche bibliographique

N°.....B.C/S.R.B//U.A/2021



جامعة احمد دراية - ادرار

المكتبة المركزية

مصلحة البحث البيبليوغرافي

الرقم.....م.م.ب.ب.ب/اج.أ/2021

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): احمد بن سليمان

المشرف مذكرة الماستر.

الموسومة بـ : Extraction des paramètres du module

photovoltaïque installé dans un site saharien

من إنجاز الطالب(ة): غيتاوي عبد القادر

و الطالب(ة): حاج محمد الأحمدي

كلية : العلوم والتكنولوجيا

القسم : علوم المادة

التخصص : فيزياء الطاقة والطاقات للتخزين

تاريخ تقييم / مناقشة:

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين
النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.
ويامكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والأليكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

ادرار في :..... 28 / 06 / 2021

مساعد رئيس القسم:



ملاحظة : لاتقبل أي شهادة بدون التوقيع والمصادقة.

Remerciements

الحمد لله

Tout d'abord nous remercions dieu Allah pour le courage et la force pour bien compléter ce travail.

Nous remercions particulièrement notre encadreur Dr.LARJBJ Slimane pour ses remarques, ses conseils, sa confiance et sa patience. Ce fut notre honneur de travailler avec vous. Nous remercions aussi Dr.Ghaitaoui Touhami et dr.koussa Khaled pour ses remarques

Nous remercions aussi les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous remercions tous nos enseignants de département de la science et de la technologie.

Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

Merci mon encadreur... merci mon superviseur

***Merci tous les professeurs SM et ST... merci mon
binôme***

« Hadji Mohamed El Amine » Le plus grand merci A

***Source de vie...Ma mère et ma grande mère Soutien
de vie...mon père***

***Et Pour toute ma famille Ghaitaoui,
mes frères
et mes amis.***

Ghaitaoui Abd El kader

Dédicaces

Tout d'abord, je remercie mon dieu Allah pour le courage de faire ce travail et le compléter.

Je dédie ce travail à ma chère famille, ma mère, mon père, mes sœurs et mes frères qui m'ont

Encouragé au cours de mes études. A mon chère ami Abdelkader.

Je dédie ce travail aussi à les familles Hadji, Bellaqhal et Ben Hamida.

A tous mes frères et mes amis qui me connaissent.

Mohamed El Amine

Résumé

Résumé:

La modélisation des cellules solaires implique principalement la formulation de la relation courant tension (IV). La détermination des paramètres, de cette dernière, joue un rôle important dans la modélisation précise des cellules solaires. Ce travail présente l'application d'une simple méthode d'itération pour identifier les paramètres inconnus du modèle qui régissent la relation courant-tension d'une cellule solaire. Afin d'évaluer l'efficacité des paramètres extraits, un modèle d'une diode (ODM) a été utilisé et comparé aux données mesures d'un système installé dans l'unité de recherche en énergies renouvelables dans un milieu saharien (UEREMS). Les paramètres extraits seront testé par rapport à plusieurs caractéristiques IV statiques de différent modules photovoltaïques dégradés collectées dans différentes conditions de fonctionnement. Une étude comparative entre différentes techniques d'estimation de paramètres sera présentée pour démontrer l'efficacité de l'approche proposée.

Mots clés : Cellules Solaires, Modélisation, Extraction, ODM

Abstract:

The modelisation of solar cells requires mainly the formulation of the relation current-voltage (I-V). The determination of parameters of this relation plays an important role in the modelesation of solar cells. This work present an application of a simple method of iteration to identify the unknowwn parameters of a model which control the relation current-voltage of a solar cell. In order to assess the effectiveness of the extracted parameters, a model with one diode (ODM) is used and compared to the data measurements of a system placed in the unit of the renewable energy research in a saharian environment (UEREMS). The extracted parameters will be tested against several static IV characteristics of differrent photovoltaic models collected under different operating conditions. A comparative study between different parameter estimation techniques will be presented to demonstrate the effectiveness of the proposed approach.

Key words: Solar cells, modelesation, extraction, ODM

الملخص

يتطلب نمذجة الخلايا الشمسية بشكل أساسي صياغة علاقة الجهد الحالي (V-I). يلعب تحديد معاملات هذه العلاقة دورًا مهمًا في نمذجة الخلايا الشمسية. يقدم هذا العمل تطبيقًا لطريقة بسيطة من التكرار لتحديد المعلمات غير المعروفة لنموذج يتحكم في علاقة التيار-الجهد للخلية الشمسية. من أجل تقييم فاعلية المعلمات المستخرجة ، يتم استخدام نموذج ذو ديود واحد (ODM) ومقارنته بقياسات البيانات لنظام موضوع في وحدة أبحاث الطاقة المتجددة في بيئة صحراوية (UEREMS). سيتم اختبار المعلمات المستخرجة مقابل عدة خصائص IV ثابتة للوحدة الكهروضوئية التي تم جمعها في ظل ظروف تشغيل مختلفة. سيتم تقديم دراسة مقارنة بين تقنيات تقدير المعلمات المختلفة لإثبات فعالية النهج المقترح.

الكلمات المفتاحية: الواح شمسية ، نمذجة، استخراج ، نموذج مع صمام ثنائي واحد

Table des matières

Liste des figures.....	IV
Liste des tableaux.....	VII
Abréviations et symboles.....	VIII
Introduction générale.....	X

Chapitre I - Rappel sur les cellules photovoltaïques

I.1 Introduction.....	2
I.2 Le soleil	2
I.2.1 L'énergie solaire	2
I.2.2 Gisement solaire en Algérie.....	3
I.3 Rayonnement solaire	4
I.3.1 Types des rayonnements solaires	4
I.4 Effet photovoltaïque	5
I.4.1 Effet de la température.....	6
I.4.2 Effet de l'éclairement.....	7
I.5 Cellule photovoltaïque.....	7
I.5.1 Les types des cellules PV	8
I.5.1 Cellule au Silicium monocristallin.....	8
I.5.1 Cellule au Silicium poly-cristallin.....	9
I.5.1 Cellule amorphe	9
I.5.1 Cellule organique	9
I.6 Principe de fonctionnement d'une cellule.....	10
I.7 Modules photovoltaïques.....	11
I.7.1 Association en parallèle	12
I.7.2 Association en série	12
I.7.3 Association mixte (série et parallèle)	13
I.8 Caractéristiques électriques d'une cellule PV.....	13
I.9 Facteur de forme FF.....	14
I.10 Le rendement	15
I.11 Conclusion	15

Chapitre II - Modélisation et estimation des paramètres physiques de module PV

II.1 Introduction.....	17
II.2 Représentations électriques d'une cellule PV.....	17
II.2.1 Modèle idéale	17
II.2.2 Modèle a une diode.....	18
II.3 Méthode d'extraction des paramètres	19
II.4 Présentation des paramètres statistiques RMSE.....	21
II.4.1 L'erreur quadratique moyenne : RMSE.....	21
II.5 Modélisation de l'algorithme.....	21
II.6 Facteurs limitation de rendement d'un générateur photovoltaïque.....	24
II.7 Influence de la résistance série R_s.....	24
II.8 Influence de la résistance série R_{sh}.....	25
II.9 Conclusion.....	26

Chapitre III - Résultats et discussions

III.1 Introduction.....	28
III.2 Description de la plateforme expérimentale de tests.....	28
III.2.1 Pyromètre	28
III.2.2 Les capteurs de température des modules.....	29
III.2.3 Le traceur MP-160 (I-V) [EKO].....	30
III.3 Champ de mesures.....	30
III.4 Performances des modules PV	31
III.5 Dégradation des modules PV	31
III.6 Facteur de Dégradation.....	32
III.7 Cause probables de la dégradation	32
III.8 Analyse de dégradation des modules Photovoltaïques.....	33
III.9 Résultats et discussion	35

III.9.1 Le module UDTS-50W.....	35
III.9.2 Le module ISOFOTON 100W.....	39
III.9.3 Le module Solarworld Polycristallin-150W.....	42
III.10 Conclusion.....	44
<i>conclusion générale.....</i>	<i>46</i>
<i>Références.....</i>	<i>47</i>

Liste des figures

Chapitre I : Rappel sur les cellules photovoltaïques

Figure I.1 : Carte du monde de l'insolation moyen annuel.....3

Figure I.2 : Spectre du rayonnement solaire reçu hors atmosphère.....4

Figure I.3 : Les composantes du rayonnement solaire au sol.....5

Figure I.4 : La caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température.....6

Figure I.5 : La caractéristique de $P=f(V)$ en fonction de température.....6

Figure I.6 : La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement.....7

Figure I.7 : La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement.....7

Figure I.8 : Structure basique d'une cellule solaire.....8

Figure I.9 : Cellule au Silicium monocristallin.....8

Figure I.10 : Cellule au Silicium polycristallin.....9

Figure I.11 : Cellule au Silicium amorphe.....9

Figure I.12 : Cellule solaire organique sur substrat souple.....10

Figure I.13 : Principe de fonctionnement d'une cellule.....11

Figure I.14 : Caractéristique courant tension de (N_p) cellule en parallèle.....12

Figure I.15 : Caractéristique courant tension de N_s cellule en série.....12

Figure I.16 : Groupement des modules en série- parallèle.....13

Figure I.17 : Caractéristique $I=f(V)$ sous obscurité et sous éclairement d'une cellule Photovoltaïque.....14

Chapitre II - Modélisation et estimation des paramètres physiques de module PV

Figure II.1 : Circuit équivalent d'une cellule PV - Modèle idéal -17

Figure II.2 : Circuit équivalent d'une cellule PV (modèle à une diode).....18

Figure.II.3 : Courbes typiques I-V et P-V du module PV.....20

Figure II.4 : montre un organigramme simplifié de l'algorithme de modélisationItérative.....22

Figure II.5 : L'effet de la résistance série sur le facteur de remplissage. La surface de la cellule solaire est de 1 cm², de sorte que les unités de résistance peuvent être soit ohm, soit ohm cm². Le courant de court-circuit (ISC) n'est pas affecté par la résistance série jusqu'à ce qu'il soit strès grand.....24

Figure II.6 : Schéma de principe d'une cellule solaire comprenant la résistance de shunt.....25

Figure II.7 : L'effet de la résistance de shunt sur le facteur de remplissage dans une cellule solaire. La surface de la cellule solaire est de 1 cm², la résistance série de cellules est zéro, la température est de 300 K et I₀ est de 1 x 10⁻¹² A / cm².....25

Chapitre III - Résultats et discussions

Figure III.1 : Pyranomètre pour la mesure du rayonnement global.....28

Figure III.2 : Thermocouples sur la face arrière du module.....29

Figure III.3 : Traceur MP-160 (I-V).....30

Figure III.4 : Emplacement de URERMS dans la ville d'Adrar31

Figure III.5 : Caractéristique expérimentale et translatée du module de référence.....32

Figure III.6 : Caractéristiques I-V et P-V de panneaux A-UDTS50W.....35

Figure III.7 : Caractéristiques I-V et P-V de panneaux B-UDTS50W.....36

Figure III.8 : Caractéristiques I-V et P-V de panneaux C-UDTS50W.....36

Figure III.9 : Caractéristiques I-V et P-V de panneaux D-UDTS50W.....37

Figure III.10 : Caractéristiques I-V et P-V de panneaux E-UDTS50W.....37

Figure III.11 : Caractéristiques I-V et P-V de panneaux F-UDTS50W.....38

Figure III.12 : Comparaison entre les résultats expérimentaux A-B-C-D-E-F des Modules UDTS-50W et la référence.....38

Figure III.13 : Caractéristiques I-V et P-V de panneaux A-ISOFOTON100W.....39

Figure III.14 : Caractéristiques I-V et P-V de panneau B-ISOFOTON100W.....40

Figure III.15 : Caractéristiques I-V et P-V de panneau C-ISOFOTON100W.....40

Figure III.16 : Comparaison entre les résultats expérimentaux A-B-C des modules ISOFOTON-100W et la référence.....	41
Figure III.17 : Caractéristiques I-V et P-V de panneau A-Poly150W.....	42
Figure III.18 : Caractéristiques I-V et P-V de panneau B-Poly150W.....	42
Figure III.19 : Caractéristiques I-V et P-V de panneau C-Poly150W.....	43
Figure III.20 : Comparaison entre les résultats expérimentaux A-B-C des modules Poly-150W et la référence.....	43

Liste des tableaux

Chapitre I - Rappel sur les cellules photovoltaïques

Tableau I.1 : Les caractéristiques principales de soleil.....2
Tableau I.2 : Ensoleillement reçu en Algérie par région climatique3

Chapitre III - Résultats et discussions

Tableau III.1 : Les Spécifications des pyromètres CM11.....29
Tableau III.2 : Caractéristiques du capteur de température des modules.....29
Tableau III.3 : Résultats des paramètres de référence et de simulation pour
UDTS-50 W.....33
Tableau III.4 : Résultats des paramètres de référence et de simulation pour
ISOFOTON 100W.....34
Tableau III.5 : Résultats des paramètres de référence et de simulation pour
POLY R6A 150W.....34

Abréviations

URERMS	Unité de Recherche en Énergie Renouvelable
PPM	Point de puissance maximale
NOCT [kelvin]	Température d'utilisation de cellule
G	Eclairement solaire
EVA	Ethylène Vinyl Acetate
STC	Conditions standards de test

Symboles

R_d	Rayonnement diffusé
R	Diffusé issu du sol
R_b	Rayonnement direct.
H_{gh}	Rayonnement global globale
H	Constant de Planck (J.s)
N	Fréquence du photon (\square^{-1})
C	Vitesse de la lumière dans le vide $299792458 \text{ m.s}^{-1}$
λ	Longueur d'onde du photon (m)
V_{oc}	Tension du circuit ouvert
I_{cc}	Courant de court-circuit
n_p	Nombre des cellules en parallèle
n_s	Nombre des cellules en série
N_s	Nombre des modules en série
N_p	Nombre des modules en parallèle
I_0	Courant de saturation inverse de la diode
V_T	Tension thermique pour un modèle de diode (potentielle thermodynamique)
K	Constant de Boltzmann ($1.38.10^{-23}$ joule/kelvin)
T	Température de la cellule en kelvin
Q	Charge d'un électron $1.6.19^{-19} \square$

A	Facteur d'idéalité de la jonction
V	Tension aux bornes de la cellule
$I_{PV} [A]$	Photo courant
I_D	Courant de diode
$I_{sh} [A]$	Courant shunt
$I[A]$	Courant délivré par le générateur
$E[W/m^2]$	Eclairement global sur le plan des modules
$E_{ref} [1000W/m^2]$	Eclairement de référence
$T_C [kelvin]$	Température de la cellule
$T_{cref} [298Kelvin]$	Température de référence de la cellule
$T_a [kelvin]$	Température ambiante
$T_{aref} [kelvin]$	Température de référence ambiante
$R_S [\Omega]$	Résistance série du module
R_{sh}	Résistance shunt du module
I_{cref}	Courant de court-circuit de référence
V_{ocref}	Tension à vide de référence
I_{oref}	Courant référence de saturation inverse de diode
E_g	Energie de gap pour le silicium cristalline 1.12 eV
P_{max}	Puissance de référence crête
I_{opt}	Courant optimal de référence
V_{opt}	Tension optimale de référence
FF	Facteur de forme

Introduction Générale

Introduction générale

Durant les dernières décennies les besoins énergétiques mondiaux sont augmentés dans notre vie, c'est ce qui confirme que l'énergie est très importante pour le développement du monde. Elle a deux types, énergie renouvelable ou non-renouvelable. Nous avons déjà rencontré des problèmes causés par l'émission de gaz à effet de serre ou de pollution, donc la production de l'énergie à partir des sources renouvelables semble être une solution. Parmi ces énergies on a l'énergie solaire qui est bien utilisée dans l'Algérie.

L'énergie solaire photovoltaïque c'est la source la plus prometteuse et la plus puissante parmi les énergies renouvelables grâce à ses avantages. Cette énergie obtenue par la transformation de rayonnement solaire en énergie électrique, par un phénomène physique appelé l'effet photovoltaïque, utilisant des modules on l'appelle cellule solaire photovoltaïque qui doit produire de l'énergie lorsque elle est exposée à la lumière.

Pour la production de l'énergie solaire et la qualité de la performance délivrée par les panneaux photovoltaïques, on doit noter les facteurs qui contrôlent cette performance comme les stratégies de regroupement de ces panneaux. On a aussi l'éclairement et la température qui sont très importantes pour la régulation de point de la puissance maximale. Il est possible de faire une prédiction pour la performance des cellules solaires qui représente un générateur photovoltaïque, ce qui exprime le nombre des études concentrées sur l'extraction des paramètres des modules photovoltaïques qui permet de modéliser et optimiser leurs différentes caractéristiques. Ces méthodes qui aident à l'identification des paramètres PV permettent de trouver les facteurs limitant les performances des cellules solaires.

Notre travail présente une méthode d'itération utilisée pour l'extraction des paramètres des cellules solaires qui sont fonctionnées pendant une période dans un site saharien (Cité d'Adrar). Cette technique permet de déterminer les paramètres importants de la cellule testée : le photocourant, le courant de saturation, la résistance série, la résistance parallèle, le facteur d'idéalité, la valeur de la puissance maximale en plus de la présentation des caractéristiques I-V et P-V. On utilise des modules de références pour vérifier la précision de notre résultat et faire comparer entre les modules photovoltaïques.

Pour cela nous allons présenter notre plan de travail de la façon suivante :

Commençons par cette introduction générale qui pose notre idée initiale, le travail est divisé en trois chapitres organisés comme suit : Le premier chapitre parle sur les principes fondamentaux de l'énergie photovoltaïque, des notions de base sur le soleil. Ce chapitre exprime aussi le principe de fonctionnement des panneaux solaires et ses types.

Dans le deuxième chapitre nous avons exprimé la représentation électrique d'une cellule photovoltaïque, la méthode d'extraction des paramètres PV puis on a expliqué l'algorithme utilisé dans cette étude. On a aussi parlé de l'influence de deux paramètres qui sont la résistance série et la résistance parallèle.

Dans le troisième chapitre, nous avons discuté la dégradation des modules photovoltaïques causés par des facteurs externes pendant la durée de fonctionnement. Nous avons aussi analysé et discuter les résultats obtenu avec le logiciel MATLAB pour des différent types des panneaux photovoltaïques afin de comparer ses caractéristique avec les paramètres d'un module de référence pour avoir le degré de dégradation de ces panneaux.

A la fin, on va obtenir une conclusion générale qui résume le travail et exprime les points essentielles.

Chapitre 7 : Rappel sur les
photovoltaïques

I.1 Introduction

Ce premier chapitre est basé sur les principes généraux et fondamentaux de l'énergie photovoltaïque, aussi le chapitre est constitué de trois grandes parties.

La première partie est consacrée sur l'étude générale sur le soleil et l'énergie solaire, ainsi qu'une étude sur le gisement solaire dans les sites sahariens. Aussi il parle de rayonnement solaire et ses différents types.

La deuxième partie est concentré sur l'action photovoltaïque, les types de panneaux photovoltaïques et le principe des fonctionnent.

A la fin de ce chapitre, on parle de l'association des panneaux solaires et des différents types de connexion de ces panneaux, ainsi que ses caractéristiques électriques et de leurs performances.

Enfin, nous avons résumé ce chapitre et exprimé les principaux points.

I.2 Le soleil

Le soleil est l'étoile qui représente le centre de notre système solaire. Il donne la lumière et la chaleur à la terre et aux autres planètes qui compose ce système solaire. Ces planètes tournent autour de soleil qui est composé de différent gaz comme l'hydrogène et l'Hélium et autre composante .Le soleil est considéré comme une source très important de l'énergie. A partir de la conversion de 700 million de tonnes d'hydrogènes en hélium qui permet de produise 5 millions de tonnes de pure énergie. [1]

Le soleil est le plus grand étoile de notre système et a les propriétés d'un corps noir avec une température de 5777 Kelvin. [1]. Le tableau suivant exprime les caractéristiques principales de soleil (**Tableau I.1**)

Diamètre (Km)	1392000	Masse volumique moyenne (Kg/m ³)	1408
Masse (Kg)	2.1030	Vitesse (Km/s)	217
Surface (Km ²)	6091012	Volume (Km ³)	1411018
Distance du centre de la voie lactée (Km)	251017		

Tableau I.1 : Les caractéristiques principales de soleil [2]

I.2.1 L'énergie solaire

La meilleure ressource d'énergie pour la terre c'est le soleil qui donne un rayonnement solaire avec une grande quantité et de façon continue. Cette énergie émis par le soleil est absorbé par la terre pendant une heure seulement peut être suffisante à couvrir les besoins de monde pendant une année. Le soleil produit une grande énergie toujours, et la terre absorbe une petite

quantité de cette énergie à cause de la grande distance (150 million Km) entre le soleil et la terre.

L'énergie solaire est disponible partout sur terre. Chaque mètre carré reçoit en moyenne de 2 à 3 kWh/jour en Europe du Nord, 4 à 6 kWh/jour en région Provence Alpes Côte d'Azur (PACA), ou entre les tropiques et en Algérie reçoit, soit près de 3000 heures d'ensoleillement par an et une irradiation variant entre 4 et 7 kWh/jour près de 1700 kWh/m²/an au nord et 2263 kWh/m²/an au Sud du pays.[3]

I.2.2 Gisement solaire en Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire sur une période donnée. Il est utilisé pour essayer de faire fonctionner des systèmes solaires. L'Algérie possède un vaste champ solaire. Comme son emplacement géographique est indiqué dans la figure ci - dessous :

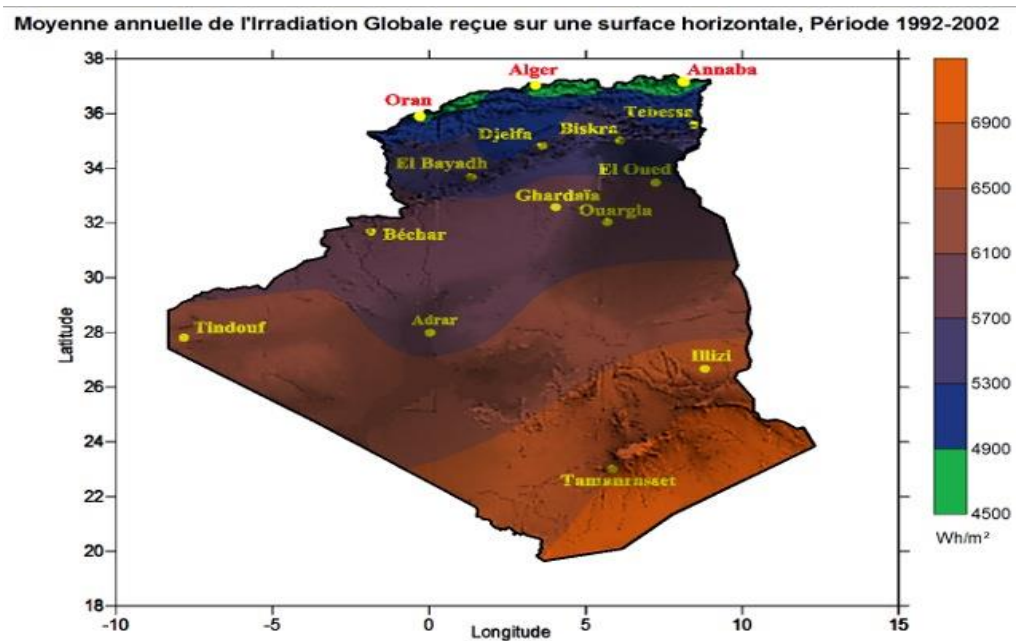


Fig. I.1 : Une nouvelle carte de l'irradiation solaire en Algérie publiée par le CDER à l'occasion du solstice d'été [33]

La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.1 selon l'ensoleillement reçu annuellement [4]

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Énergie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau I.2 : ensoleillement reçu en Algérie par région climatique

I.3 Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet (0.2 μ m) à l'infrarouge lointain (2.5 μ m). Afin de caractériser le spectre solaire en termes d'énergie émise on utilise la notion AM pour la masse d'air. Pour faire calculer de la distance traversée par les rayons, il est nécessaire d'introduire une notion de masse d'air (AM), elle correspond à la longueur relative du parcours à travers l'atmosphère terrestre traversée par le rayonnement solaire direct [5].

La figure suivant présente le spectre de rayonnement solaire :

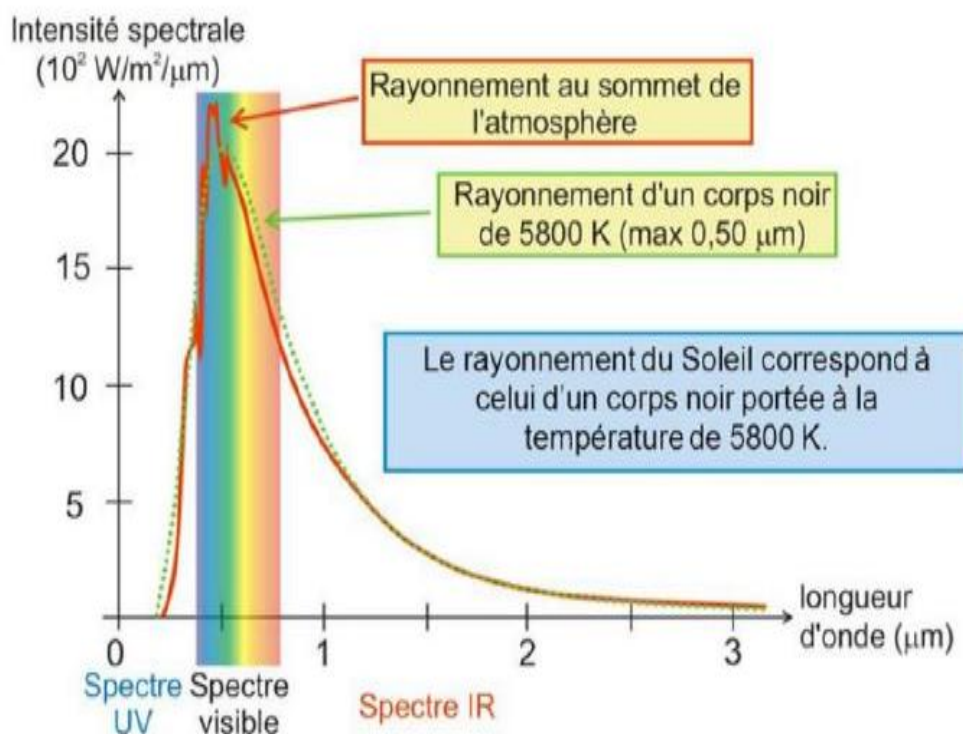


Fig.I.2 : Spectre du rayonnement solaire reçu hors atmosphère [6].

I.3.1 Types des rayonnements solaires Le rayonnement solaire peut être sous forme :

✓ **Rayonnement direct**

Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant de disque soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère [5].

✓ **Rayonnement diffus**

C'est la partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi multiples réflexions (dispersions), dans l'atmosphère [5].

✓ **Rayonnement réfléchi**

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable...). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lien appelé Albédo (ϵ) $0 \leq \epsilon \leq 1$ [5].

✓ **Rayonnement global**

Au sol, un plan reçoit un rayonnement global qui est le résultat de la superposition des trois compositions direct, diffus et réfléchi [5].

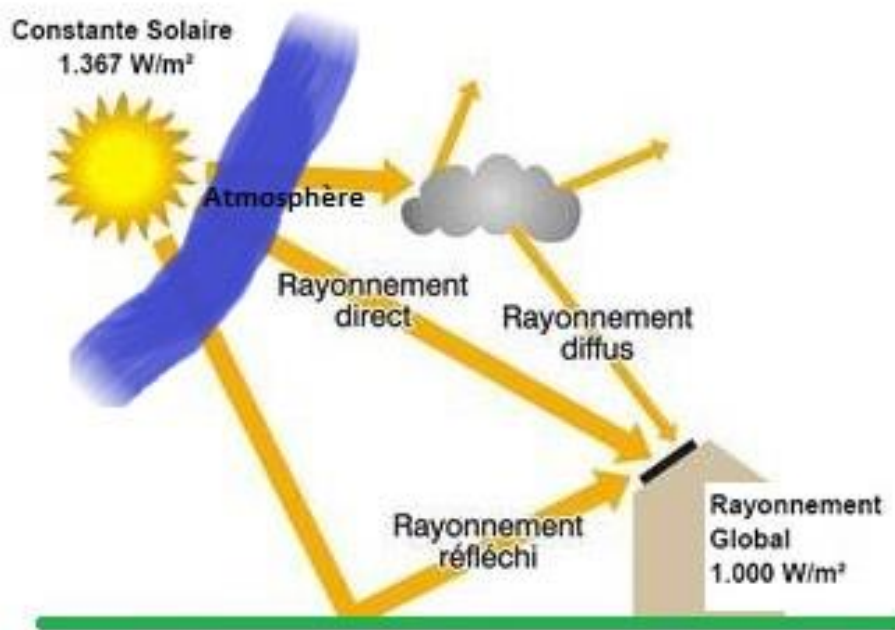


Fig. I.3 : Les différentes composantes du rayonnement solaire [32]

I.4 Effet photovoltaïque

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 composant semi-conducteur appelé cellule solaire.

L'effet photovoltaïque ne peut se produire que s'il existe une barrière de potentiel dans le semi-conducteur avant qu'il ne soit éclairé. Une telle barrière existe, par exemple, à l'interface entre deux volumes dopés différemment c'est à dire où l'on a introduit deux types différents d'impuretés à concentration différente, par exemple de type P-N. Si ce matériau est éclairé, les charges électriques, rendus mobiles par la lumière (l'effet photoélectrique), seront séparées par la barrière avec d'un côté les charges positives et de l'autre côté les charges Négatives.

Parmi les matériaux semi-conducteurs les plus utilisés on trouve le silicium, le germanium, le sulfure de Gallium et l'arséniure de Gallium [7]

I.4.1 Effet de la température

L'équation de Boltzmann donne $I_{sc} = I_0 \exp(q \cdot \frac{I_0}{kT})$, l'expérience montre que la tension de circuit ouvert d'une cellule solaire diminue avec l'augmentation de la température de la cellule.

Nous présentons ci-dessous les caractéristiques I-V et P-V d'un module photovoltaïque pour un niveau d'ensoleillement G donné et pour différentes températures : Pour la figure (I.4) on observe que le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, donc on dit que la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente figure (I.5).

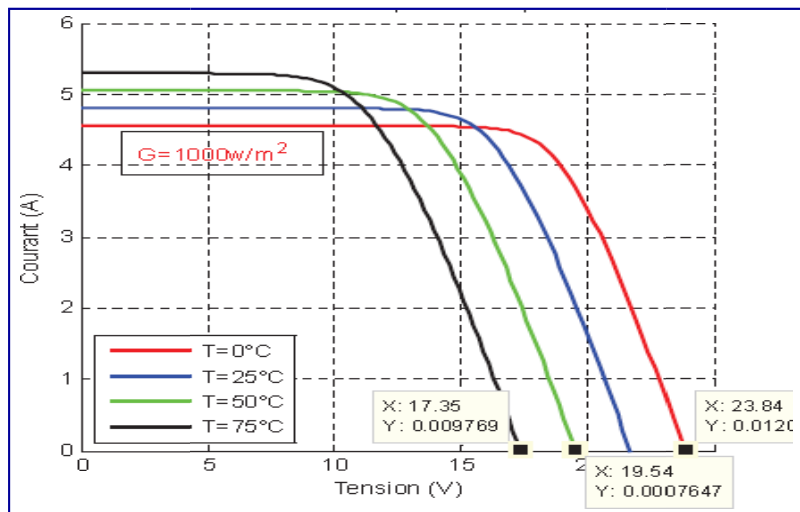


Fig.I.4 : La caractéristique de I=f(V) en fonction de température [34]

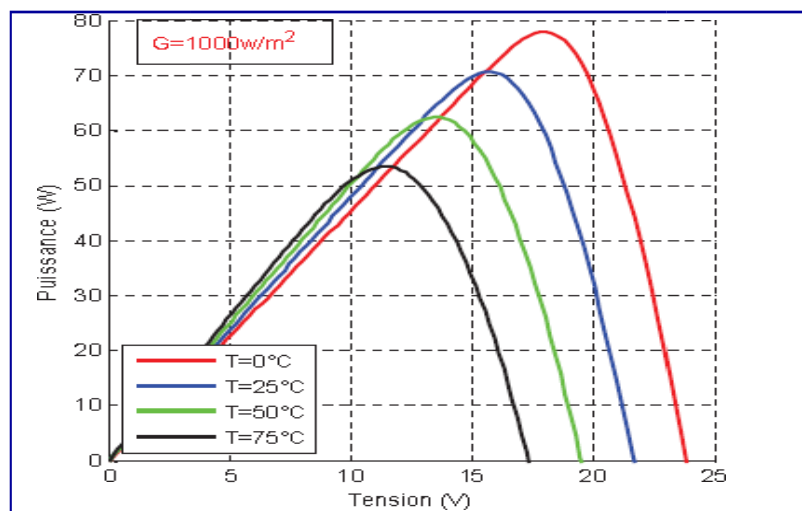


Fig.I.5 : La caractéristique de P= f(V) en fonction de température [34]

I.4.2 Effet de l'éclairement

Le même travail comme précédente, on fixe la température pour des différentes irradiances solaires.

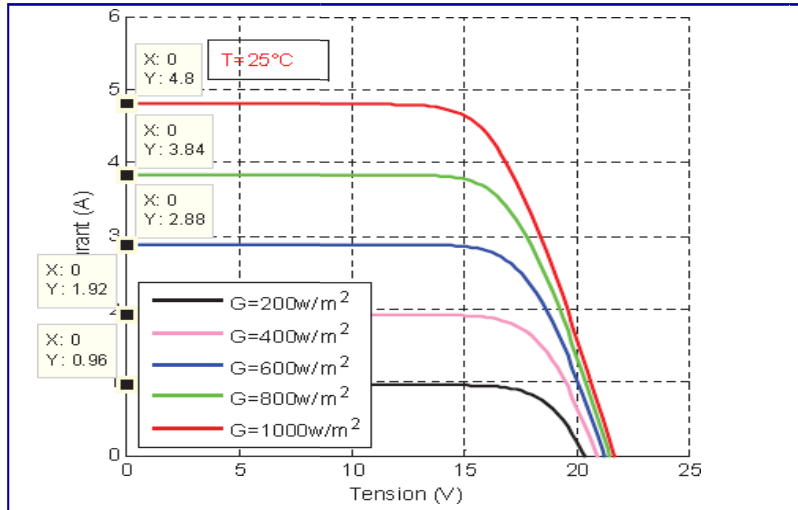


Fig.I.6 : La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement [34]

Éclairements figure (I.6 et I.7). On observe dans la figure (I.6) que pour l'éclairement $G=1000 \text{ w/m}^2$ le courant $I_{sc}=4.8\text{A}$ et pour $G=800\text{w/m}^2$ le courant $I_{sc}=3.84\text{A}$ on peut voir que le courant subit une variation importante, quand l'éclairement augmente le courant de court-circuit est augmenté, mais par contre la tension varie légèrement .Ce qui se traduit par une augmentation de la puissance, lorsque l'éclairement est augmenté figure (I.7).

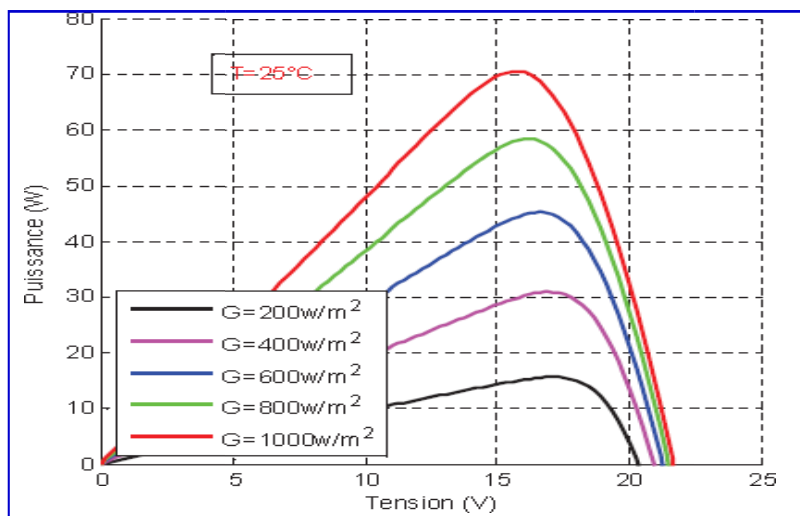


Fig.I.7 : La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement [34]

I.5 Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est le plus petit composant d'une installation photovoltaïque. Elle est constituée de matériaux semi-conducteurs dans lesquels l'énergie lumineuse est convertie en énergie électrique. La cellule photovoltaïque se compose d'une fine couche semi-conductrice (matériau possédant une bande interdite, qui joue le rôle de barrière d'énergie que les électrons ne peuvent franchir sans une excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électroniques) tel que le silicium, qui est un matériau présentant une conductivité électrique relativement bonne, d'une couche anti-reflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires, d'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode[34].

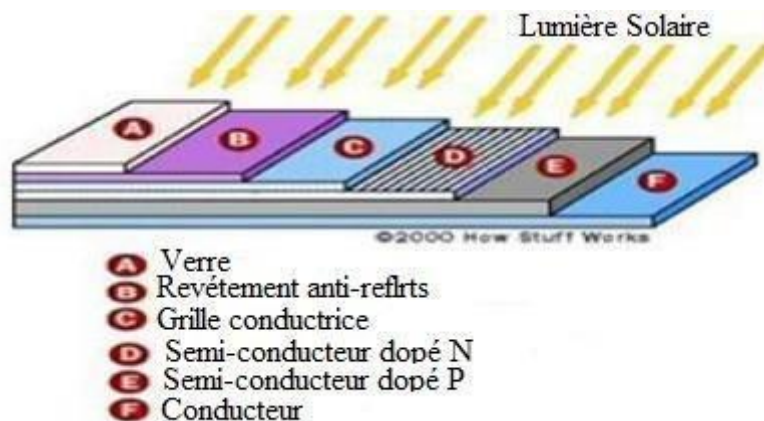


Fig.I.8 Structure basique d'une cellule solaire [34]

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule. [8]

I.5.1 Les types des cellules PV

I.5.1 Cellule au Silicium monocristallin

Pour ce genre d'applications technologiques, le silicium pur est obtenu à partir de la silice de quartz ou de sable par transformation chimique métallurgique.

Le silicium a un rendement électrique et une durée de vie de l'ordre de deux fois celle du silicium amorphe, mais il est nettement plus cher [29].

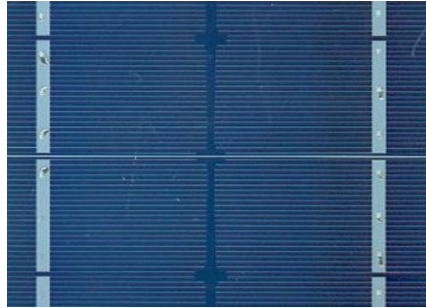


Fig.I.9 Cellule au Silicium monocristallin [29]

I.5.1 Cellule au Silicium poly-cristallin

Le silicium poly-cristallin est un matériau composé de cristaux juxtaposés obtenus par moulage. Ce matériau est moins coûteux (que le mono-cristallin). Les cellules carrées ou rectangulaires sont faciles à utiliser [30].



Fig.I.10 Cellule au Silicium poly-cristallin [30]

I.5.1 Cellule amorphe

Cellule au silicium amorphe: Le silicium absorbe le rayonnement solaire jusqu'à 100 fois mieux qu'en état cristallin; les cellules sont constituées par des couches très minces.

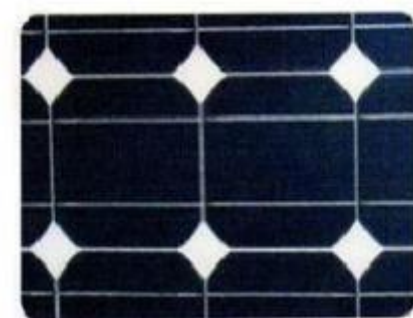


Fig.I.11 Cellule au Silicium amorphe [30]

I.5.1 Cellule organique

Observé depuis 30 ans dans les matériaux semi-conducteurs organiques, l'effet photovoltaïque a connu cette dernière décennie un grand essor.

Initialement donnant des valeurs très faibles de rendement de conversion, cette application particulière des semi-conducteurs organiques commence à attirer l'attention en 1986 lorsque l'équipe de Tang montre que les rendements qui sont égaux ou presque à un pourcent sont atteignables, conformément aux prédictions de Merritt en 1978. La cellule, composée alors d'une bicouche de molécules évaporées sous vide, atteint 0,95% de rendement de conversion. Ces cellules comprennent deux voies : la voie des cellules « humides » et la voie des cellules polymères organiques dites aussi cellules « plastiques ». Les progrès de ces technologies sont très rapides, des records de rendement sont très fréquemment battus (actuellement près de 6%). Le principal frein à ces technologies est actuellement la stabilité de leurs performances ainsi que leur durée de vie (actuellement environ 1000 heures) [9].

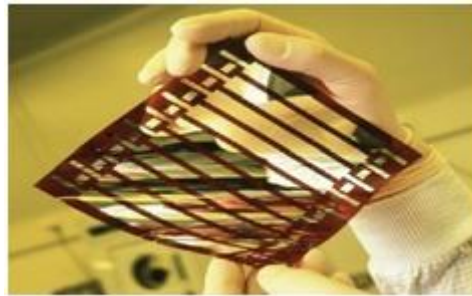


Fig.I.12 Cellule solaire organique sur substrat souple [9]

I.6 Principe de fonctionnement d'une cellule

La cellule photovoltaïque est la plus petite partie du panneau solaire et du système solaire, où au niveau de cette cellule a lieu l'acte photoélectrique responsable de la production d'énergie électrique et se compose de matériaux semi-conducteurs, mono ou double composé, où les rayons solaires sont convertis en électricité et cette conversion dépend de trois mécanismes physiques:

- * L'absorption des rayons solaires (photons) par le matériau qui compose la cellule, et l'énergie photon absorbée doit être supérieure à l'énergie de la bande interdite $E_{ph} = h\nu$
- * convertir l'énergie du photon en énergie électrique, qui conduit ou correspond à la création de trous électroniques
- * Les charges générées dans l'appareil sont collectées dans un circuit électrique.

Les cellules solaires sont des modes de fonctionnement basé sur les semi-conducteurs et de la jonction p-n . Un semi-conducteur est un matériau présentant une bande interdite E_g (eV) entre la bande de valence (BV) et la bande de conduction (BC), avec le niveau de Fermi dans la bande interdite. La position du niveau de Fermi contrôle la majorité des porteurs de charges. Dans un semi-conducteur de type n, les électrons sont les porteurs de charge

majoritaires, dans ce cas, le niveau de Fermi se situe près de la bande de conduction. Alors que, pour un semi-conducteur de type p, les trous se sont majoritaires, et donc, le niveau de Fermi est proche de la bande de valence. Lors du contact entre les zones p et n, les porteurs majoritaires de chacune propagent à travers la surface de contact, il se crée une zone chargée positivement du côté de la région n et une zone chargée négativement du côté de la région p. Cette zone de transition est appelée zone de charge d'espace (ZCE) ou bien la zone de déplétion. Le gradient de concentration des porteurs majoritaires induit la présence d'un champ électrique permanent dans cette ZCE à l'équilibre. Les niveaux de Fermi des deux zones s'égalisent, ce qui provoque unecourbure du diagramme de bande, introduisant une barrière de potentiel à l'interface . Une jonction p-n est formée par un semi-conducteur de type p et de type n. Lorsque lesdeux semi-conducteurs sont du même matériau, c'est l'homojonction comme le cas des cellules à base de silicium. Par contre, l'hétérojonction c'est la jonction formée par deuxMatériaux semi-conducteurs différents [10].

Le principe de la jonction est présenté dans la figure :

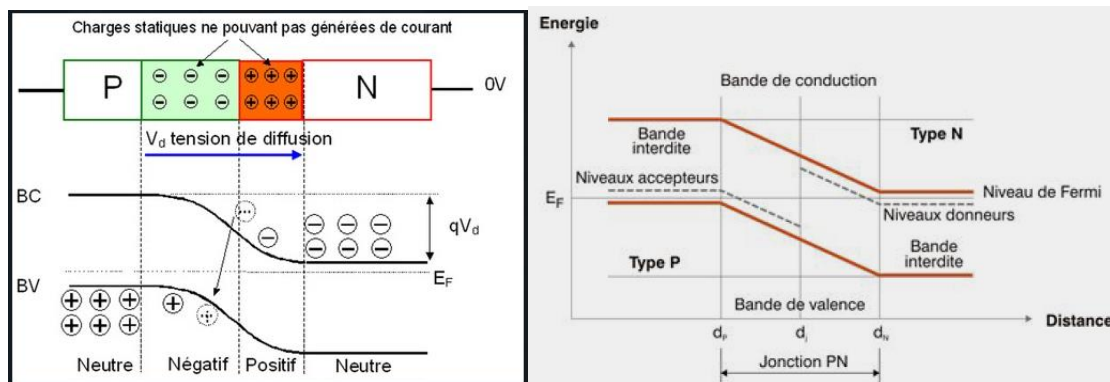


Fig.I.13: principe de fonctionnement d'une cellule [10]

I.7 Modules photovoltaïques

En associant les cellules PV en série (somme des tensions de chaque cellule) ou en parallèle (somme des intensités de chaque cellule), on peut constituer un générateur PV selon les besoins des applications visées. Les deux types de regroupement sont en effet possibles et souvent utilisés afin d'obtenir en sortie des valeurs de tension et intensité souhaités. Ainsi, pour N_s cellules en série, constituant des branches elles-mêmes N_p en parallèle, la puissance disponible en sortie du générateur PV est donnée par :

$$P_{pv} = N_c \cdot V_{pv} \cdot N_p \cdot I_{pv} \quad (I.1)$$

Avec :

P_{pv} : la puissance disponible en sortie du GPV

V_{pv} : la tension à la sortie du GPV

I_{pv} : le courant de sortie du GPV

I.7.1 Association en parallèle

Une association parallèle de (N_p) cellule est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques Connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants [11]

Avec :

$$I_{CCNP} = N_p \times I_{CC} \quad (I.2)$$

$$V_{CO} = V_{CONP} \quad (I.3)$$

Tel que : I_{CCNP} : la somme des courants de court circuit de (N_p) cellule en parallèle

V_{CONP} : tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle

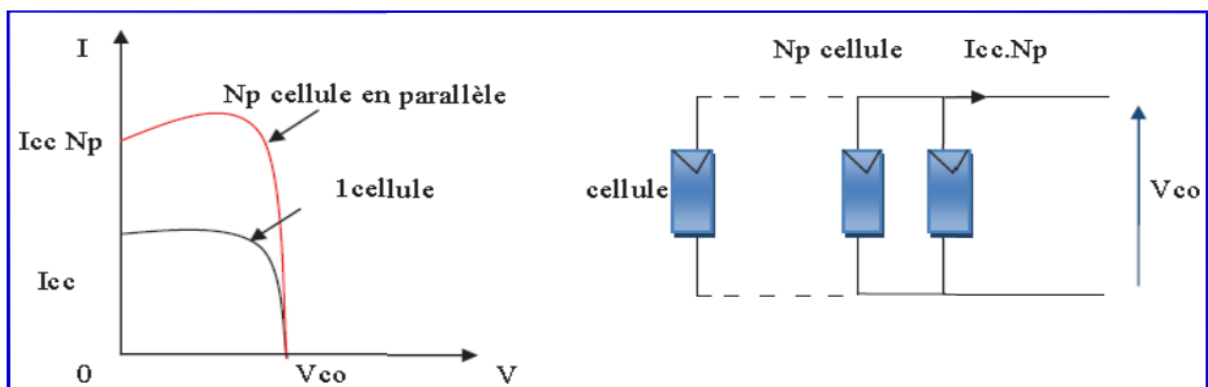


Fig.I.14 : Caractéristique courant tension de (N_p) cellule en parallèle [11]

I.7.2 Association en série

Une association de (N_s) cellule en série figure (I.15) permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation résume les caractéristique électrique d'une association série de (N_s) cellules [11].

$$V_{CONS} = N_s \times V_{CO} \quad (I.4)$$

$$I_{CC} = I_C \quad (I.5)$$

Avec :

V_{CONS} : La somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.

I_{CCNS} : Courant de court-circuit de N_s cellules en série.

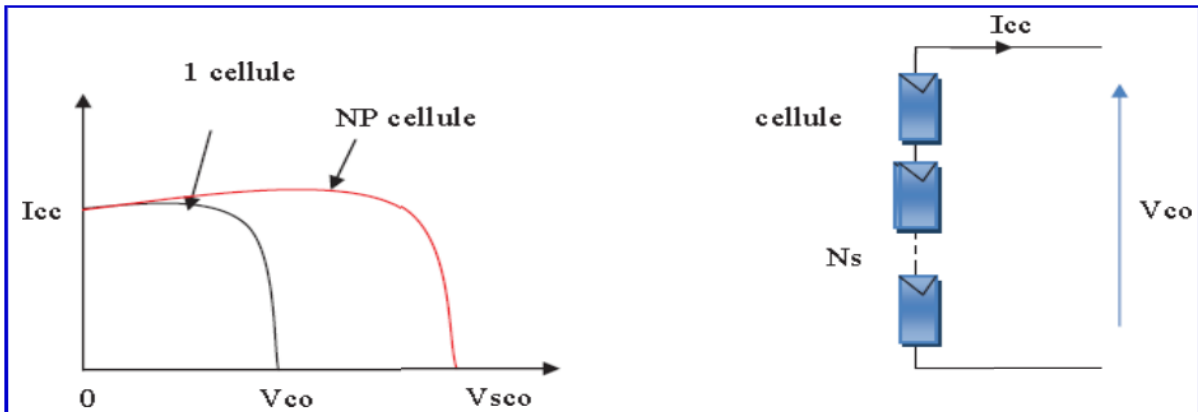


Fig.I.15 : Caractéristique courant tension de N_s cellule en série [11]

I.7.3 Association mixte (série et parallèle)

Pour élever la tension, les cellules sont associées généralement en séries sous forme de modules, ces modules sont ensuite associés en réseau série-parallèle de façon à obtenir la tension et le courant désirés. Cette association doit être réalisée en respectant des critères précis, en raison des déséquilibres apparaissant dans un réseau de modules en fonctionnement. La figure (I.16) présente un tel groupement de N_{ms} modules en série dans une branche, et N_{bp} branches en parallèle. Si P_m est la puissance crête disponible sur un module, la caractéristique électrique globale courant-tension du panneau PV sera N_{ms} , N_{bp} , p_m dans le cas idéal, où tous les modules ont des caractéristiques électriques identiques. L'influence de l'éclairement et de la température sur le courant de court-circuit et la tension de circuit ouvert reste la même que pour la cellule élémentaire. [12]

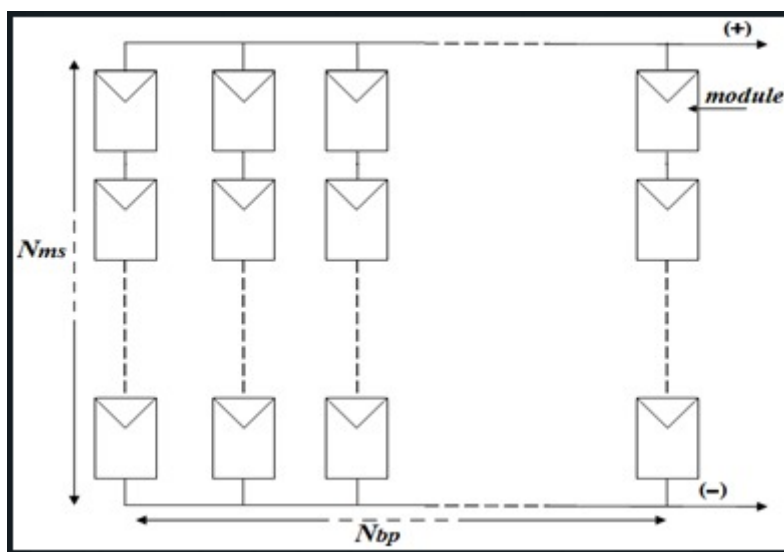


Fig.I.16 : Groupement des modules en série- parallèle [12]

I.8 Caractéristiques électriques d'un cellule PV

Le courant délivré sur une charge par une cellule photovoltaïque éclairée s'écrit :

$$I(V) = I_{ph} - I_{obsc} \tag{I.6}$$

Avec :

I_{obsc} : courant d'obscurité.

Pour une cellule photovoltaïque idéale, l'équation précédente peut être écrite sous la forme:

$$I(V) = I_{cc} - I_s (\exp (q \times V / A \times k \times T_j) - 1) \tag{I.7}$$

Avec :

I_s : le courant de saturation de la diode (A).

K : la constante de Boltzmann est égale à $1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K

A : le facteur d'idéalité de la diode.

T_j : la température de jonction (°C).

q : la charge de l'électron ($1.6 \cdot 10^{-19}$ C)

Il y'a deux courant qui sont opposé dans une cellule photovoltaïque : le courant d'éclairement et le courant de diode appelé courant d'obscurité qui résulte de la polarisation du composant. La caractéristique a l'allure présentée sur la figure (I.17). [13]

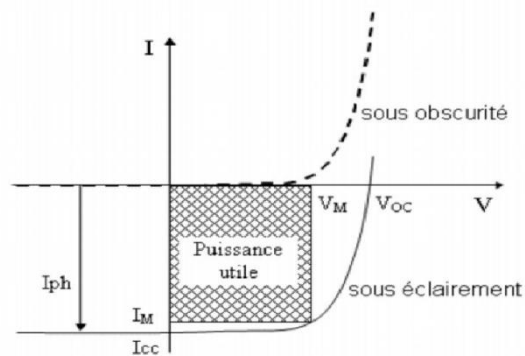


Fig.I.17 : Caractéristique $I=f(V)$ sous obscurité et sous éclairement d'une cellule Photovoltaïque [31].

I.9 Facteur de forme FF

C'est un paramètre important car il dépend de la détermination du type de cellule photovoltaïque ou de générateur et il représente également le pourcentage maximum d'énergie que la cellule peut fournir P_{max} .

Quand la puissance exploitable sera grande donc le facteur est grand. L'objet qui fait compromis technologie pour atteindre le plus possible les caractéristiques idéales c'est des meilleures cellules. Ce facteur est défini par la relation suivante: [14]

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} \cdot V_{co}} = \frac{V_{np} \cdot I_{np}}{I_{cc} \cdot V_{co}} \tag{I.8}$$

Avec:

P_{max} : La puissance maximale (W).

I_{np} : Le courant à la puissance maximal de fonctionnement de la cellule photovoltaïque (A)

V_{np} : La tension à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule photovoltaïque (V)

I.10 Le rendement

La relation entre l'énergie maximale fournie par la cellule et la puissance de la lumière incidente (P_m) est appelé le rendement (η) de la cellule et s'exprime en pourcentage

$$\eta = P_m/P_{in} = (FF \cdot V_{co} \cdot I_{cc})/P_{in} \quad (I.9)$$

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension à circuit ouvert. A température et éclairage constants, le rendement d'une cellule solaire dépend de la charge dans le circuit électrique.

I.11 Conclusion

On a parlé dans ce premier chapitre sur la généralité des énergies solaires, et pour les caractéristiques de notre région. On a parlé aussi de rayonnement solaire et ses types, puis on a défini l'effet photovoltaïque, on a exprimé encore l'effet de la température et l'effet de l'éclairement sur les cellules solaires, parlons de ces derniers, on a mentionné les types des cellules et leur principe de fonctionnement avec les types d'associations. Puis on a cité des paramètres comme le rendement et le facteur de forme.

Ce travail décrit les caractéristiques de l'énergie première (énergie solaire) pour le but d'augmenter et améliorer le rendement des cellules solaires dans certaines conditions. Le chapitre suivant est pour la modélisation des modules photovoltaïques et nous allons parler de l'influence des différentes conditions telles que la température et l'éclairement sur le rendement.

*Chapitre 77 - Modélisation et
estimation des paramètres physiques de
modules L-V*

II.1 Introduction

Dans le but de développement des modules photovoltaïques, et pour l'amélioration de performance, il est nécessaire de savoir les caractéristiques électriques de la cellule.

L'extraction des paramètres utilisant un algorithme permet d'étudier les points importants dans ces modules qui contrôlent le rendement. Dans ce chapitre on va faire la modélisation des certaines panneaux dégradés de différent puissance

II.2 Représentations électriques d'une cellule PV

II.2.1 Modèle idéal

Lorsqu'on parle de modèle idéal, c'est le modèle le plus simple pour représenter une cellule solaire. Parlant d'un circuit simplifié qui se compose d'un générateur de courant I_{ph} et d'une diode montée en parallèle [17]. Délivrant un courant selon la figure II.1 :

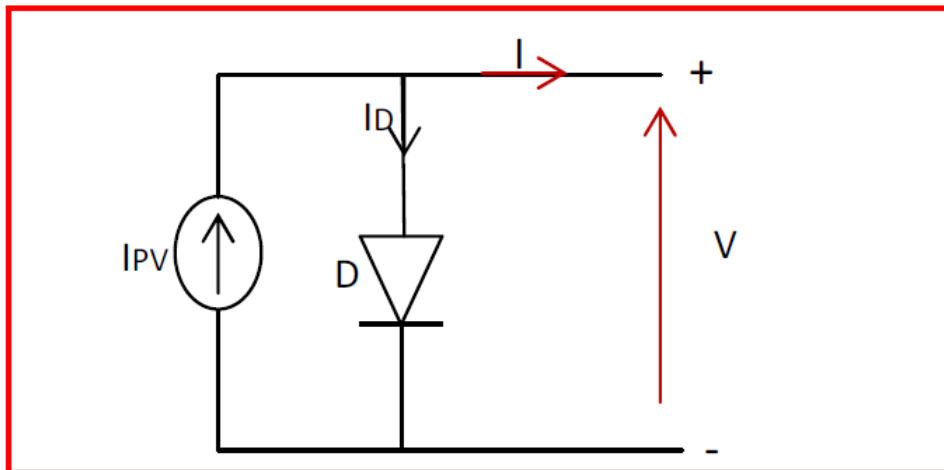


Fig.II.1 : Circuit équivalent d'une cellule PV - Modèle idéal [17].

On a :

$$I = I_{ph} - I_D \quad (II.1)$$

Avec :

I : Courant délivré par la cellule (A)

I_{PV} : Courant de court-circuit (A)

I_D : courant dans la diode (A)

La caractéristique IV d' une diode est une caractéristique non linéaire donné par la relation:

$$I_D = I_0 (e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1) \quad (II.2)$$

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 (e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1) \quad (II.3)$$

$V_t = A.K.T_j/q$: potentiel thermique

K : la constante de Boltzmann est égale à $1.38e-38J/K$

A : le facteur d'idéalité de la jonction

Tj : la température de jonction (°C)

Is : le Courant de saturation de la diode (A)

q : la charge de l'électron

V : tension délivré par la cellule (V)

Vd : la tension aux bornes de la diode (V)

II.2.2 Modèle à une diode

Ce model tient compte des pertes en tension exprimée par la résistance série Rs et aussi des fuites de courants exprimées par une résistance parallèle Rsh.

C'est le modèle sur lequel s'appuient les constructeurs en donnant les caractéristiques techniques de leurs cellules solaires (data sheet).il est aussi considéré satisfaisant et même une référence pour les constructeurs pour cataloguer typiquement les modules solaires.[17]

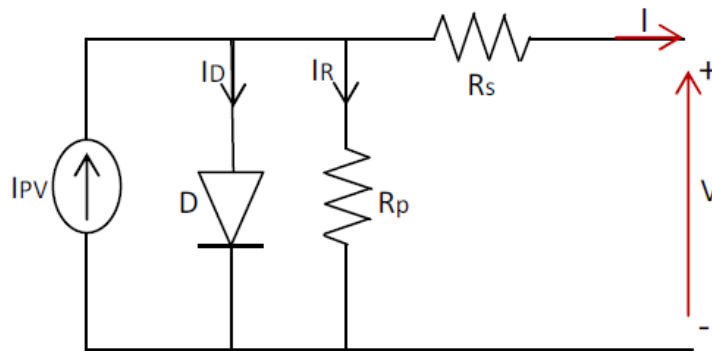


Fig.II.2 : Circuit équivalent d'une cellule PV (modèle à une diode) [17]

Pour analyser le courant de sortie (I) et la tension (V) du système PV, la cellule solaire est traditionnellement représentée par le modèle bien connu de cinq paramètres. Dans [22], le modèle est simplifié en quatre paramètres en supposant que la résistance parallèle est infinie. Comme indiqué dans la figure II.3, le modèle utilisé dans ce travail se compose de cinq paramètres qui doivent être connu pour décrire la relation I-V de la cellule solaire. Utilisation de la loi nœud de Kirchhoff [17]

$$\mathbf{I = I_{ph} - I_D - I_{sh}} \quad \mathbf{(II.4)}$$

La diode (A) aux bornes de la diode de jonction P-N I_{sh} est le courant de fuite (A) provoqué par la résistance du shunt R_{sh} .

Par substitution des expressions pertinentes d' I_D et d' I_{sh} , l'équation relative au courant et à la tension fournie par une cellule solaire PV individuel [20] est obtenue comme suit

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + R_s I)}{NKTc} \right) \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (II.5)$$

Où

I_D est le courant de saturation de la diode (A),

R_s est la résistance série (Ohm)

R_{sh} est la résistance parallèle/parallèle (Ohm)

$V_t = nKT/q$ est la tension thermique de la diode

n est le facteur d'idéalité de la diode

q est la Charge électronique ($1.602 \cdot 10^{-19}C$)

K est la constante de Boltzmann ($1.381 \cdot 10^{-23} J/K$)

T est la température (K) de la cellule photovoltaïque Sur la base de (2)

Si les cellules solaires NS sont connectées en série dans le module PV, la relation non linéaire I_m - V_m est donnée dans l'équation (II.3) [17].

$$I_M = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V_M + R_s I_M N_s)}{N_s V_t} - 1 \right) \right] - \frac{V_M + R_s I_M N_s}{N_s R_{sh}} \quad (II.6)$$

Le courant de sortie I_p et la tension V_p du générateur photovoltaïque contenant des chaînes N_p en parallèle et des modules N_m connectés en série et des cellules N_c en série pour chaque module, est donné par :

$$I_p = N_p I_L - N_p I_0 \left[\exp \left(\frac{(V_p + R_s I_p \frac{N_s}{N_p})}{N_s V_t} - 1 \right) \right] - \frac{V_p + R_s I_p \frac{N_s}{N_p}}{\frac{N_s R_{sh}}{N_p}} \quad (II.7)$$

Où

$$N_s = N_m N_c \quad (II.8)$$

II.3 Méthode d'extraction des paramètres

Pour résoudre le comportement non linéaire de la relation courant-tension du système PV présenté dans Eq (II.7), au moins cinq équations algébriques contenant I_L , I_0 , R_s , R_{sh} et n paramètres sont nécessaires avec les données mesurées fournies par le fabricant en trois points principaux comme indiqué sur la Fig II.2 , le courant de court-circuit I_{cc} , la tension de circuit ouvert V_{oc} , la tension MPP V_m et le courant I_m , qui sont tous aux conditions de la condition de référence standard STC pour évaluer les modules PV. Le STC fait référence à 1000, Au point de circuit ouvert : $I=0$, $V=V_{oc}$. Substituer ces valeurs en Eq (II.7) donne [17]

$$0 = N_p I_{L.ref} - N_p I_{0.ref} \left[\exp \left(\frac{(V_{oc.ref})}{N_s V_{t.ref}} - 1 \right) \right] - \frac{V_{oc.ref} N_p}{N_s R_{p.ref}} \quad (II.8)$$

Où

$$V_{t.ref} = n_{ref}KT_{ref}/q \quad (II.9)$$

Au point de court-circuit : $V=0, I=I_{cc}$. Eq. (II.7) donc peut être réécrit comme suit:

$$I_{cc.ref} = N_p I_{L.ref} - N_p I_{0.ref} \left[\exp \left(\frac{R_{s.ref} I_{cc.ref}}{N_p V_{t.ref}} \right) - 1 \right] - \frac{R_{s.ref} I_{cc.ref}}{R_{sh.ref}} \quad (II.10)$$

Au point de puissance maximum sous STC; $I=I_m$ et $V=V_m$

$$I_m = N_p I_{L.ref} - N_p I_{0.ref} \left[\exp \left(\frac{(V_{m.ref} + R_{s.ref} I_{m.ref} \frac{N_s}{N_p})}{N_p V_{t.ref}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{m.ref} + I_{m.ref} R_{s.ref} \frac{N_s}{N_p}}{\frac{N_s}{N_p} R_{sh.ref}} \quad (II.11)$$

Au point de puissance maximale, la dérivée de la puissance à la tension est nulle. Si en STC

$$\frac{\partial P}{\partial V_{P=P_{max,STC}}} = I + V \frac{dI}{dV} = 0 \quad (II.12)$$

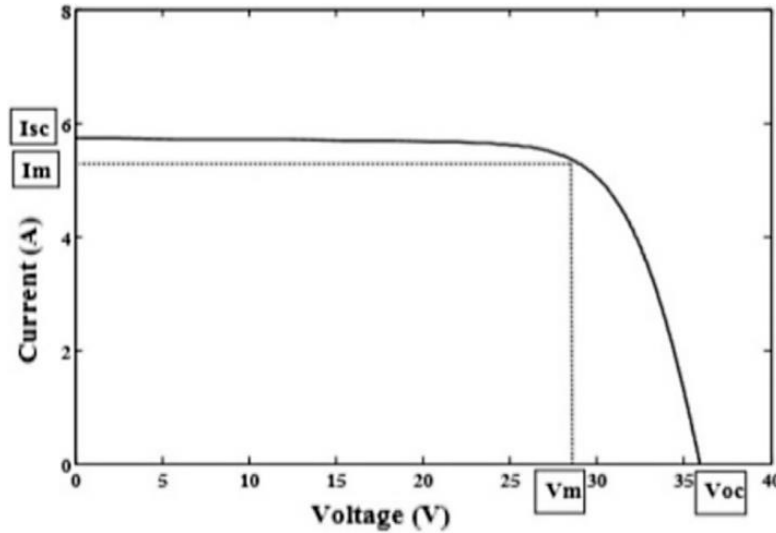


Figure.II.3 Courbes typiques I-V et P-V du module PV [24]

L'eq. (II.7) sera :

$$\frac{I_{m.ref}}{V_{m.ref}} = \frac{\frac{N_s}{N_p} I_{0.ref} \exp \left(\frac{(V_{m.ref} + R_{s.ref} I_{m.ref} \frac{N_s}{N_p})}{N_p V_{t.ref}} \right) + \frac{1}{\frac{N_s}{N_p} R_{sh.ref}}}{1 + \frac{R_{s.ref}}{V_{t.ref}} I_{0.ref} \exp \left(\frac{(V_{m.ref} + R_{s.ref} I_{m.ref} \frac{N_s}{N_p})}{N_p V_{t.ref}} \right) + \frac{R_{s.ref}}{R_{sh.ref}}} \quad (II.13)$$

La résistance shunt affecte la pente de la caractéristique I-V au courant du court-circuit, comme le montre la figure II.3. Ainsi, la cinquième et dernière équation pourrait être déterminée comme suit :

$$\frac{dI^{V=0}}{dV_{I=I_{cc}}} = \frac{1}{R_{sh.ref}} \quad (II. 14)$$

$$\frac{\frac{N_s}{N_p V_{t.ref}} I_{0.ref} \exp\left(\frac{\left(V_{m.ref} + R_{s.ref} I_{m.ref} \frac{N_s}{N_p}\right)}{N_p V_{t.ref}}\right) + \frac{1}{\frac{N_s}{N_p} R_{sh.ref}}}{1 + \frac{R_{s.ref}}{V_{t.ref}} I_{0.ref} \exp\left(\frac{\left(V_{m.ref} + R_{s.ref} I_{m.ref} \frac{N_s}{N_p}\right)}{N_p V_{t.ref}}\right) + \frac{R_{s.ref}}{R_{sh.ref}}} = \frac{1}{R_{sh.ref}} \quad (II. 15)$$

II.4 Présentation des paramètres statistiques RMSE

II.4.1 L'erreur quadratique moyenne RMSE

RMSE est une mesure de la répartition de ces résidus. En d'autres termes, il vous indique à quel point les données sont concentrées autour de la ligne de meilleur ajustement. [16]

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (II. 16)$$

II.5 Modélisation de l'algorithme

Utilisation des équations. (8) - (11), (13) et (15), les cinq paramètres du modèle peuvent être déterminés si les valeurs de Voc, Icc, Im, Vm aux conditions de référence sont disponibles. Pour résoudre le système d'équations non linéaires mentionné ci-dessus, nous avons besoin d'une méthode itérative. Dans ce travail, l'algorithme «Levenberg – Marquardt (LM)» [21] est utilisé dans Matlab sur la base du solveur d'équations non linéaires «fsolve» comme le montre l'organigramme de la Figure.II.4 Une fois que les valeurs des cinq paramètres sont obtenues dans des conditions de référence standard, le modèle peut prédire les performances de sortie de la cellule / module / panneau photovoltaïque sous STC. Sinon, ici module pourrait être généralisé à différent [24]

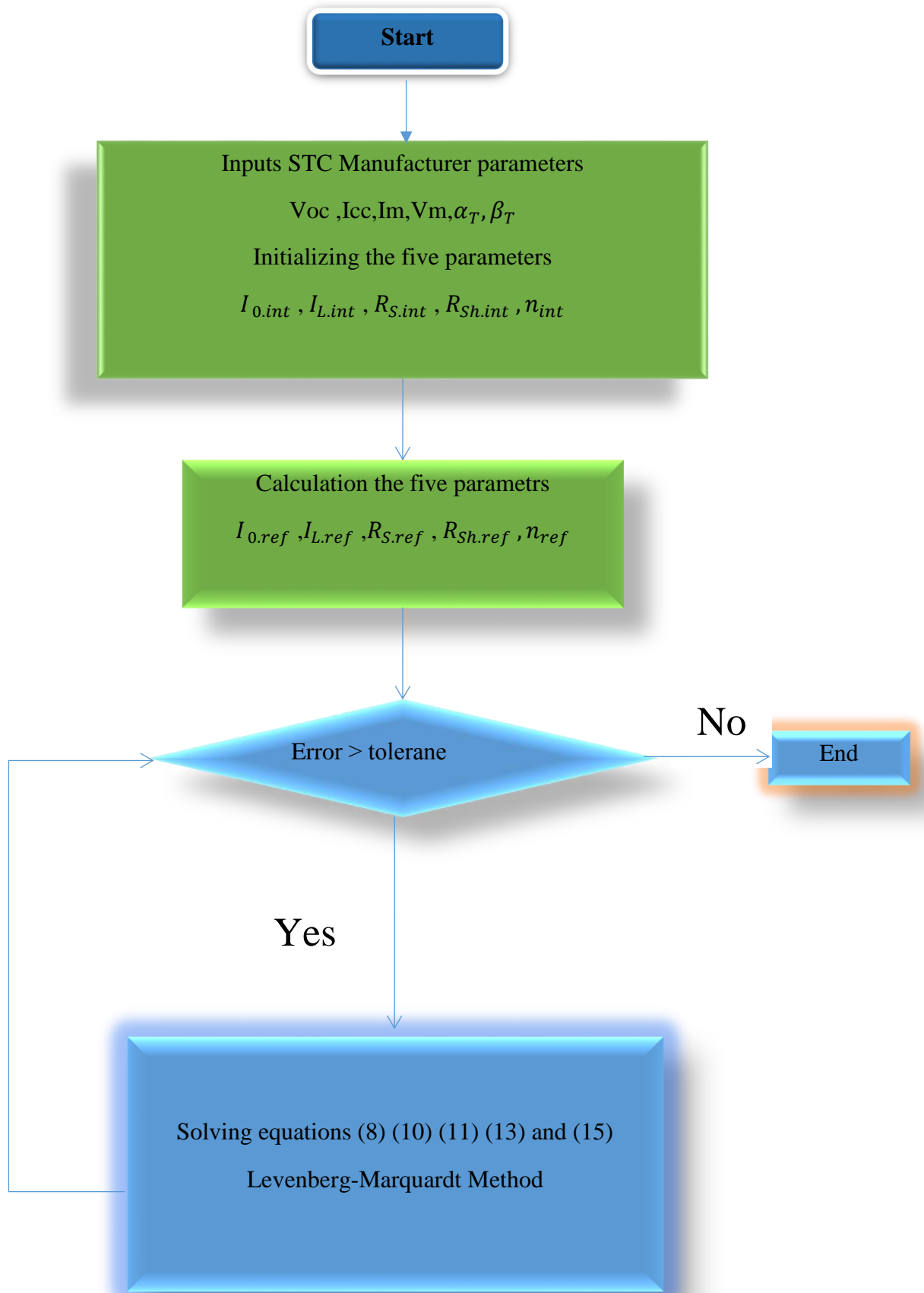


Fig.II.4 : montre un organigramme simplifié de l'algorithme de modélisation itérative [24].

Une fois les valeurs des cinq paramètres obtenues en STC, le modèle peut prédire les performances de sortie de la cellule / module / panneau photovoltaïque sous STC. Sinon, ce modèle pourrait être généralisé à différentes conditions environnementales grâce à l'éclairement solaire et la température de fonctionnement dépendance de I_L , I_0 , R_s , R_{sh} et n dans les équations. (17) - (23) ci-dessous [17].

Le courant I_L généré augmente légèrement avec la température parce que les plus grandes longueurs de diffusion des porteurs minoritaires, tandis que l'irradiance solaire a un impact sur le photo courant comme décrit dans l'Eq (17) [17].

$$I_L(G, T) = I_{L,ref} [1 + \alpha_{I_{sc}}(T - T_{ref})] \frac{G}{G_{ref}} \quad (II. 17)$$

Où:

$I_{L,ref}$ et $\alpha_{I_{sc}}$ sont le photo courant et le coefficient de la température relative du courant de court-circuit sous STC. L'éclairement solaire et la température de la cellule au STC sont respectivement: 1000 W / m² et $T_{ref} = 25$ C.

Le courant de saturation de la diode (I_0) dépend principalement de la Température de la cellule comme [17]

$$I_0 = I_{0,ref} \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^3 \exp \left[\frac{E_{g,ref}}{KT_{ref}} - \frac{E_g}{KT} \right] \quad (II. 18)$$

$$E_g = 1.16 - 7.02 * 10^{-4} \left(\frac{T^2}{T - 1108} \right) \quad (II. 19)$$

Où:

$I_{0,ref}$ et $E_{g,ref}$ sont le courant de saturation de diode et l'énergie de bande interdite à STC.

La température de la cellule solaire T dépend de la température ambiante et l'isolation.

$$T = T_{amb} + \left(\frac{NOCT - 20^\circ C}{0.8} \right) G \quad (II. 20)$$

Où

T_{amb} est la température ambiante et **NOCT** est la valeur nominale de température de fonctionnement de la cellule.

La valeur du facteur d'idéalité est $1 \leq n \leq 2$, un auteur a supposé que $n = 1,3$ pour le silicium. Dans cette étude, n est comparé à la valeur de n_{ref} aux conditions de référence standard (STC).

$$n = n_{ref} \quad (II. 21)$$

La résistance série R_s est supposée constante avec la variation de l'éclairement solaire et de la température de fonctionnement.

$$R_s = R_{s,ref} \tag{II. 22}$$

La résistance shunt Rsh représente la fuite de courant due principalement à la recombinaison des porteurs dans l'interface p-n de la diode. La résistance shunt (Rsh) est proportionnelle à l'éclairement solaire comme indiqué dans l'Eq. (23)

$$\frac{R_{sh}}{R_{sh,ref}} = \frac{G_{ref}}{G} \tag{II. 23}$$

II.6 Facteurs limitation de rendement d'un générateur photovoltaïque

L'énergie produite par le système photovoltaïque dépend en grande partie Chaque élément du système, les propriétés électromécaniques de la surface du champ Capteur, la quantité d'énergie solaire incidente à la surface de la partie de capture La température ambiante du système affecte également la réponse de ces systèmes [19].

II.7 Influence de la résistance série R_s

La résistance série représente la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, elle caractérise les pertes par effets Joule de la résistance propre du semi-conducteur et les pertes à travers les grilles de collectes et les mauvais contacts ohmiques de la cellule.

La résistance série se comporte comme un générateur de tension, et lorsqu'elle est élevée, elle diminue la valeur de courant de court-circuit. [22][23]

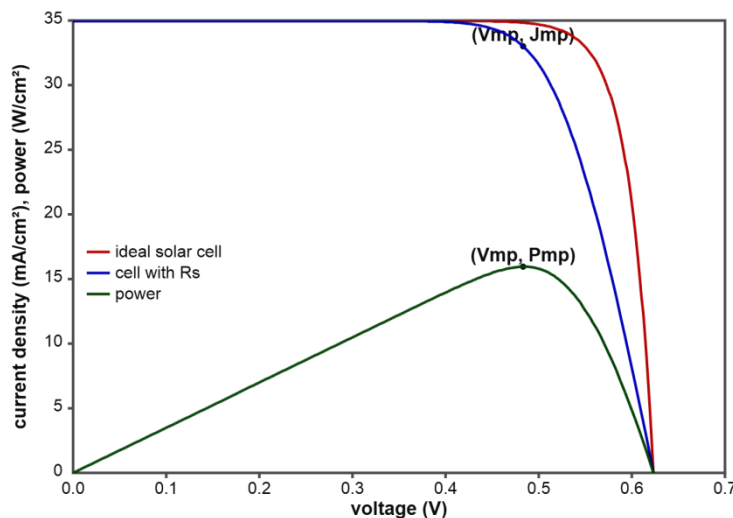


Figure II.5 : L'effet de la résistance série sur le facteur de remplissage. La surface de la cellule solaire est de 1 cm², de sorte que les unités de résistance peuvent être soit ohm, soit ohm cm². Le courant de court-circuit (ISC) n'est pas affecté par la résistance série jusqu'à ce qu'il soit très grand [20].

II.8 Influence de la résistance parallèle R_{sh}

Les pertes de puissance importantes causées par la présence d'une résistance de shunt, R_{SH} , sont généralement dues à des défauts de fabrication, plutôt qu'à une mauvaise conception des cellules solaires. Une faible résistance de shunt entraîne des pertes de puissance dans les cellules solaires en fournissant un chemin de courant alternatif pour le courant généré par la lumière. Une telle déviation réduit la quantité de courant circulant à travers la jonction de la cellule solaire [20]

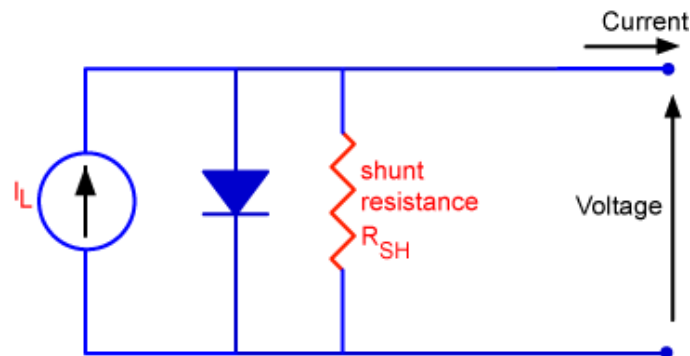


Figure II.6 Schéma de principe d'une cellule solaire comprenant la résistance de shunt [20].
L'équation pour une cellule solaire en présence d'une résistance shunt est :

$$I = I_L - I_0 \exp \left[\frac{qV}{nKT} \right] - \frac{V}{R_{sh}} \quad (II.17)$$

Où : I est le courant de sortie de la cellule, I_L est le courant généré par la lumière, V est la tension aux bornes de la cellule, T est la température, q et k sont des constantes, n est le facteur d'idéalité et R_{SH} est la résistance de shunt de la cellule.

L'effet d'une faible résistance de shunt est illustré dans l'animation ci-dessous :

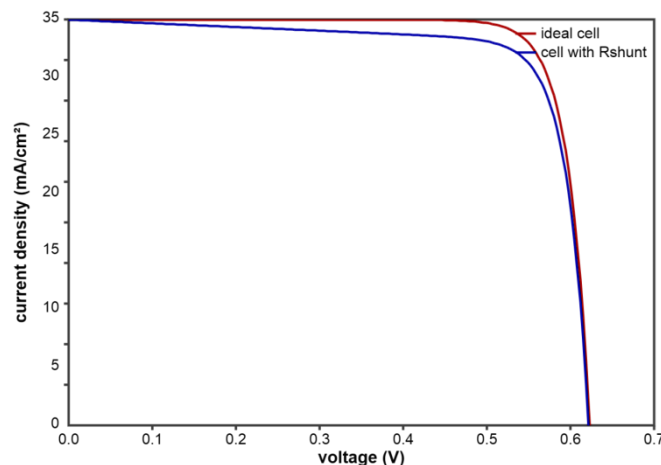


Figure II.7 : L'effet de la résistance de shunt sur le facteur de remplissage dans une cellule solaire. La surface de la cellule solaire est de 1 cm², la résistance de la série de cellules est de zéro, la température est de 300 K et I_0 est de 1 x 10⁻¹² A / cm² [20].

II.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit la représentation électrique des cellules PV et des générateurs photovoltaïques. On a présenté la méthode d'extraction des paramètres liés aux performances de ces modules photovoltaïques, cette méthode est rapide et précise pour déterminer les paramètres inconnus de l'équation non linéaire (IV) de module photovoltaïque, afin de simuler le système photovoltaïque dans n'importe quelles conditions. On parle des conditions des tests expérimentaux qui sont impossible de réaliser au temps réel, mais utilisez les informations de la fiche technique. Le modèle de représentation électrique le plus convaincant pour les cellules solaires est un modèle unidimensionnel, dont les paramètres physiques inconnus sont déterminés dans ce chapitre. La résistance série et la résistance parallèle sont deux paramètres qui peuvent changer la performance de panneaux par rapport à sa valeur.

Chapitre: III
Résultats & Discussions

III.1 Introduction

Au fil du temps, les performances électriques des modules photovoltaïques diminuent à cause de certaines conditions. Dans ce chapitre, nous montrons les résultats expérimentaux obtenus lors de l'analyse des caractéristiques I-V de certains modules photovoltaïques exposés longtemps au soleil dans l'unité de recherche en énergie renouvelable dans un milieu saharien (Adrar). Tout d'abord, nous avons décrit « l'inspection visuelle des modules photovoltaïques » utilisé pour détecter toute défaillance visible du module testé et le principal type de dégradation du module photovoltaïque. Ensuite, nous étudierons l'impact des conditions météorologiques dans la vie quotidienne telle que température élevée, accumulation de poussière, etc. Impact du sable pendant une durée déterminée sur la puissance dissipée et les caractéristiques I-V des différents modules photovoltaïques. Puis on calcule les paramètres physiques inconnus de l'équation non linéaire (I-V) du modèle de module photovoltaïque similaires aux systèmes photovoltaïques dans toutes les conditions. Enfin, nous discutons l'influence des facteurs environnementaux sur les performances des modules photovoltaïques.

III.2 Description de la plateforme expérimentale de tests

III.2.1 Pyromètre

Un pyromètre est un capteur de flux de chaleur utilisé pour mesurer l'énergie solaire sous forme lumière naturelle. Le pyromètre est destiné pour mesurer le rayonnement solaire sur une surface plane / plane avec une précision totale globale. Il est entièrement compatible avec l'ISO-9060 Performances pyrométriques standard secondaires catégorie (critères de performance ISO les plus élevés pyromètres) [26].



Fig.III.1 : Pyranomètre pour la mesure du rayonnement global.

Gamme spectrale	305-2800 nm
Sensibilité	4-6 u.V/W/m ²
Impédance (nominale)	700-1500 Ω
Temps de réponse (95%)	1 S
Poids	850 grammes
Longueur de câble	10 m
Température de fonctionnement	-40 °C et 80°C

Tableau III.1 : Les Spécifications du pyromètre CM11 [26]

III.2.2 Les capteurs de température des modules

Le thermocouple c'est notre outil pour mesurer la température, il est composé de deux pattes métalliques de différents métaux. Une jonction a été créée à partir de ces deux pattes qui sont soudés ensemble à une extrémité. Les thermocouples identiques sont placés sur la face arrière de chaque module à des endroits assez éloignés comme montré dans la **figure III.3**



Fig.III.2 Thermocouples sur la face arrière du module [27].

Paramètre mesuré	Plage	Précision	Résolution
Température	-40°C à 750°C	± 1,5°C (-40°C à 350°C)	0,1°C (-40°C à 200°C) 1°C (Temp.>200°C)

Tableau.III.2 Caractéristiques du capteur de température des modules [27].

III.2.3 Le traceur MP-160 (I-V) [EKO]

Pour tester les caractéristiques individuelles des cellules solaires ou des modules en combinaison avec un simulateur solaire on utilise une appareil qui s'appelle le Traceur MP-160 (I-V). On peut trouver cet appareil dans les unités de recherche en énergie renouvelables. On détermine les caractéristiques de performance de la cellule par changement de charge électrique pendant le balayage I-V. Selon les normes STC, l'énergie rayonnante sur l'énergie du module peut être mesurée simultanément avec les mesures de tension et de courant.



Fig.III.3 : Traceur MP-160 (I-V)

III.3 Champ de mesures

La plate-forme de mesure a été installée sous le climat chaud d'Adrar, Dans la zone aride du sud-ouest algérien (superficie : 633Km², latitude : 27°52'N, longitude : 0°17', Altitude : 258 m), caractérisée par une température ambiante élevée en été et une forte intensité d'ensoleillement Irradiation potentielle, faible humidité, un grand nombre de jours translucides pendant une année et quelques jours de tempête de sable [25].



Fig.III.4 : Emplacement d'URERMS dans la ville d'Adrar

III.4 Performances des modules PV

La puissance maximale est un paramètre important qui exprime la performance d'un module PV. Ce paramètre est compliqué à déterminer parce qu'elle varie en fonction de l'irradiation incidente et de changement spatiale et temporelle de l'irradiation de module et son température. Le rendement est aussi important, il est défini comme la puissance délivrée divisée par la puissance d'entrée. Pour déterminer les performances photovoltaïques on doit savoir les problèmes potentiels de mesure et l'influence du dispositif sur ces problèmes.

Pratiquement, les courbes I-V des modules sont testés dans des conditions réelles de fonctionnement. Ceci a conduit au concept des conditions de test standards où nos mesures doivent être effectuées. Parlons de ces conditions, ils sont fixés par deux paramètres importants: La température et l'éclairement qui sont $T=25^{\circ}\text{C}$ et $G=1000\text{W}/\text{m}^2$, avec ces conditions (STC), on peut faire la comparaison entre les performances des modules.

III.5 Dégradation des modules PV

Parmi les avantages des modules photovoltaïques sont leurs durées de vie, elle est aussi un facteur qui définit le coût de l'électricité solaire.

Pendant les années de fonctionnement du module photovoltaïque, il peut subir une dégradation qui va affecter la performance et les paramètres essentielles de module.

Avec la connaissance des caractéristiques expérimentales initiales ainsi que celles fournies par le fabricant on peut étudier l'évolution des performances des modules PV.

Pour observer la différence, il est proposé d'utiliser comme référence un autre module de même type que les modules testés. La référence n'a pas subi de dégradation notable.

La figure III.5 présente un exemple, en noire les caractéristiques I-V expérimentales d'un module de 100W, avec les résultats translatsés en STC.

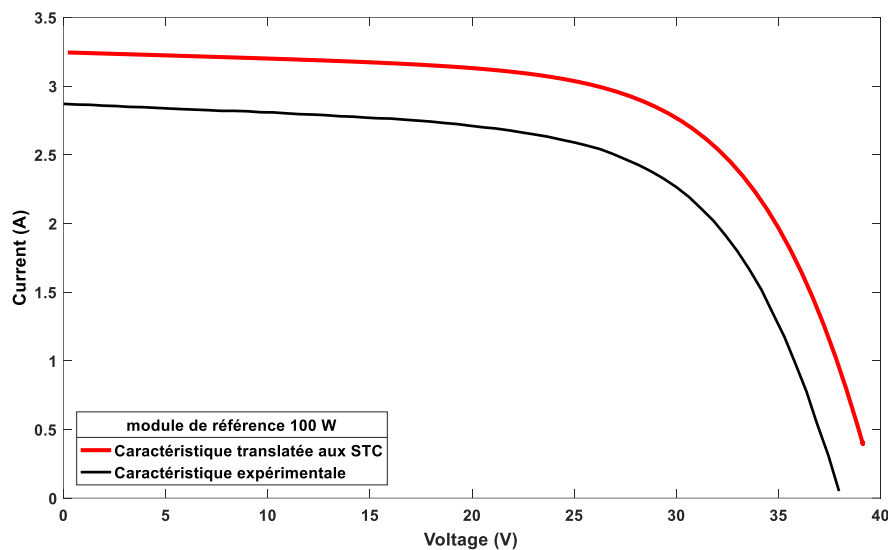


Fig.III.5 : Caractéristique expérimentale et translatsée du module de référence

III.6 Facteur de Dégradation

Une fois que les paramètres et les performances du module de référence et des autres modules sont déterminés, des comparaisons sont lancées pour étudier une éventuelle dégradation. Pour cela, un facteur de dégradation estimé est défini pour chaque paramètre du module (puissance maximale, résistance parasite, rendement, facteur de forme, etc.). L'analyse de la valeur du taux de dégradation montre que le changement significatif de la résistance série et de la résistance parallèle conduit à la diminution du facteur de forme. De plus, une courbure caractéristique du déplacement du point de puissance maximale hors du module de référence a été observée. En moyenne, les résultats des calculs montrent que le taux de rendement et la taille de forme ont perdu respectivement 19 % et 25 % de leurs valeurs initiales.

Il est à noter que l'augmentation de la résistance série et la diminution de la résistance parallèle sont les raisons principales de la dégradation des performances du module [28].

III.7 Cause probables de la dégradation

Évidemment, la performance initiale des modules photovoltaïques sera diminuée avec le temps, ils deviennent dégradés. Cette dégradation est causée par plusieurs facteurs. [29]

Afin d'étudier le phénomène de dégradation des modules photovoltaïques avec des techniques spéciales. Les systèmes photovoltaïques qui sont en marche pendant plus de 20 ans sont aussi exposés à des facteurs externes qui causent la dégradation [29].

Des facteurs comme :

- charges mécaniques statiques et dynamiques,
- cycles thermiques,
- exposition à la radiation,
- l'humidité,
- impact de grêle (grains de sable),
- accumulation de la poussière,
- occultation partielle,...
- l'action des agents atmosphériques avec les défauts de fabrication.

III.8 Analyse de dégradation des modules Photovoltaïques

Paramètres	Rréférence	Module A	Module B	Module C
P max [W]	50	31.9612	19.3688	23.4574
Courant optimal [A]	2.9	2.0953	1.7375	1.7734
Tension optimale [V]	17.5	15.254	11.1474	13.2276
I _{cc} [A]	3.18	2.7512	2.1316	2.2598
V _{oc} [V]	21.6	20.0216	18.414	18.721
FF [%]	0.675	0.5802	0.49345	0.55447
Facteur d'idéalité	1.3	0.61167	1.1555	2.7216
R _s [Ω]	0.23	1.4216	2.9471	0.73042
R _{sh} [Ω]	124.6945	32.2416	77.801	154.4819
I _{oref}	5.0562 ^e -8	9.2188 ^e -19	65.4099nA	1.2677mA
I _{pv} [A]	3.1860	2.7512	2.2123	2.2717
RMSE	0.0142	-0.003	0.0176	0.0636
N _s	36	36	36	36
Paramètres	Référence	Module D	Module E	Module F
P max [W]	50	19.6466	24.9893	27.0708
Courant optimal [A]	2.9	1.7655	2.0929	1.6841
Tension optimale [V]	17.5	11.1263	11.94	16.074
I _{cc} [A]	3.18	2.1426	2.5454	1.9318
V _{oc} [V]	21.6	19.1986	20.9183	20.8041
FF [%]	0.675	0.477613	0.4693	0.6735
Facteur d'idéalité	1.3	0.54964	0.69343	0.9522
R _s [Ω]	0.23	3.9149	3.6379	1.3405
R _{sh} [Ω]	124.6945	54.2974	59.5545	111.954
I _{oref}	5.0562e-8	7.8314e-17	1.629e-14	9.8346e11
I _{pv} [A]	3.1860	2.297	2.7	1.9549

RMSE	0.0142	0.0302	0.0182	0.0114
N _s	36	36	36	36

Tableau III.3 : Résultats des paramètres de référence et de simulation pour UDTS-50 W

Le tableau III.3 représente la comparaison entre les valeurs extraies en simulation de module UDTS-50W avec les valeurs de modules de références.

Paramètres	Référence	Module A	Module B	Module C
P max [W]	100	66.5683	81.7347	48.106
Courant optimal [A]	2.807	2.255	2.6658	1.4944
Tension optimale [V]	34	29.52	30.6607	32.1918
I _{cc} [A]	3.270	2.8035	3.2824	2.3457
V _{oc} [V]	43.200	39.1618	40.1899	39.4737
FF [%]	0.675	0.606	0.619	0.519
Facteur d'idéalité	1.5	2.2922	1.9973	0.7712
R _s [Ω]	0.2765	0.36529	0.38756	1.5271
R _{sh} [Ω]	187.1708	124.1367	92.4383	38.1861
I _{oref}	3.2748	2.44e-4	5.42e-5	1.37e-12
I _{pv} [A]	5.67	2.8118	3.2962	2.4395
RMSE	0.0035	0.0121	0.0183	0.017
N _s	72	72	72	72

Tableau III.4 Résultats des paramètres de référence et de simulation pour ISOFOTON-100W

Le tableau III.4 représente une comparaison entre les résultats d'extraction des paramètres des trois modules de type ISOFOTON-100W avec les paramètres d'un module de référence.

Paramètres	Référence	Module A	Module B	Module C
P max [W]	150.66	124.8492	58.9628	11.6622
Courant optimal [A]	8.0581	7.9847	3.5659	0.72364
Tension optimale [V]	18.697	15.636	16.535	16.116
I _{cc} [A]	8.7857	8.5666	3.8606	1.0857
V _{oc} [V]	22.491	20.6879	20.9466	19.8019
FF [%]	0.762	0.7045	0.7291	0.4580
Facteur d'idéalité	1.58	1.3099	1.8484	0.66353
R _s [Ω]	0.0007336	0.22456	0.00010343	2.0365
R _{sh} [Ω]	293.4502	4087.874	9539.4513	44.8181
I _{oref}	1.9935uA	331.0228uA	18.508uA	6.8124e-15
I _{pv} [A]	8.7858	8.5666	3.8606	1.125

RMSE	0.496	0.0091	0.0987	0.0155
N_s	36	36	36	36

Tableau III.5 Résultats des paramètres de référence et de simulation pour POLY R6A-150W

Le tableau III.5 représente une comparaison entre les valeurs des paramètres des trois modules de type POLY-150W avec les paramètres d'un module de référence de même type.

La dégradation est basée sur les paramètres R_s et R_{sh} , d'après l'observation des tableaux ci-dessus on trouve que les valeurs de R_s des modules testés sont augmentées par rapport aux modules de référence, cette augmentation cause une perte de puissance générée sous forme de chaleur. Par contre les valeurs des R_{sh} sont en diminution par rapport au module de référence, cette diminution va augmenter le courant de fuite autour de la cellule.

III.9 Résultats et discussion

III.9.1 Le module UDTS-50W

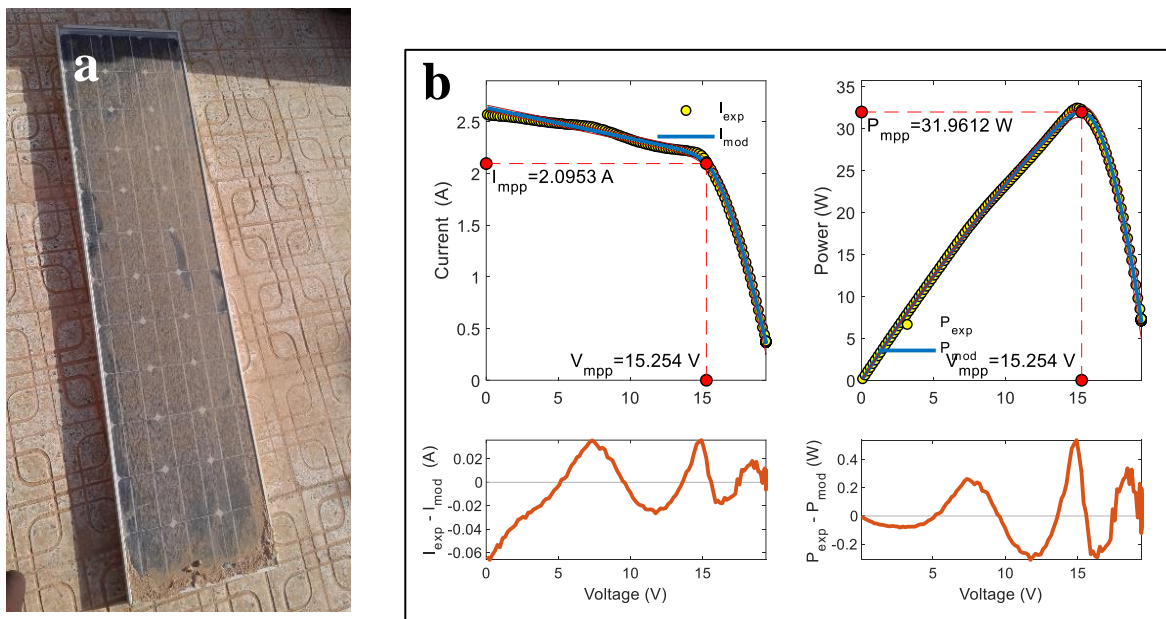


Fig.III.6 : Représentation de module UDTS-50W-type A

a) L'image du panneau, b) Caractéristiques I-V et P-V du panneau

La Fig.III.6 représente le module UDTS-50W de type A, tel que (a) c'est l'image de panneau qui est affecté par l'effet de l'accumulation de la poussière. Cet effet exprime la dégradation de panneau comme illustre dans les caractéristique I-V et P-V dans (b), tel que $P_{mpp} = 31.96W$

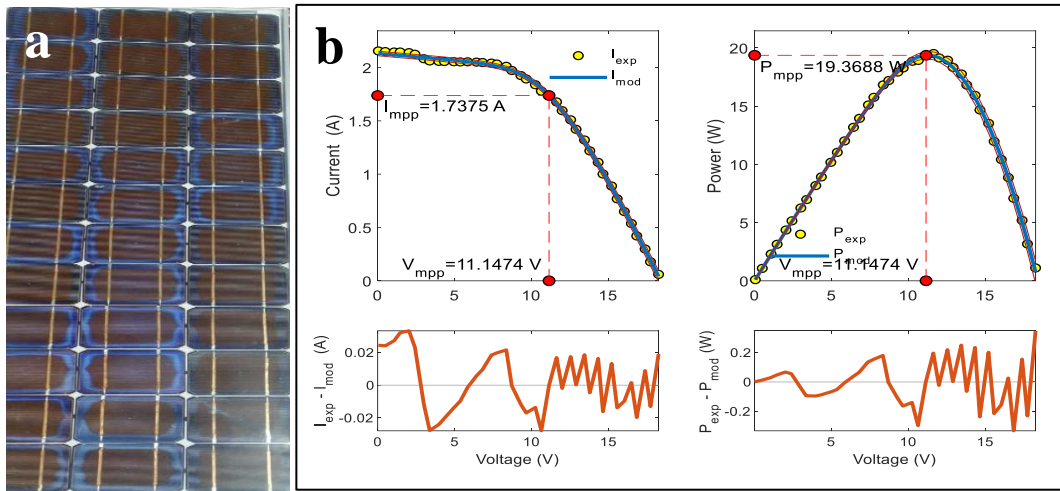


Fig.III.7 : Représentation de module UDTS-50W-type-B

a) L'image de panneau, b) Caractéristiques I-V et P-V de panneau

La **Figure III.7** représente le module UDTS-50W de type B, la partie (a) c'est l'image de panneau qui est affecté lors de l'exposition à la radiation. Ces radiation exprime la dégradation de panneau comme illustre dans les caractéristique I-V et P-V dans (b), tel que $P_{mpp} = 19.36W$, ce panneau est dégradé à cause de décoloration de l'EVA.

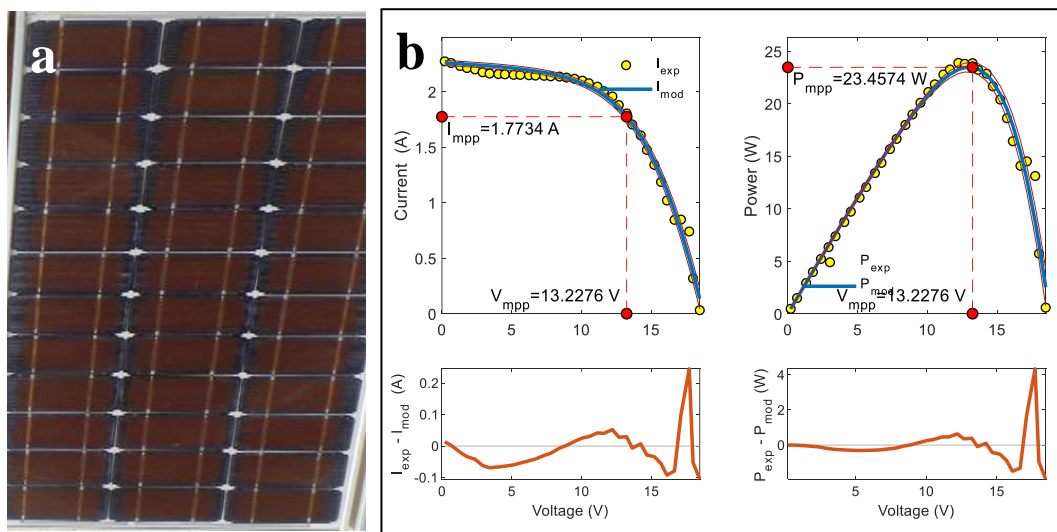


Fig.III.8 : Représentation de module UDTS50W-type-C

a) L'image de panneau, b) Les Caractéristiques I-V et P-V de panneau

La **Fig.III.8** représente le module UDTS-50W de type C, la partie (a) c'est l'image de panneau qui affecté par l'effet de l'exposition à la radiation. Ce dernier exprime la dégradation de panneau comme illustre dans les caractéristique I-V et P-V dans (b), tel que $P_{mpp} = 23.45W$

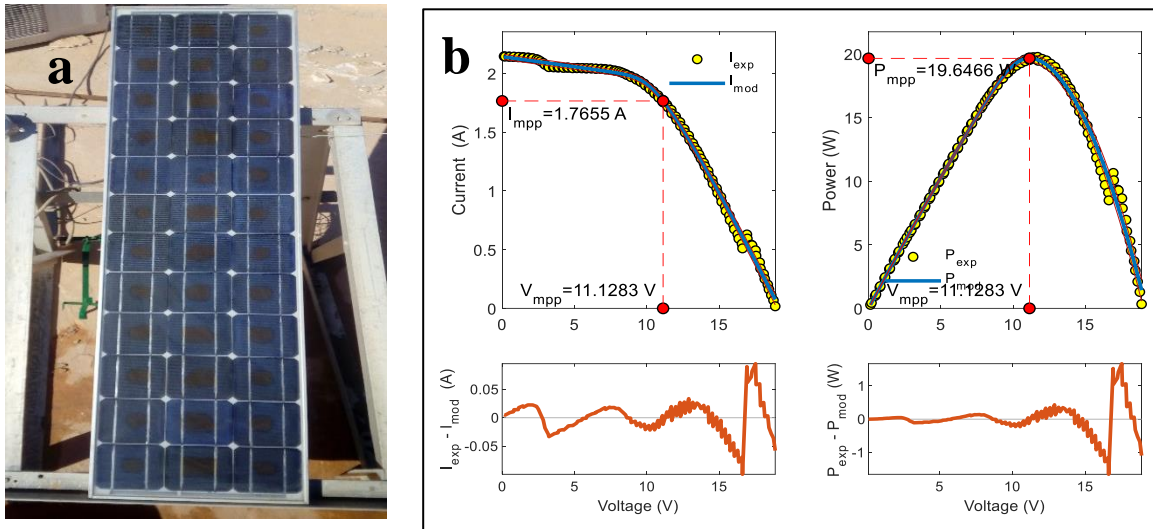


Fig.III.9 : Représentation de module UDTS50W-type-D

a) L'image de panneau, b) les caractéristiques I-V et P-V de panneau

La **Fig.III.9** représente le module UDTS-50W de type D, tel que (a) c'est l'image de panneau qui affecté par l'effet de l'exposition à la radiation. Ce qui exprime la dégradation de panneau comme illustre dans les caractéristique I-V et P-V dans (b), tel que $P_{mpp} = 19.64W$

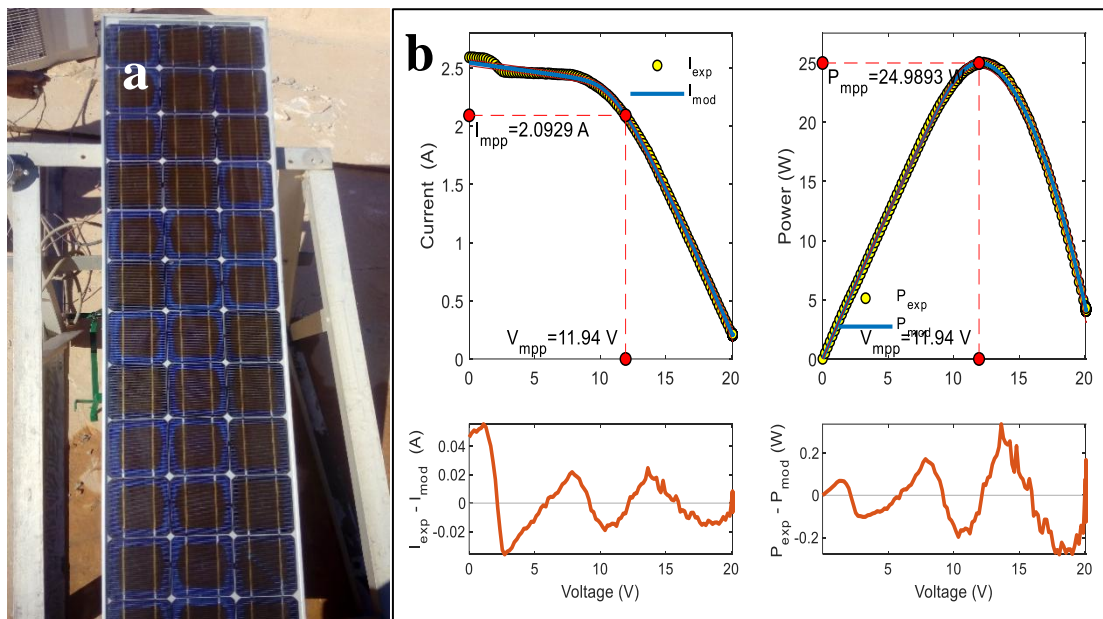


Fig.III.10 : Représentation module UDTS50W-type-E

a) L'image de panneau, b) les caractéristiques I-V et P-V de panneau

La **Fig.III.8** représente le module UDTS-50W de type E, tel que (a) c'est l'image de panneau qui affecté par l'effet de l'exposition à la radiation. Ce qui exprime la dégradation de panneau comme illustre dans les caractéristique I-V et P-V dans (b), tel que $P_{mpp} = 24.98W$

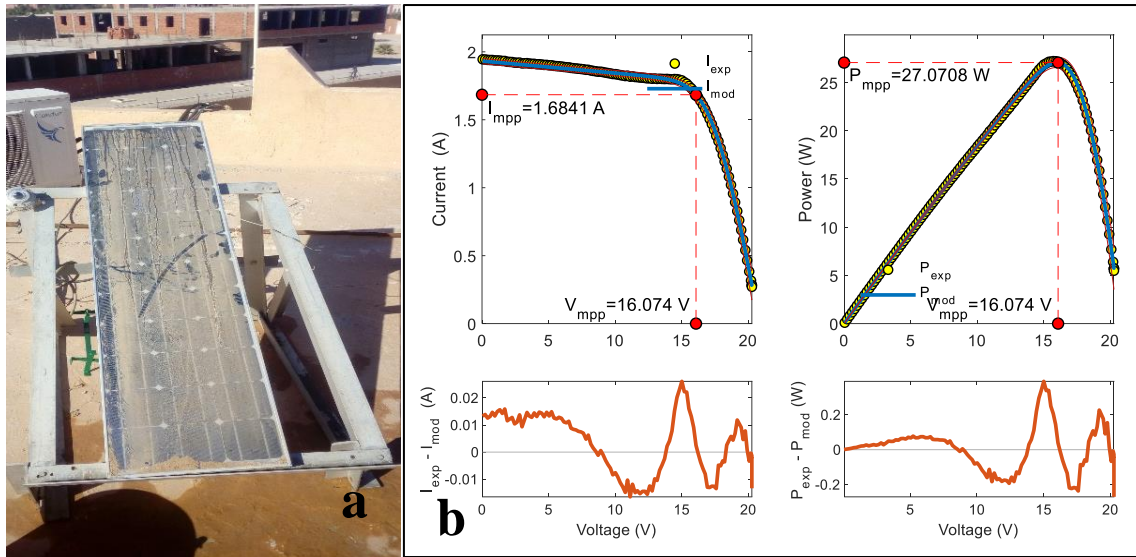


Fig.III.11 : Représentation de module UDTS50W-type-F

a) L'image de panneau, b) les caractéristiques I-V et P-V de panneau

La **Figour.III.11** représente le module F de type UDTS-50W, à gauche on a (a) qui est l'image de panneau, à droite on a (b) les caractéristiques I-V et P-V de ce panneau qui est dégradé à cause de l'accumulation de sable. Tel que $P = 27.07W$

Les figures représente les caractéristiques I-V et P-V de six panneaux de type UDTS-50W, ces modules sont exposé à des facteurs climatiques qui on a déjà mentionnés, ces facteurs a causé la dégradation de performance de ces panneaux. Dans chaque figure il y a une image du panneau suivi par ses caractéristique I-V et P-V avec les paramètres: I_{mp} , V_{mp} , P_{mp} aussi l'erreur entre $I_{mod} - I_{exp}$ et entre $P_{mod} - P_{exp}$. Concernant les panneaux A et F, on trouve que les valeurs de la puissance maximale sont presque le même. L'erreur et aussi entre $[-0.2, 0.2]$ pour les deux panneaux. Pour les panneaux B, C, D et E, la puissance maximale est à l'intervalle de 19.36 W à 24.98 W.

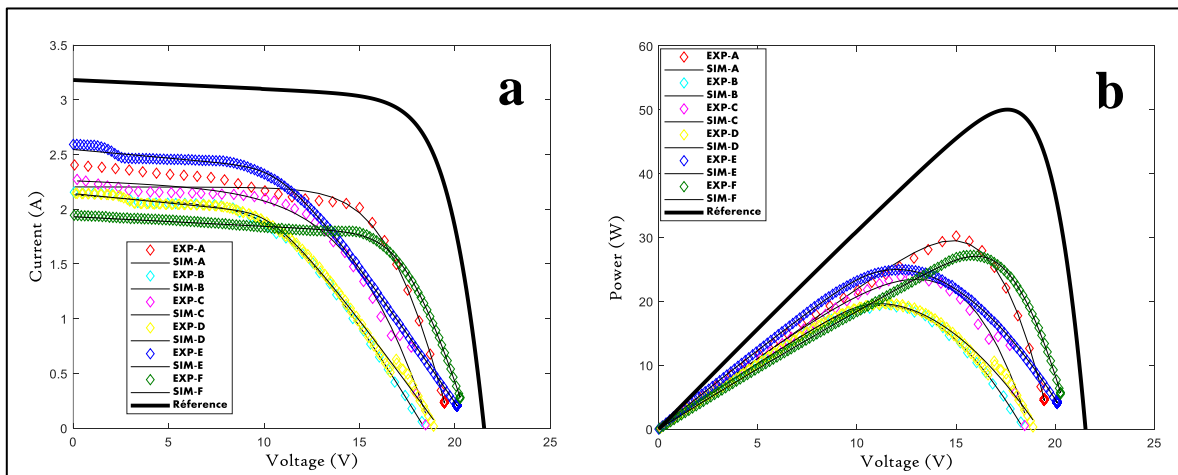


Fig.III.12 : Les résultats expérimentaux des modules UDTS-50W et la référence

a) les caractéristique I-V, b) les caractéristique P-V

La figure III.12 représente la comparaison entre les courbes correspond aux six panneaux « dégradé » de type UDTS-50W et un module de référence, tel que la partie (a) exprime la caractéristique I-V et à gauche on la caractéristique P-V dans la partie (b). A partir de cette comparaison et les valeurs de la puissance maximale on dit que le panneau B est le plus dégradé, par contre le panneau A est le moins dégradé parmi ces panneaux. On peut justifier cette état par l'augmentation de la résistance série R_s et la diminution de la résistance parallèle R_{sh} .

III.9.2 Le module ISOFOTON 100W

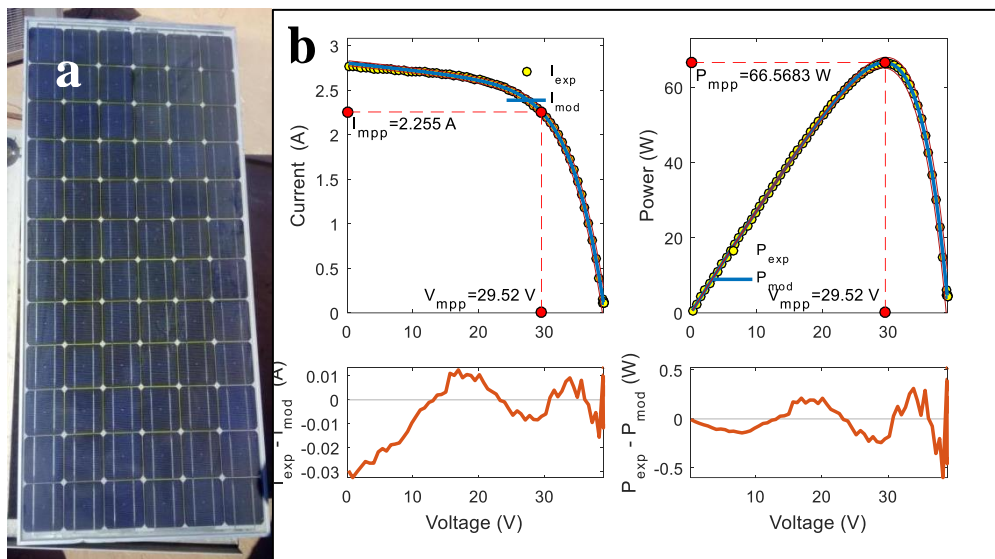


Fig.III.13 : Représentation de module ISOFOTON100W-type-A

a) L'image de panneau, b) les caractéristiques I-V et P-V

La figure représente le module A de type ISOFOTON-100W, On a l'image de panneau dans la partie (a) et les caractéristiques I-V et P-V sont exprimé dans la partie (b). Sa puissance maximale est $P = 66.56W$ parce que il est dégradé à cause de l'exposition au soleil pendant une longue durée.

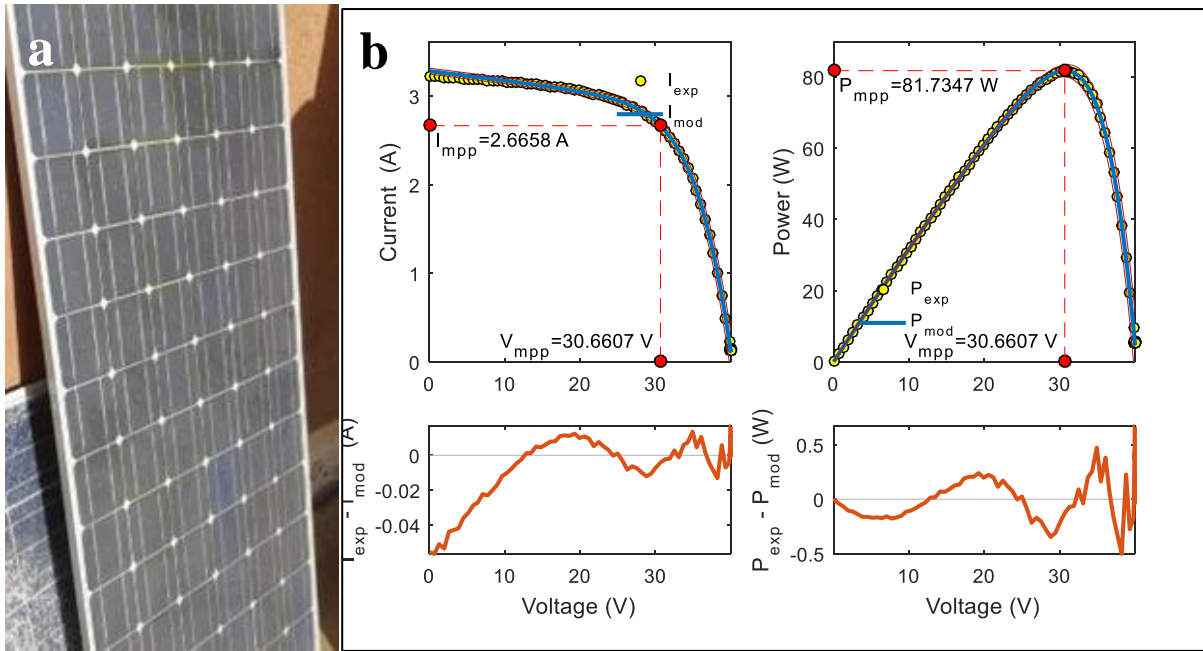


Figure III.14 Représentation de module **ISOFOTON100W-type-B**

a) L'image de panneau, b) les caractéristiques I-V et P-V de panneau

La **Figure III.14** représente le module B de type ISOFOTON-100W, l'image de panneau est présenté dans la partie (a), et la partie (b) présente ses caractéristiques I-V et P-V. La puissance de panneau exprime sa dégradation $P = 81.73W$

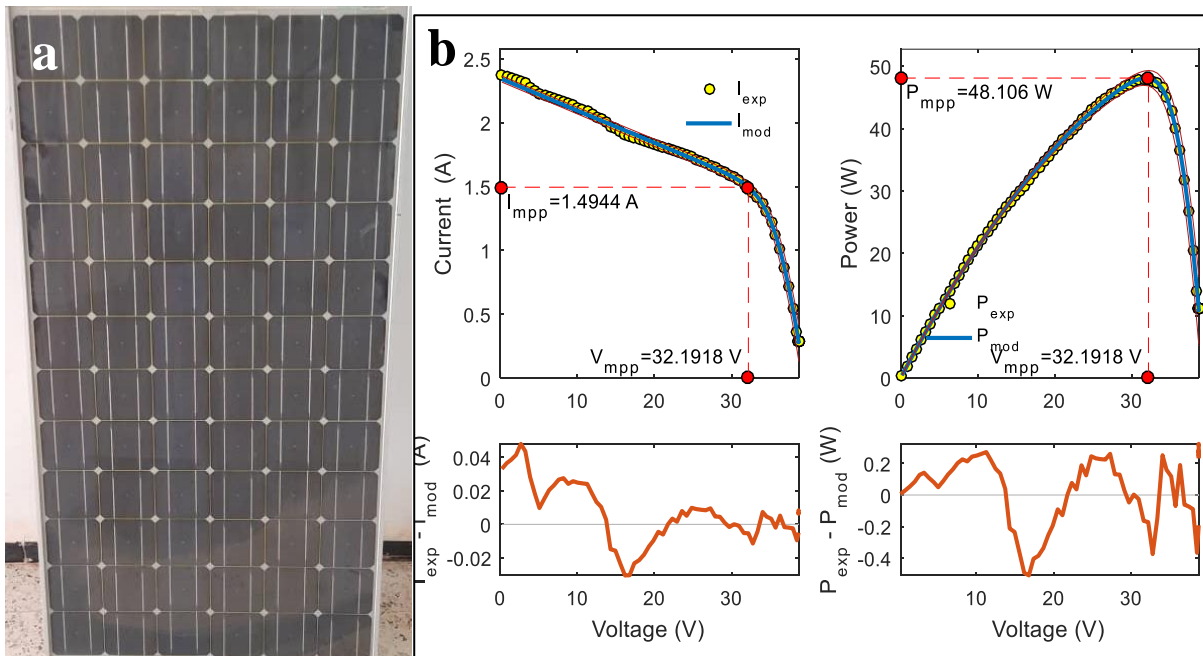


Fig.III.15 : Représentation de module **ISOFOTON100W-type-C**

a) L'image de panneau, b) les caractéristiques I-V et P-V de panneau

La figure ci-dessus représente le module C de type ISOFOTON-100W, l'image de panneau est présenté dans la partie (a) et ses caractéristiques IV et PV dans la partie (b). On a la puissance optimale est $P = 48.11W$

Les figures III.13, III.14 et III.15 ci-dessus représente trois panneaux de type ISOFOTON-100W suivi par ses caractéristiques I-V et P-V, ces panneaux sont déjà exposés à des causes et des facteurs externes qui ont causé sa dégradation.

On observe que le panneau C est le plus dégradé, c'est clair à partir de sa valeur de la puissance maximale dans le plan P-V. Le panneau A est mieux que C, et le panneau B est le meilleur (moins dégradé) parmi les trois panneaux. L'erreur est aussi acceptable comme on voit dans les figures.

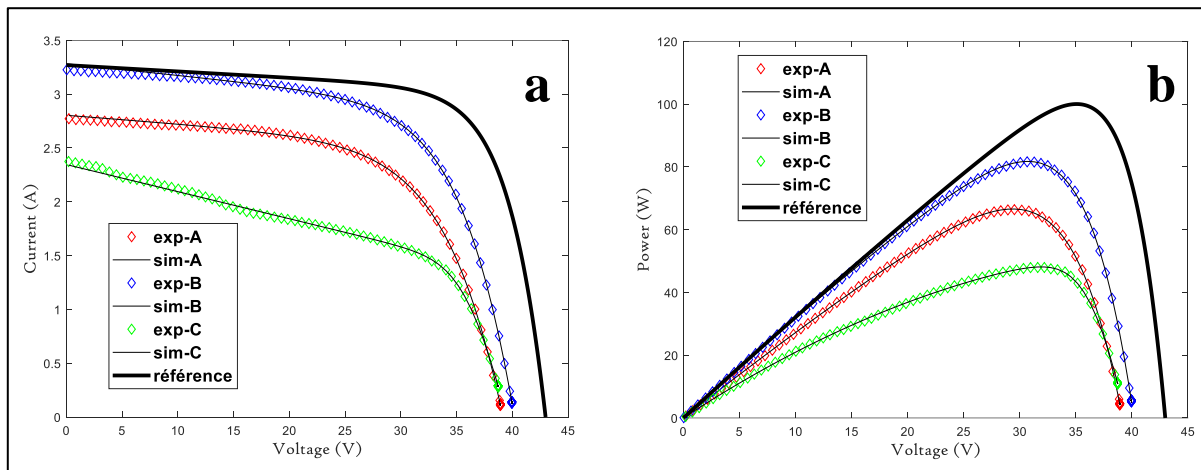


Fig.III.16 : les résultats expérimentaux des modules ISOFOTON-100W et la référence

a) Les caractéristiques I-V, **b)** les caractéristiques P-V

La figure ci-dessus représente une comparaison entre les résultats expérimentaux de trois panneaux et la référence de type ISOFOTON-100W. Les courbes expriment les caractéristiques I-V et P-V pour ces panneaux qui sont exposé à des facteurs externes qui cause la dégradation de ses performances.

La performance du panneau C est le plus faible donc ce panneau est le plus dégradé, c'est à dire qu'il y a une grande différence entre les valeurs R_s , R_{sh} , I_0 et I_{ph} de panneau C et le module de référence.

III.9.3 Le module Solarworld Polycristallin-150W

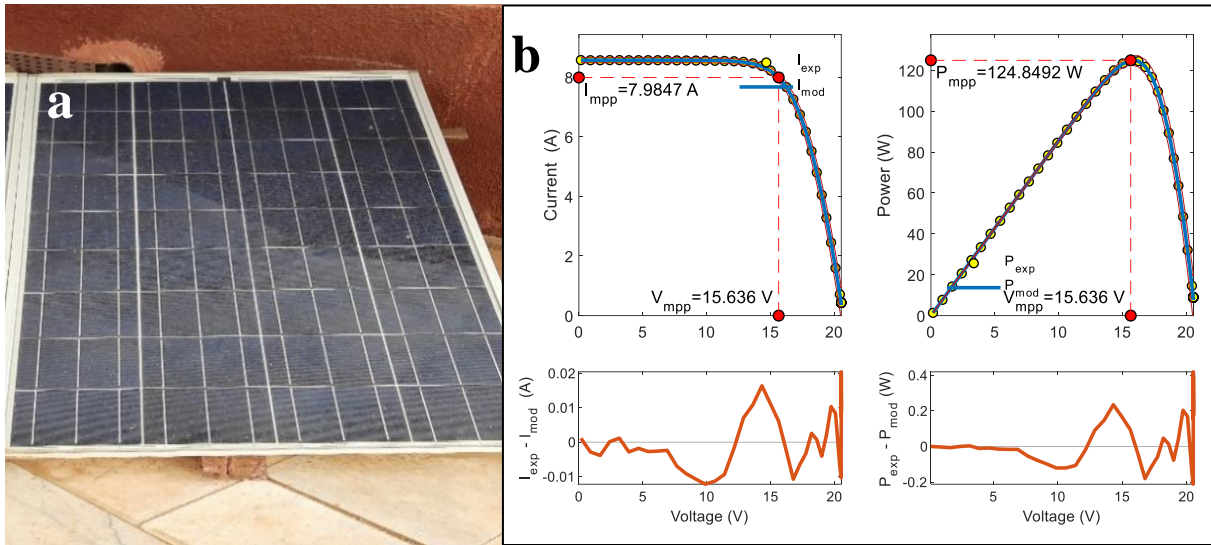


Fig.III.17 : Représentation de module Poly150W-type-A

a) L'image de panneau, b) les caractéristiques I-V et P-V

La figure représente le module A de type POLY-150W, à gauche on a l'image de panneau (a) et à droite on a ses caractéristiques I-V et P-V. A cause de la dégradation de panneau sa puissance optimale est de $P = 124.84$

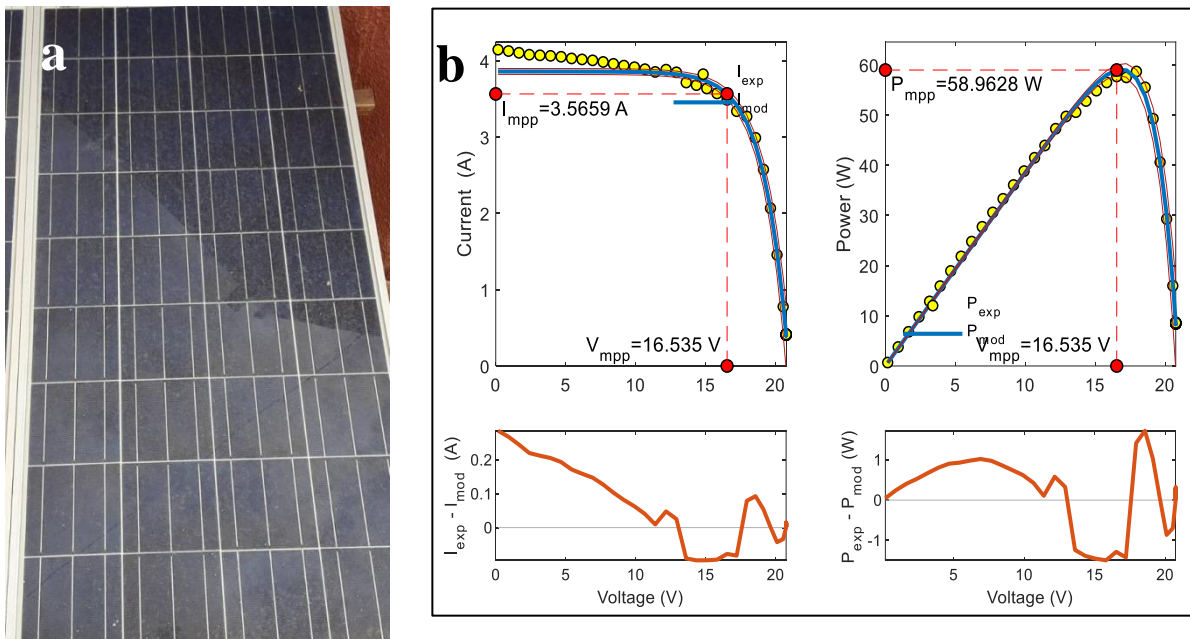


Fig.III.18 : Représentation de module Poly150W-type-B

a) L'image de panneau, b) les caractéristiques I-V et P-V de panneau

La figure représente le module B de type POLY-150W, son image (a) et ses caractéristiques I-V et P-V. Tel que le panneau est dégradé, sa puissance optimale est de $P = 58.96W$

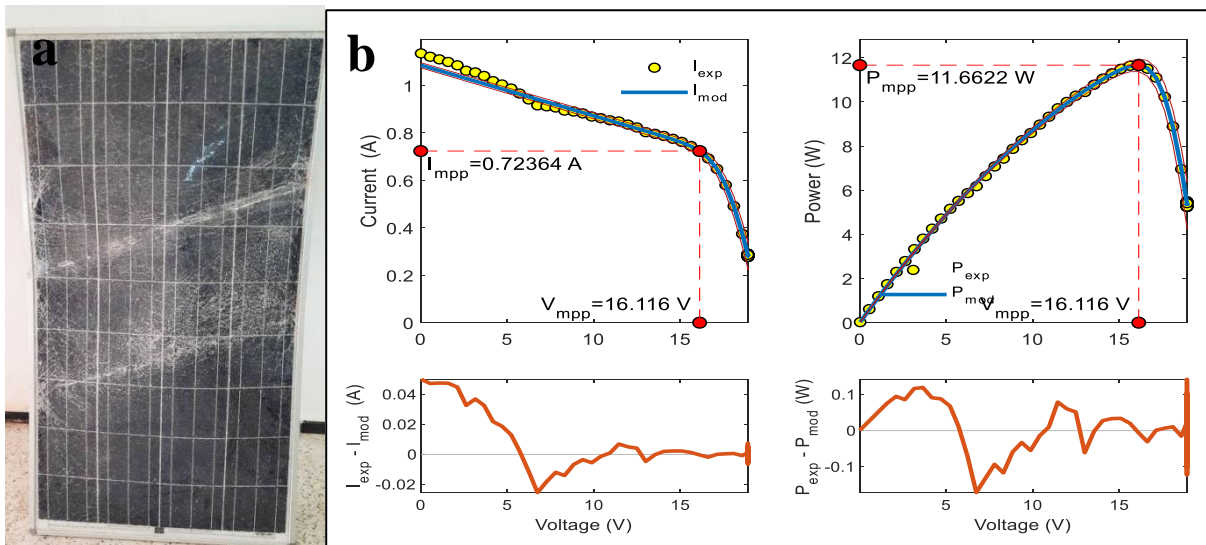


Fig.III.19 : Représentation de module Poly150W-type-C

a) L'image de panneau, b) les caractéristiques I-V et P-V de panneau

La figure ci-dessus représente le module C de type POLY-150W, à gauche on a son image et à droite on a ses caractéristiques I-V et P-V. La puissance optimale est de $P = 11.66W$, on peut dire que cette dégradation est causé par l'effet de verre brisé.

Les figures ci-dessus représente trois images des panneaux de type Poly-150W avec ses caractéristiques I-V et P-V, ces panneaux sont exposés à des facteurs externes pendant la durée de fonctionnement. Les courbes dans les figures expriment les changements effectués sur ces panneaux.

On observe que la puissance P_{mpp} la plus faible correspond à le panneau C donc c'est le panneau le plus dégradé, puis le panneau B, puis le panneau A est le moins dégradé.

On peut dire aussi que l'erreur entre P_{mod} et P_{exp} est aussi acceptable pour ces résultats.

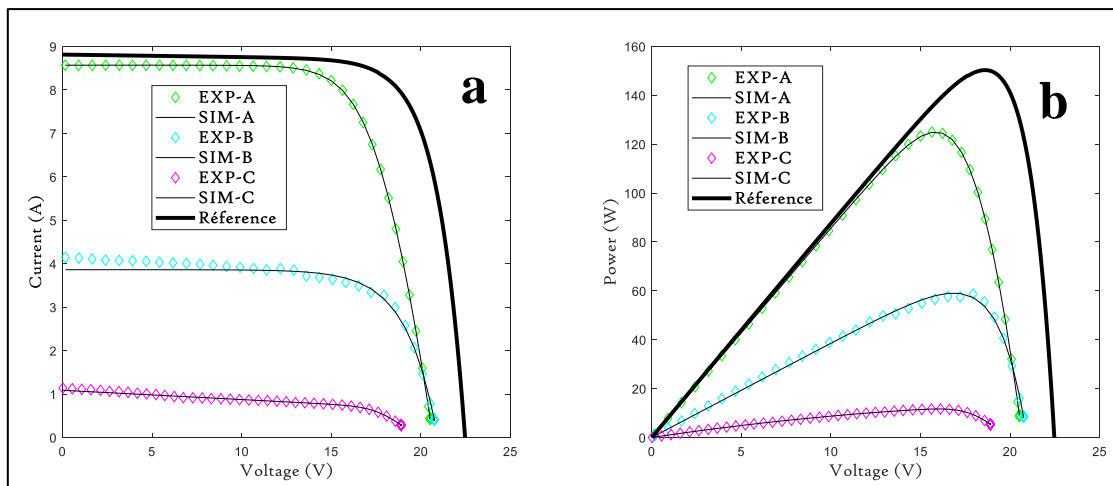


Fig.III.20 : Les résultats expérimentaux A-B-C des modules Poly-150W et la référence

a) Les caractéristiques I-V, b) les caractéristiques P-V

La figure III.20 exprime la comparaison des caractéristiques I-V et P-V entre trois panneaux de type Poly-150W avec le module de référence. Les courbes dans la figure représentent la dégradation et la performance faible de ces panneaux.

On observe que le panneau C est le plus dégradé à partir de ses caractéristiques I-V et P-V. On peut dire que la valeur de R_s pour ce panneau est plus grande que celle de la référence, par contre la valeur de R_{sh} est plus moins que la valeur de référence. Le panneau B est moins dégradé que C, d'autre part le panneau A est le moins dégradé parmi les trois panneaux.

III.10 Conclusion

On a étudié dans ce chapitre les panneaux qui ont fonctionné pendant une longue période. Notre étude permet de suivre l'évolution de performance et la dégradation de ces panneaux. Nous avons utilisé dans ce travail une nouvelle méthode d'estimation des paramètres, rapide et facile à l'aide de logiciel Matlab pour suivre l'évolutions de ces paramètres en fonction de différents conditions climatiques . Pour les cas où le test ne peut pas être effectué de façon expérimentale, on n'utilise que les informations de la fiche technique. Nous utilisons une plateforme de mesure pour caractérise les modules PV exposés au soleil. Les tests sont faits dans l'unité de recherche en énergies renouvelables dans un milieu saharien (la ville d'ADRAR).

L'analyse des résultats de module UDTS-50W exprime ses différents niveaux de dégradation, on observe ces niveaux dans les valeurs de la puissance maximale qui sont entre 19 W et 31W à cause de l'accumulation de sable. La même chose pour le module ISOFOTON-100W, par l'effet de la décoloration de l'EVA les panneaux sont dégradés par rapport au module de référence, ces panneaux génèrent une puissance optimale de 48W, 66W et 81W. Concernant le dernier type de POLY-150W, les trois panneaux dégradés peuvent donner une puissance maximale faible de 11W, 59W et 124W à cause de verre brisée de ces panneaux.

D'après l'analyse visuelle des panneaux solaires, la dégradation peut être causé par : la température plus élevé, la décoloration du panneau en jaune par effet de ultraviolet, ou bien à cause de verre brisé de panneau et l'accumulation de sable sur le panneau solaire sous l'effet de le vent.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le but de ce travail c'est l'étude théorique et l'estimation des paramètres physiques des modules photovoltaïques qui sont exposés aux facteurs environnementaux pendant une longue durée de fonctionnement pour avoir l'effet de dégradation. Ces modules sont testés dans l'unité de recherche de l'énergie renouvelable URERMS située à Adrar.

Le premier chapitre est consacré sur la généralité des énergies solaires, types des modules photovoltaïques et leur principe de fonctionnement.

Concernant le deuxième chapitre, on a détaillé la représentation électrique des modules photovoltaïques. Ensuite, on a présenté la méthode d'extraction des paramètres des modules PV l'aide de logiciel MATLAB. Cette méthode d'itération est utilisée pour l'extraction des paramètres essentiels des cellules solaires telles que la résistance série, la résistance parallèle, le photo-courant et le courant de saturation. Avec ces paramètres on peut expliquer le niveau de dégradation de panneau étudié avec la possibilité d'identifier le paramètre responsable.

Dans le troisième chapitre on a discuté les résultats obtenu par la méthode propose appliquée sur les trois types des panneaux : UDTS-50W, ISOFOTON-100W et Poly-150W, ces panneaux sont installés pendant des années dans un environnement désertique. L'extraction des paramètres se fait dans les conditions de test standards (STC), à fin d'obtenir les caractéristiques I-V et P-V de ces panneaux, puis on les compare avec le module de référence de même type.

A la phase final, on conclut à partir des résultats obtenu que ces panneaux aient une faible performance, c'est à dire ils sont dégradé. En conséquence de cette dégradation la puissance optimale de ces modules est réduite par rapport à leur état initial. A partir des paramètres physiques tels que R_s et R_{sh} , on peut conclure le niveau de dégradation des panneaux par la comparaison de ces paramètres avec les valeurs correspond au module de référence.

Enfin, on peut dire que les panneaux solaire sont dégradés après une longue période de fonctionnement à cause des facteurs externes de la nature, des facteurs comme l'absorption des rayons ultra-violets, la décoloration de l'EVA (l'absorption des rayons ultra-violets) ou par l'accumulation de sable.

Références

Références

- [1] **J P. Rivet**, Introduction à l'astronomie, CNRS, 2009.
- [2] Gisement solaire, 2012, p. pp 2
- [3] **W.U.Huynh, J.J.Dittmer, A.P.Alivisatos**, Science, 295(2002)2425; b) B. Sun, E.Marx, N. C. Greenham, Nano Lett, 3(2003)961.
- [4] **Oudrane A., Aour B., Zeghmati B., Chesneau X., Messaoud H.**, Study and simulation of the density of the incident solar flux on the walls of a building in the ADRAR site, Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 7, No. 5, (2017), pp.1940-1945. <http://www.etasr.com/index.php/ETASR/article/view/1337>.
- [5] **M.N.Mchalikh et CH.Hmada**''Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau '' Mémoire de Master Université Kasdi Merbah–Ouargla 2013.
- [6] **Oulimar Ibrahim**, étude et modélisation du rayonnement global horizontal en fonction de la durée d'insolation (application région Adrar) ,memoire de fin d'etude en vue de l'obtention du diplôme de master en physique energetique & energies renouvelables. Universite d'Adrar faculte des sciences et de la technologie departement des sciences de la matiere, 31 Mai 2018
- [7] **Rahmani Abderrahmane et Selmani kadda**, Etude des performances d'une cellule photovoltaïque à hétérojonctions, Mémoire de fin d'étude Pour l'obtention diplôme de Master en Electronique, UNIVERSITE DR. MOULAY TAHAR-SAIDA. 01/07/2017
- [8] **Angel Cid Pastor** « Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques ». Thèse de Docteur. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.
- [9] **Helali Kamelia**, Modélisation D'une Cellule Photovoltaïque : Etude Comparative, Mémoire de MAGISTER EN ELECTROTECHNIQUE, UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU 25 / 06 / 20012
- [10] **LAGHOUAG Ahlam, BENCHEIKH Halima**, Etude et simulation d'une cellule solaire à base des éléments chalcogènes, Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2018/2019
- [11] www.optique-ingenieur.org/fr
- [12] Généralités sur les technologies des cellules solaires
- [13] **Amer HAMZAOUI**, Effet de l'illumination sur les paramètres caractéristiques des cellules solaires au silicium polycristallin, MEMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER, UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF, 07/ 03 /2012

- [14] **B.Flèche-D. Delagnes** ‘Energie solaire photovoltaïque.doc’, juin 2007
- [15] **S. Petibon** ‘ Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l’énergie pour les applications photovoltaïques ‘.Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2009.
- [16] **Wackerly, Dennis; Mendenhall, William; Scheaffer, Richard L.** (2008). *Mathematical Statistics with Applications* (7 الطبعة)
- [17] **M.Zahra**, modélisation de modules photovoltaïque, Magister 2012 Université de Batna
- [18] **A. Saadi**, "Etude comparative entre les techniques d’optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque," Université de Biskra Mémoire de Magister, 2000.
- [19] **D.Saheb-Koussa, M.Haddadi.** , «Modélisation d’un générateur photovoltaïque dans l’environnement « Matlab »,» 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP’2007
- [20] **C.B.Honsberg** and **S.G.Bowden**, “Photovoltaics Education Website,” www.pveducation.org, 2019.
- [21] **T. Ma, H. Yang, L. Lu**, Development of a model to simulate the performance characteristics of crystalline silicon photovoltaic modules/strings/arrays, *Sol. Energy* 100 (2014) 31–41.
- [22] **Bendjelouli Zakaria**, modélisation d’une cellule solaire, Université de Bechar : Magistère 2009
- [23] **Soualmia Adel**, Intégration de la Production Décentralisée dans un Système de Pompage Photovoltaïque, Université de Constantine, Magister en Electronique.2014
- [24] **Arar Hemza , Haouam Abdeslam , Chenni Rachid , Nouar Aoun**, Simplified methods for evaluating the degradation of photovoltaic module and modeling considering partial shading , *Measurement*, 138 (2019) 217–224
- [25] **Ahmed Bouraiou, Messaoud Hamouda, Abdelkader Chaker, Ammar Neçaibia, Mohammed Mostefaou, Nadir Boutasseta, Abderrezzaq Ziane, Rachid Dabou, Nordine Sahouane, Salah Lachtar**, «Experimental investigation of observed defects in crystalline silicon PV modules under outdoor hot dry climatic conditions in Algeria,» *Solar Energy*, vol. 159, p. 475–487, 2018.
- [26] **K. & Z. B.V.**, the Netherlands, PO Box 507 • 2600 AM Delft
- [27] **Ababacar NDIAYE**, Etude de la dégradation et de la fiabilité des modules photovoltaïques Impact de la poussière sur les caractéristiques électriques de

performance, ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE-Sénégal:
DOCTORAT 26 Octobre 2013

[28] **M. Sadok**, 'Détermination des Paramètres, Performances et Etude de la Dégradation des Modules Photovoltaïques en Milieu Saharien', Thèse de Doctorat en Sciences Physiques, Université de Tlemcen, Algérie, 2011.

[29] **A. Bousskine, N. Guermouche**, 'Contribution à l'étude des systèmes de pompage photovoltaïque', Mémoire d'ingénieur, Université de Bejaia, 2010.

[30] **M. Capderou**. 'Atlas solaire de l'Algérie', O.P.U, Alger 1985.

[31] **R. Roshanak** 'Réalisation et caractérisation des cellules solaires organiques à couches composites polymères incluant des nanotubes de carbones', Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2008.

[32] **Thomas Mambrini**. Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies. Météorologie. Université Paris Sud - Paris XI, 2014. Français.

[33] Centre de Développement des Energies Renouvelables

[34] Généralités sur les technologies des cellules solaires (CHAPITRE I)