

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED– NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DÉPARTEMENT DE
TECHNOLOGIE

MÉMOIRE

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

Option : Energies renouvelables en Électrotechnique

Intitulé :

Diagnostic des Défauts Fréquents dans une Installation Solaire Photovoltaïque

Présenté par :

- *MAHAMMEDI Moustafa*
- *SMAIL Redha*
- *BADAOUI Hicham*

Soutenu le : 21/06/2023 devant le Jury :

Dr. MEDJAJI N	MCB	Centre Universitaire Naâma	Président
Dr. BENOTMANE Nouredine	MCB	Centre Universitaire Naâma	Examineur
Dr. KHESSAM Medjdoub	MCA	Centre Universitaire Naâma	Encadreur

Naama – Algérie - 2023



Remerciement

Avant tout développement sur cette expérience, il apparaît opportun de commencer ce projet par des remerciements pour Allah le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir notre travail dans les meilleures conditions.

D'abord et à ceux qui nous ont beaucoup appris au cours de ce travail.

C'est avec plaisir que nous réservons ces quelques lignes en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à l'égard de tous ceux qui nous ont aidés à la réalisation de notre projet de fin d'étude.

Nous adressons nos meilleurs remerciements à encadreur **DR KHASSAM M** docteur au centre universitaire de Nâama et notre Co- encadreur **Dr SAADA Z** qui nous a tendu la main pour accomplir notre projet et nous lui souhaitons beaucoup de succès et bonheur dans sa vie.

Nous remercions chaleureusement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer notre travail.

Nos salutations à tous les enseignants de la Faculté De Technologie Département D'électrotechnique et spécialement les enseignants de la spécialité énergie renouvelable, sans oublier les étudiants de master énergie renouvelable.

Nous tenons à exprimer mes reconnaissances à tous mes amis et collègues pour le soutien moral et matériel.

Et enfin, nous remercions également tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Tout d'abord, louez le Bon Dieu qui m'a donné l'opportunité et la force de poursuivre mes Études Je dédie cet humble travail au fruit de notre carrière universitaire :

Mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les

Plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et

M'a soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute

Sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, Toutes ma famille

, *Pour tout le monde avec un nom : **MAHAMMEDI , TADJ et***

SADOUNE

mes frères « Nouredine , Yassine » et mes sœurs.

A ma femme et mes filles Aia Malek, Maram hibet errahmen

Et tesbih merim

A tous mes amis .

Tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

MAHAMMEDI Moustafa

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*À mes chers parents **Nacéri Messaouda et Boualem Badaoui**
Pour leur soutien, leur patience, leur encouragement durant
mon parcours scolaire.*

À ma sœur et mes frères ainsi à toute ma famille.

À tous mes amis,

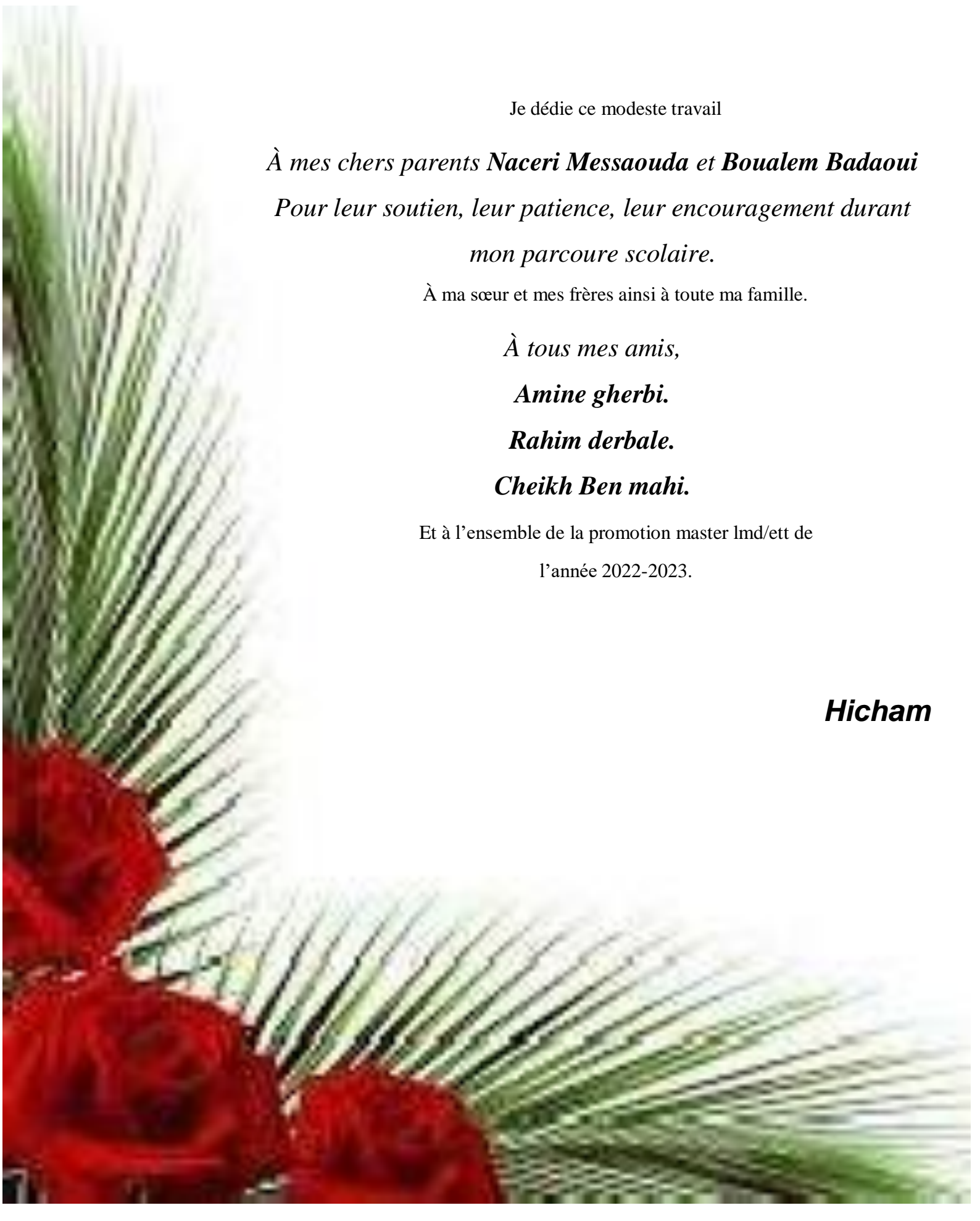
Amine gherbi.

Rahim derbale.

Cheikh Ben mahi.

Et à l'ensemble de la promotion master lmd/ett de
l'année 2022-2023.

Hicham



Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU de m'avoir donné la force
et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier cet humble
travail à : A Ma mère et mon père
mon amour
A mes précieuses sœur.

*A mes frères : SAMIR ; ABDELHAK et
ZAKI*

*A ma femme et mes enfants BELKIS ; MOHAMED ;
HODAIFA
et YOUCEF*

A Toute ma famille Tout ceux qui m'aiment et que j'aime

SMAIL REDHA

Résumé

Dans ce projet, nous avons conçu et réalisé un système de diagnostic et détection des défauts dans une installation PV à l'aide d'une carte Arduino Méga 2560 et programmé par logiciel IDE. Le système comporte des capteurs récepteurs des signaux analogiques et numériques pour mesurer la tension, le courant et la température. La caractérisation d'un dispositif photovoltaïque est une démarche très importante pour la révélation des facteurs gouvernant sa qualité de fonctionnement. Ceci par l'extraction des principaux paramètres caractéristique, et les compare avec ceux présents dans sa fiche technique. Ainsi, un défaut ou une tentative de dégradation inattendue sera facilement détecté, localisé et maintenu si possible ou le remplacer le module détérioré si nécessaire. Le présent travail présente quelque technique de caractérisation électrique des panneaux solaire photovoltaïque, et ceci par l'acquisition instantanée des points de fonctionnement Tension, courant et température. Avec l'extraction des différents paramètres caractéristiques sera facilement calculé ce qui renseigne sur l'évaluation de module analysé.

Mots clés : Dispositif photovoltaïque, caractérisation, détection, défauts, diagnostic.

Abstract

In this project, we designed and built a diagnostic and fault detection system in a PV installation using an Arduino Mega 2560 card and programmed by IDE software. The system includes sensors that receive analog and digital signals to measure voltage, current and temperature. The characterization of a photovoltaic device is a very important step for the revelation of the factors governing its quality of operation. This by extracting the main characteristic parameters, and comparing them with those present in its technical data sheet. Thus, a defect or an attempt at unexpected degradation will be easily detected, localized and maintained if possible or replace the damaged module if necessary. This work presents some technique of electrical characterization of photovoltaic solar panels, and this by the instantaneous acquisition of the voltage, current and temperature operating points. With the extraction of the different characteristic parameters will be easily calculated which provides information on the evaluation of the analyzed module.

Key Words : Photovoltaic device, characterization, detection, faults, diagnosis

ملخص

في هذا المشروع ، قمنا بتصميم وبناء نظام تشخيص واكتشاف الأعطال في تثبيت الطاقة الشمسية باستخدام بطاقة اردوينو ميكا 2560 وبرمجتها بواسطة برنامج IDE. يشتمل النظام على مستشعرات تستقبل الإشارات التناظرية والرقمية لقياس الجهد والتيار ودرجة الحرارة. تعد خصائص اللوحة الشمسية خطوة مهمة للغاية للكشف عن العوامل التي تحكم جودة تشغيلها. هذا عن طريق استخراج الخصائص المميزة الرئيسية ، ومقارنتها مع تلك الموجودة في ورقة البيانات الفنية الخاصة بها. وبالتالي ، سيتم اكتشاف عيب أو محاولة تدهور غير متوقع بسهولة وتوطينه وصيانته إن أمكن أو استبدال الوحدة التالفة إذا لزم الأمر. يقدم هذا العمل بعض تقنيات الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية ، وذلك من خلال الاكتساب الفوري لنقاط التشغيل الجهد والتيار ودرجة الحرارة. من خلال استخراج الخصائص المميزة المختلفة سيتم حسابها بسهولة مما يوفر معلومات حول تقييم الوحدة التي تم تحليلها. الكلمات المفتاحية: اللوحة الشمسية ، الخصائص ، الكشف ، الأعطال ، التشخيص.

Liste des abréviations et symboles

Liste des Abréviations et symboles

(LCD)	Liquide Crystal Display
(PV)	Photovoltaïque
(SI)	Système International d'unités
(ISES)	International Solar Energy Society
(GW)	Giga Watt
(Si)	Silicium
(A-Si)	Silicium Amorphe
(EVA)	éthylène -vynilacétate
(GPV)	Générateur Photovoltaïque
(MPP)	Le Point de Puissance Maximal.
(DC)	Direct Current
(VCC)	La Tension d'entrée
(GND)	Broche de Masse
(OUT)	Sorties Tension analogique proportionnelle au courant
(ACS)	Capteur de courant arduino
(RTC)	Horloge Temps Réel
(LED)	Diode électroluminescente
(GPS)	Global Positioning System
(SD)	Numérique Sécurisé
(SDSC)	Numérique Sécurisé Standard Capacité
(SDXC)	Numérique Sécurisé eXtendedCapacity
(SDHC)	Numérique Sécurisé Haute Capacité
(CAN)	Convertisseur Analogique Numérique
(ADC)	Analog to Digital Converter
(SCL) (Serial Clock)	Horloge de Cadencement de la Communication
(SDA) (Serial Data)	Signal de Données
(SPI)	L'interface de Périphérique Série
(PCB)	Printed Circuit Board
(SCLK) (Serial Clock)	Horloge du Bus (produite par le maître).
(MOSI) (Master Out Slave In)	Données du Maître vers l'esclave actif.
(MISO) (Master In Slave Out)	Données de l'esclave actif vers le maître.
(SSn) (Slave Select n)	Sélection de l'esclave n à destination de la transmission
(IDE)	Environnement de Développement Intégré
(CAO)	Conception Assistée par Ordinateur (W/m ²) watt par mètre carré
(Wh/m ²)	wattheure par mètre carré
(MHz)	Méga Hertz
(Ko)	Kilo Octé
(Xxe)	20
S	La durée d'insolation mesurée
S0	La durée maximale d'insolation
h	Est la constante de Planck
c	Étant la vitesse de propagation
λ	Longueur d'onde

Liste des abréviations et symboles

ν	La fréquence
V_{co}	La tension du circuit ouvert
I_{cc}	Le courant de court-circuit
np	Association parallèle de cellule
$I_{cc}(A)$	Le courant de court-circuit de la cellule dépendant de l'ensoleillement et de la température
$I_0(A)$	Correspondant au courant de saturation de la diode1
$K (1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K})$	La constante de Boltzmann
$q(1.602 \times 10^{-19} \text{ C})$	La charge de l'électron
$T(K)$	La température effective de la cellule
n	Le facteur de non idéalité de la jonction de la diode1
$I(A)$	Le courant fourni par la cellule
$V(V)$	La tension aux bornes de la cellule
$R_p(\Omega)$	La résistance de shunt caractérisant les courants de fuites de la jonction
$R_s(\Omega)$	La résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions
\cap	Indique la grandeur d'entrée est de type analogique
#	Indique la grandeur de sortie est de type numérique
V_{in}	La tension d'entrée
V_{out}	La tension de sortie
VBAT	La tension de Batterie
R	Résistance
FF	Facteur de forme
FQ	Facteur de Qualité
PC	Personale Computer
V	volt
A	Ampère

SOMMAIRE

SOMMAIRE

RESUME	II
LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES	III
LISTE DES FIGURES	III
INTRODUCTION GENERALE :	1
PREMIER CHAPITRE : GENERALITE SUR LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE	
I.1 INTRODUCTION :	3
I.2 GÉNÉRALITÉ	3
I.3 HISTORIQUE :	3
I.4. PRINCIPE ET FONCTIONNEMENT :	4
I.5 LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE :	6
I.6 LE PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE	7
I.6.1 Définition :	7
I.6.2 Les différents types de panneaux photovoltaïques :	7
I.6.2.1 Les panneaux PV monocristallins	7
I.6.2.2 Les panneaux PV polycristallins	8
I.6.2.3 les panneaux PV à couches minces (amorphe)	8
I.7 STRUCTURE DES PANNEAUX PV	10
I.7.1 Interaction lumière-matière	11
I.7.2 Transfert d'énergie des photons aux électrons	11
I.7.3 collecte des charges électriques	12
I.8 CARACTÉRISTIQUE ÉLECTRIQUE D'UNE CELLULE PV :	12
I.9 LES PARAMÈTRES DES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES:	13
I.10 Avantages et inconvénients	18
I.11 CONCLUSION	19

SOMMAIRE

DEUXIEME CHAPITRE: LES DIFFERENTS DEFAUTS DANS L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

II.1 INTRODUCTION :	21
II.2 LES DÉFAUTS LES PLUS FRÉQUENTS RENCONTRÉS DANS UN CHAMP PV :	21
II.2.1 Défauts du système photovoltaïques :	21
II.2.1.1 Décoloration	22
II.2.1.2 Délamination	22
II.2.1.3 Points chauds :	23
II.2.1.4 Fissuration de la cellule PV :	23
II.2.1.5 Bris de verre :	24
II.2.1.6 Détérioration du revêtement antireflet(ARC) :	25
II.2.1.7 Corrosion et oxydation :	25
II.2.1.8 Traces d'escargot 'Snailtracks' :	26
II.2.2 Défauts dans la boîte de jonction :	26
II.2.3 Défauts dans le système de câblage :	27
II.2.4 Défauts dans le système de protection :	28
II.2.5 Défauts au niveau de convertisseur DC/DC :	29
II.2.6 Défauts dans le système d'acquisition :	30
II.2.7 Défaut du bypass diode :	31
II.2.8 Diode anti-retour :	31
II.2.9 Défaut de terre	32
II.3 CONCLUSION:	32

TROISIEME CHAPITRE: LES METHODES DE DIAGNOSTIC DES DEFAUTS DANS L'INSTALLATION PV

III.1 INTRODUCTION:	34
III.2 DÉFINITION DU DIAGNOSTIC	34
III.3 LE DIAGNOSTIC INDUSTRIEL :	34
III.4 BUT DU DIAGNOSTIC INDUSTRIEL :	34
III.5 ETAPE DE DIAGNOSTIC :	34
III.5.1Prise de mesures :	35

SOMMAIRE

III.5.2 Détection de défauts :.....	35
III.5.3 Localisation de défauts :.....	35
III.5.4 Identification de défauts.....	35
III.5.5 Décision :	35
III.5.6 Correction.....	35
III.5.7 Adaptation :	35
III.6 OBJECTIFS :.....	36
III.7 MÉTHODES DE DÉTECTION DES DÉFAUTS :	36
III.7.1 Caractérisation électrique :.....	36
III.7.2 Mesure de tension/courant :	36
III.7.3 Comparaison des valeurs simulées et mesurées des signaux de sortie de système PV :.....	37
III.7.4 Analyse des pertes de puissance :.....	37
III.7.5 Technique d'intelligence artificielle :	37
III.7.6 Modèles basés sur la température et échange de chaleur :.....	38
III.7.7 Surveillance des courants résiduels (SCR) :	38
III.7.8 Surveillance d'isolation :.....	38
III.7.9 Détection de défauts de la mise de la terre :.....	39
III.7.10 Inspection visuelle :	39
III.7.11 Imagerie infra-rouge/thermique.....	39
III.7.12 Méthode de réflectométrie :	40
III.7.13 Inspection par ultrasons :.....	40
III.7.14 Thermographie infrarouge :.....	41
III.8 OUTILS DE CONCEPTION MATÉRIELS :.....	41
III.8.1 Carte arduino :	41
III.8.1.1 Généralités sur Arduino:.....	41
III.8.1.2 Caractéristiques de la carte Arduino Mega:.....	42
III.8.1.3 Alimentation :	42
III.8.1.4 Capacité Mémoire:	42
III.8.1.5 broches d'Entrées/Sorties:	42
III.8.1.6 Broches d'entrées et sorties numériques :	42
III.8.1.7 Communication Série:	43
III.8.1.8 Interruptions Externes:	43

SOMMAIRE

III.8.1.9 Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée):	43
III.8.1.10 SPI(InterfaceSériePériphérique):	44
III.8.1.11 I2C:	44
III.8.1.12 LED :	44
III.8.1.13 Broches d'entrées analogiques:	44
III.8.1.14 Les broches d'alimentation:	44
III.8.1.15 Autres broches:	44
III.8.2 logiciel Arduino :	45
III.8.2.1 Environnement de développement logiciel Arduino:	45
III.8.2.2 La fenêtre principale de cet EDI :comporte six parties (figure2)	45
III.8.3 Panneau solaire :	46
III.8.4 Capteur de tension :	46
III.8.5 Capteur de courant :	47
III.8.6 Le module Arduino Bluetooth HC-05 :	47
III.8.7 Écran de cristal liquide(LCD) :	48
III.8.8 I2C (Inter-Integrated Circuit) :	50
III.8.9 Rhéostat :	50
III.9 PRÉSENTATIONDE MONTAGE :	51
III.10 PROGRAMME IDE:	52
III.11 EXPLICATIONDUPRINCIPEDEFONCTIONNEMENTDUPROJET:	54
III.12 CARACTÉRISTIQUES I(V) DES DÉFAUTS :	55
III.12.1. Ombrage:	55
III.12.1.1. Ombrage 0% :	55
III.12.1.2. Ombrage 25% :	55
III.12.1.3. Ombrage 50% :	55
III.12.1.4 Ombrage 80% :	55
III.12.1.5. Interprétation graphique ombrage :	56
III.12.2. Température :	56
III.12.2.1. Température 15c° :	56
III.12.2.2. Température 25c° :	56
III.12.2.3. Température 50c° :	56
III.12.2.4 Température 75c° :	56
III.12.2.5. Interprétation graphique Température :	57

SOMMAIRE

III.12.3. Résistance série RS :.....	57
III.12.3.1. Résistance série : RS= 0 Ω	57
III.12.3.2. Résistance série : RS= 1 Ω	57
III.12.3.3. Résistance série : RS= 2 Ω	58
III.12 .3.4 Interprétation graphique RS :.....	58
CONCLUSION :	59

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Listes des figures

Liste des figures

Figure I-1: représentation d'un phénomène l'effet PV.....	5
Figure I-2: schéma équivalent d'une cellule PV (de gauche à droite ; générateur de courant ; diode ; résistance parallèle ; résistance série ; source de tension.).....	5
Figure I-3: les trois mécanismes de transformation de l'énergie solaire en une énergie électrique.....	6
Figure I-4: Coupe schématique d'une cellule photovoltaïque au silicium.....	6
Figure I-5: panneau solaire monocristallin.....	7
Figure I-6: panneau photovoltaïque polycristallin.....	9
Figure I-7: panneaux PV à couches minces (amorphe).....	9
Figure I-8: Les différentes couches constituant un module PV.....	10
Figure I-9: structure et diagramme de bandes pour une jonction p-n sous illumination.....	11
Figure I-10: Caractéristique I-V d'une cellule PV.....	12
Figure I-11: la caractéristique électrique I-V d'une cellule.....	14
Figure I-12: Association en série et en parallèle des module PV.....	16
Figure I-13: Mise en série des panneaux solaires.....	17
Figure I-14: Mise en parallèle des panneaux solaires.....	17
Figure II-1: Décoloration sur la surface de la cellule.....	22
Figure II-2: Délamination autour jeu de barre.....	23
Figure II-3: Points chauds.....	23
Figure II-4: Fissuration de la cellule PV.....	24
Figure II-5: Bris de verre.....	24
Figure II-6: Détérioration du revêtement anti reflet (ARC) [39].....	25
Figure II-7: Corrosion dans les interconnexions de cellules de jeu de barre.....	25
Figure II-8: Traces d'escargot 'Snailtracks'.....	26
Figure II-9: Exemples de défauts rencontrés dans des boîtes de jonction.....	26
Figure II-10: Exemples de défauts rencontrés dans le système de câblage.....	28
Figure II-11: Exemples de défauts dans système de protection.....	29
Figure II-12: Défaut du bypass diode[54].....	31
Figure II-13: diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion des autres strings.....	31
Figure III-1: Organigramme de diagnostic des défauts.....	35

Listes des figures

Figure III-2: Allure d'une caractéristique I-V d'un champ PV en fonctionnement défaillant .	37
Figure III-3: Imagerie thermique de défaut dans la surface de Panneaux.	40
Figure III-4: Principe de la réflectométrie pour localiser le défaut dans un string PV	40
Figure III-5: La connectique de l'Arduino Méga.....	43
Figure III-6: Les différentes parties de la fenêtre principale du logiciel Arduino.	45
Figure III-7: Panneau solaire.....	46
Figure III-8: Caractéristique technique de panneau solaire[24].....	46
Figure III-9: Capteur de tension d'Arduino	47
Figure III-10: Capteur de courant ACS712	47
Figure III-11: Module Arduino Bluetooth HC-05.....	48
Figure III-12: L'afficheur LCD(JHD162A).....	49
Figure III-13: I2C pour afficheur LCD.....	50
Figure III-14: Rhéostat	50
Figure III-15: présentation du montage	51
Figure III-16: schéma de montage.....	52
Figure III-17: influence d'ombrage sur caractéristique I(V) GPV.....	55
Figure III-18: influence de température sur caractéristique I(V) GPV	57
Figure III-19: influence de la résistance série sur caractéristique I(V) GPV.....	58

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

Depuis très longtemps, les humains ont profité d'énergie émise par le soleil. La plupart des utilisations sont directes comme en agriculture, à travers la photosynthèse et le séchage des cultures agricoles, dessalement de l'eau de mer ou dans les diverses applications de chauffage, ainsi que dans d'autres domaines, mais cette exploitation était limitée et avec le grand développement de la technologie et le progrès scientifique atteint par l'homme ouvert de nouveaux horizons scientifiques dans le domaine de l'exploitation de l'énergie solaire.

Cependant les installations photovoltaïques (comme le cas de tous les systèmes électriques et électroniques), tombent en panne et se dégradent pendant la durée de fonctionnement. Ceci nécessite un diagnostic dont l'objectif principal est de fournir un outil qui permet de détecter les défauts et de maximiser ainsi la production énergétique du système photovoltaïque [CHA016].

Permettre de diagnostiquer finement et de procéder à la détection et la localisation de défauts dans une installation PV augmente la productivité et réduit les coûts de maintenance en augmentant le taux de disponibilité des installations et en veillant à ce que leur rendement soit optimal. L'ajout de fonctions avancées de surveillance, de diagnostic et de supervision ne devra pas être ressenti pas l'exploitant [LB06].

Nos travaux de recherche présentés dans ces rubriques portent spécifiquement sur cette conception et réalisation d'un système basé sur une carte Arduino Méga2560. On a partagé ce travail en trois chapitres importants : Dans le premier chapitre, nous présenterons des généralités au système photovoltaïque à partir des notions de rayonnement solaire, et nous présenterons également le principe de l'effet photovoltaïque, le fonctionnement des cellules photovoltaïques, leurs procédés de fabrication et leur application dans le domaine photovoltaïque, et dans le dernier nous avons évoqué les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons des différents défauts fréquents les installations photovoltaïques généralités. Ensuite, nous avons discuté des différents titres et découvert leurs types et leurs caractéristiques.

Et dans le troisième chapitre, montrons méthodes de diagnostic des défauts dans l'installation photovoltaïque GPV nous avons réalisé un système de diagnostic des défauts dans l'installation photovoltaïque basé sur la carte ARDUINO Méga2560.

I. Premier Chapitre :

Généralité sur la cellule photovoltaïque

Chapitre I: Généralité sur la cellule photovoltaïque

I.1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre Nous parlons d'une manière brève sur généralité de l'énergie renouvelable ensuite nous parlerons sur un bref historique qui établit la position des cellules solaires , du principe de l'effet photovoltaïque et Nous abordons les différentes associations des cellules PV pour la formation d'un générateur PV. Nous étudions aussi les caractéristiques électriques d'une cellule PV tout en évoquant l'effet de quelques paramètres ces caractéristiques. Comment ces cellules photovoltaïques sont-elles constituées ? Avec quels matériaux ? Comment produisent-elles de l'électricité ?

I.2 Généralité :

Les énergies renouvelables sont des énergies provenant de sources naturelles qui se renouvellent à un rythme supérieur à celui de leur consommation. La lumière du soleil et le vent, par exemple, constituent de telles sources qui se renouvellent constamment. Les sources d'énergie renouvelables sont abondantes et sont présentes partout autour de nous. [32]

La production d'énergie renouvelable génère bien moins d'émissions que la combustion de combustibles fossiles. Afin de faire face à la crise climatique, il est primordial de passer des combustibles fossiles, qui sont actuellement à l'origine de la majeure partie des émissions, aux sources d'énergie renouvelables. [27]

Les énergies renouvelables sont désormais moins chères dans la plupart des pays et permettent de créer trois fois plus d'emplois que les combustibles fossiles. [13]

L'énergie solaire est une source d'énergie qui est dépendante du soleil. Cela signifie que la matière première est le soleil. Elle se place dans la catégorie des énergies renouvelables puisqu'on la considère comme inépuisable. On dit aussi que c'est une énergie 100% verte car sa production n'émet que peu de CO₂.

Grâce à cette énergie, il est possible de produire de l'électricité. Elle sera captée par des panneaux. Ces installations captent les rayons produits par le soleil. Elles convertissent ensuite l'énergie du soleil en électricité.[17]

I.3 HISTORIQUE :

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique dû à la transformation de la lumière en énergie électrique. Ce processus est conçu comme une grande découverte du physicien français EDMAND BECQUEREL pendant son expérience en 1839 où son principal objectif

Chapitre I: Généralité sur la cellule photovoltaïque

est la production de l'électricité en utilisant le flux lumineux sur des matériaux solides. Plus tard, dans les années 50 beaucoup d'efforts ont été déployés par certains chercheurs pour la production de l'énergie électrique en exploitant le rayonnement solaire, des études ont été menées à cette époque notamment celles des trois chercheurs Américains CHAPIN, PEARSON et PRINCE qui ont réussi à mettre en œuvre une cellule photovoltaïque « Photopile » avec un rendement de 9%, c'était à l'époque l'unique procédé connu pour alimenter des satellites en énergie durable. Plus tard, dans les années 50 beaucoup d'efforts ont été déployés par certains chercheurs pour la production de l'énergie électrique en exploitant le rayonnement solaire, des études ont été menées à cette époque notamment celles des trois chercheurs Américains CHAPIN, PEARSON et PRINCE qui ont réussi à mettre en œuvre une cellule photovoltaïque « Photopile » avec un rendement de 9%, c'était à l'époque l'unique procédé connu pour alimenter des satellites en énergie durable. En 1958 le satellite Vanguard 1 a été équipé par les premières cellules photovoltaïque puis 1959 le satellite Explorer 6 a été équipé par les premiers panneaux solaires. En 1973 des recherches continues pour adapter cette énergie à une utilisation terrestre, l'université Américaine « DELAWARE » a pu alimenter une maison en énergie photovoltaïque. Quelques années plus tard en AUSTRALIE on vient d'inventer un véhicule automobile fonctionnant en énergie solaire, ce dernier a parcouru une distance de 4000 km et c'était à l'époque un grand exploit. [2]

Depuis, beaucoup de recherches sont lancées dans ce domaine d'énergie renouvelable pour pallier à l'augmentation du coût des énergies fossiles et le problème d'épuisement des ressources naturelles. [5] [12]

I.4 Principe et fonctionnement :

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés "semi-conducteurs".

La cellule PV, aussi appelée cellule solaire, constitue l'élément de base de la conversion photovoltaïque. Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur qui transforme en énergie électrique l'énergie lumineuse fournie par une source d'énergie inépuisable, le soleil. Elle exploite les propriétés des matériaux semi-conducteurs utilisés dans l'industrie de l'électronique : diodes, transistors et circuits intégrés. [3]

Chapitre I: Généralité sur la cellule photovoltaïque

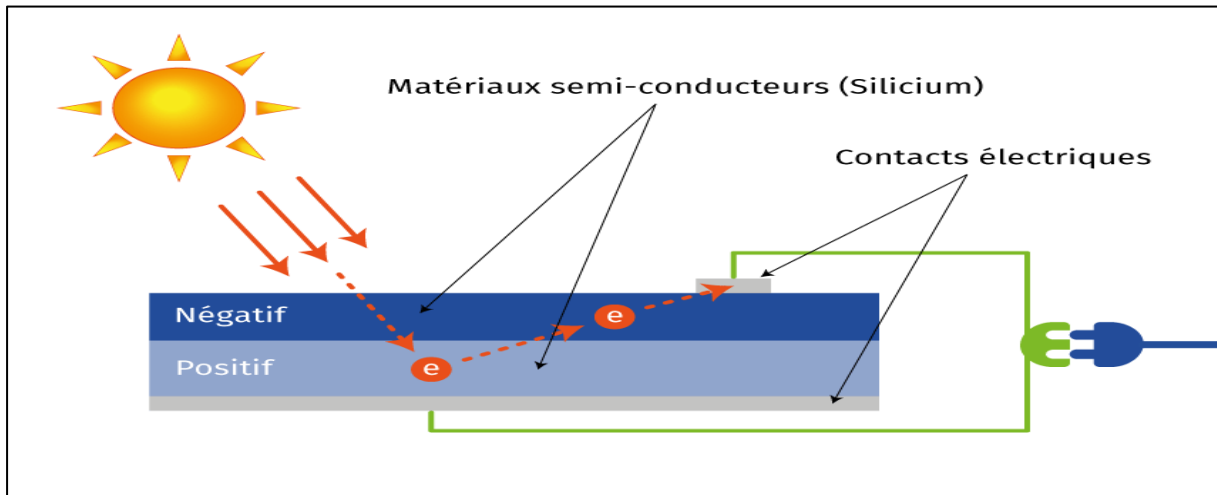


Figure I-1: représentation d'un phénomène l'effet PV. [7]

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent). Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie $h\nu$ à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure.[4]

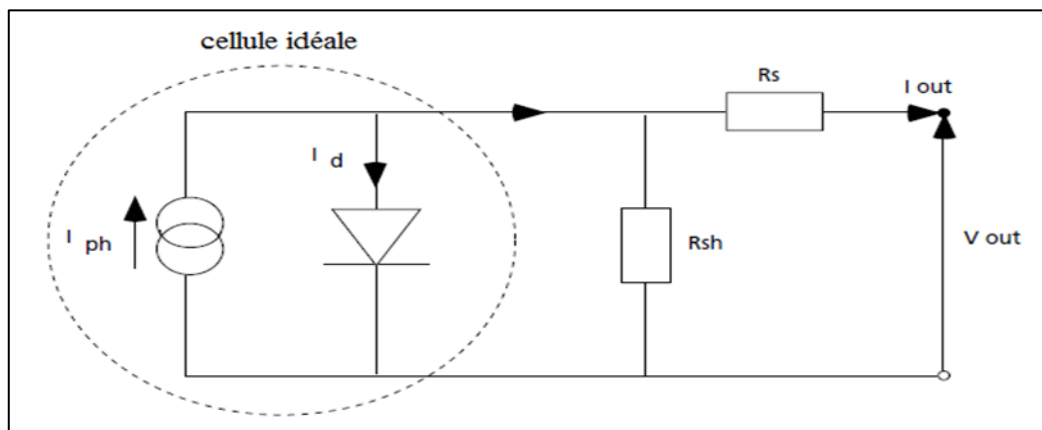


Figure I-2: schéma équivalent d'une cellule PV (de gauche à droite ; générateur de courant ; diode ; résistance parallèle ; résistance série ; source de tension.) [3]

Chapitre I: Généralité sur la cellule photovoltaïque

I.5 La cellule photovoltaïque :

Pour passer de l'effet photovoltaïque à l'application pratique, il est nécessaire de trouver des matériaux qui permettent d'optimiser les trois phases essentielles de ce principe: [12].

- ✓ Absorption de la lumière incidente
- ✓ Le transfert de l'énergie des photons aux charges électriques.
- ✓ Collection des électrons en surface

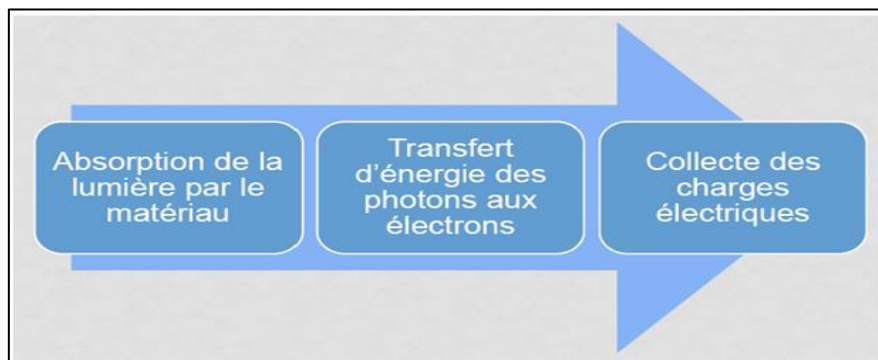


Figure I-3: les trois mécanismes de transformation de l'énergie solaire en une énergie électrique. [12].

Les cellules PV sont fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs qui sont capables de conduire l'électricité ou de la transporter. Plus de 90 % des cellules solaires fabriquées à l'heure actuelle sont au silicium cristallin, un semi-conducteur. Une des faces de la cellule est dopée n (par exemple du phosphore). L'autre est dopée p (par exemple du bore). Des électrodes métalliques sont placées sur les 2 faces pour permettre de récolter les électrons et de réaliser un circuit électrique. [11]

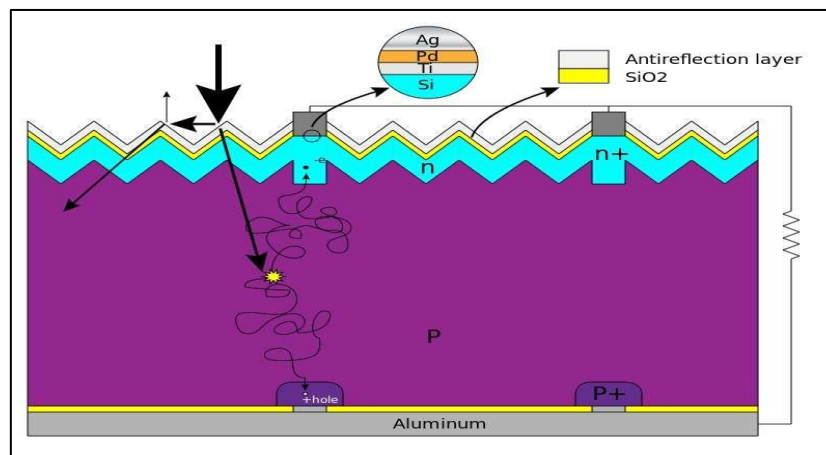


Figure I-4: Coupe schématique d'une cellule photovoltaïque au silicium. [11]

La face supérieure de la cellule est traitée de manière à optimiser la quantité de lumière entrant dans la cellule au moyen de traitement de surface, par l'application d'une couche anti

Chapitre I: Généralité sur la cellule photovoltaïque

réflexion. Les faces supérieure et inférieure sont équipées d'électrodes pour récolter les électrons. Il existe différentes technologies de cellules photovoltaïques. Les différences entre elles se situent au niveau des matériaux utilisés et des procédés de fabrication.[2]

Pour quoi le silicium ?

Élément dominant dans l'électronique pour ses propriétés de semi-conducteur, le silicium est largement utilisé pour ses propriétés photovoltaïques car :

- il favorise la circulation des paires électrons-trous en son sein ;
- sa composition chimique peut être légèrement modifiée pour en optimiser les propriétés électriques : il suffit de le « doper » en y introduisant quelques atomes d'une autre nature. [9]

I.6 Le panneau photovoltaïque :

I.6.1 Définition :

Un panneau photovoltaïque est composé de cellules photovoltaïques, formées de couches de silicium. Ce matériau est essentiel pour assurer l'effet photovoltaïque, soit la conversion des rayons du soleil en courant électrique. [11]

I.6.2 Les différents types de panneaux photovoltaïques :

Généralement dans cette catégorie renferme trois principaux types différents des panneaux PV.

I.6.2.1 Les panneaux PV monocristallins :

Les panneaux solaires photovoltaïques monocristallins sont les modules photovoltaïques les plus performants du marché. Avec un rendement de 20 % ou plus, les panneaux photovoltaïques monocristallins dépassent leurs cousins polycristallins d'environ 3 à 4 % en moyenne. [3]

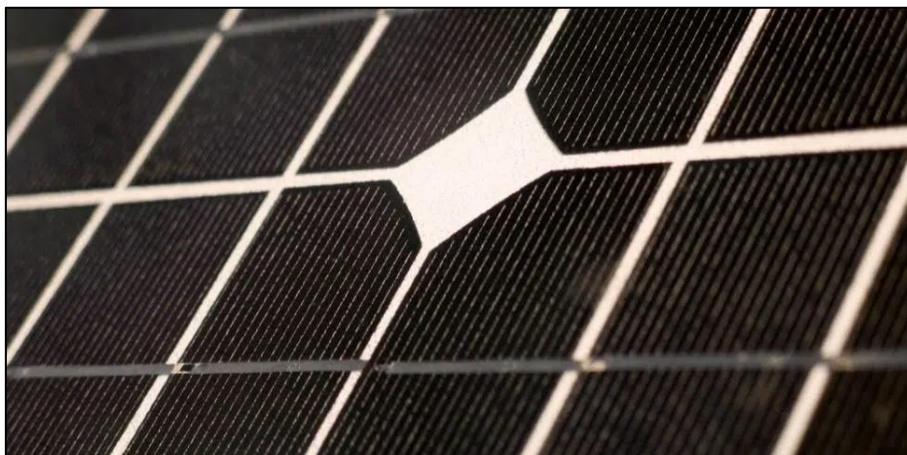


Figure I-5: panneau solaire monocristallin. [3]

Chapitre I: Généralité sur la cellule photovoltaïque

Les panneaux solaires monocristallins sont des modules à cellules à couches épaisses et sont souvent utilisés par les utilisateurs ayant peu d'espace pour leur installation solaire et qui attachent de l'importance à l'esthétique de l'installation. [40]

Les cellules monocristallines sont fabriquées selon des procédés complexes, par exemple en produisant des barres monocristallines (composées d'un seul cristal) à partir du semi-conducteur en silicium, puis en les découpant en « wafers ».

Les cellules photovoltaïques monocristallines bleu foncé à noires sont très homogènes et se distinguent par un rendement particulièrement élevé. Mais elles sont aussi beaucoup plus chères. [6]

Les avantages : [22]

- puissance et haut rendement
- bonne solution pour des conditions pas optimales
- très productifs sur des espaces limités

Les inconvénients : [22]

- cher à l'achat
- installation par une entreprise spécialisée

I.6.2.2 Les panneaux PV polycristallins :

Les modules solaires polycristallins, avec leur aspect reconnaissable de grille bleu foncé, sont très répandus dans notre pays et très appréciés des propriétaires de maisons individuelles.

Cela s'explique d'une part par les prix plus bas que les panneaux monocristallins, et d'autre part par leur bonne performance. En moyenne, les modules solaires polycristallins atteignent des valeurs d'efficacité de 12 à 16 %.[7]

Montés sous forme de modules traditionnels à couche épaisse (comme les monocristallins), les panneaux solaires polycristallins sont très résistants aux intempéries. C'est une des raisons pour lesquelles les fabricants leur attribuent une longue durée de vie de 25 à 30 ans.

L'inconvénient des panneaux solaires photovoltaïques dits polycristallins est l'aspect de leur surface assez irrégulier. C'est pourquoi de plus en plus de propriétaires qui attachent de l'importance à l'esthétique de leur toiture se tournent vers les modules monocristallins, d'un noir homogène. [12]

Les avantages : [11]

- grande efficacité
- moins onéreux que les monocristallins
- robustes contre les intempéries

Les inconvénients : [11]

- moins puissant et efficace que les monocristallins
- installation par une entreprise spécialisée

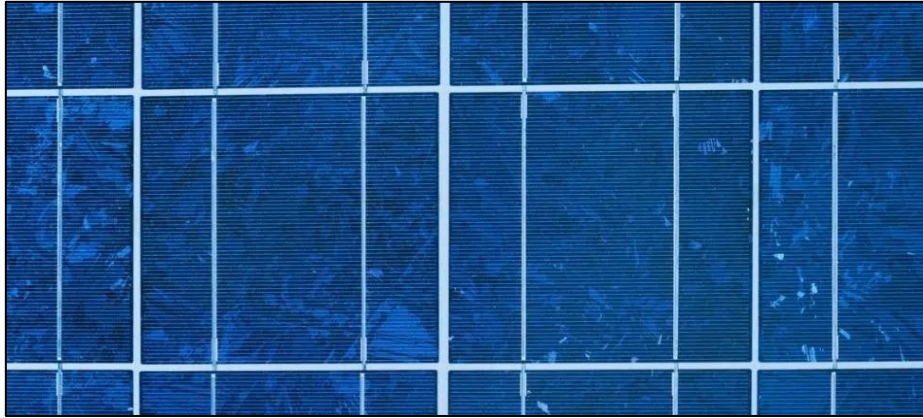


Figure I-6: panneau photovoltaïque polycristallin. [9]

I.6.2.3 les panneaux PV à couches minces (amorphe) :

Les modules à couches minces (ou fines) sont composés de silicium amorphe. Dans le cas des cellules solaires amorphes, le matériau semi-conducteur est déposé en couches extrêmement fines par évaporation ou par pulvérisation sur une plaque de verre ou un autre support. Cela permet aussi, par exemple, de fabriquer des capteurs solaires flexibles. [11]

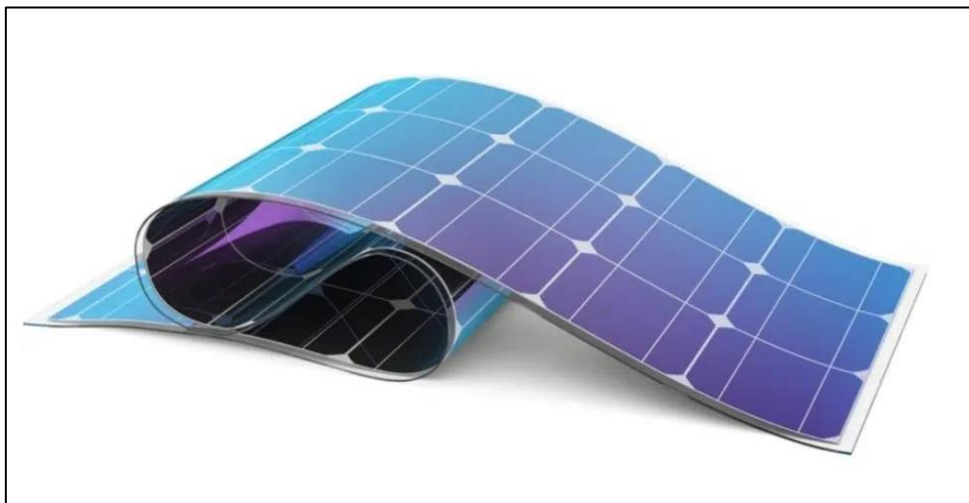


Figure I-7: panneaux PV à couches minces (amorphe) [9]

Les coûts de fabrication des cellules solaires amorphes sont particulièrement bas, mais le rendement des modules l'est également. C'est pourquoi les panneaux solaires à cellules amorphes sont surtout utilisés dans les centrales solaires, où les coûts d'investissement sont faibles et où la surface n'est pas limitée. [39]

Chapitre I: Généralité sur la cellule photovoltaïque

Les avantages : [25]

- peu coûteux.
- montage facile.
- flexibilité d'utilisation.

Les inconvénients : [25]

- rendement peu efficace.
- plus grande surface requise.
- sensible aux influences météorologiques.

I.7 Structure des panneaux PV :

Fabrication d'un module photovoltaïque, l'encapsulation a pour but de regrouper les cellules en série ou en parallèle afin de permettre leur utilisation à des tensions et des courants pratiques tout en assurant leur isolation électrique et leur protection contre les facteurs extérieurs. Cette protection doit permettre une durée de vie des modules photovoltaïques supérieure à 20 ans. [9]

En pratique, l'encapsulation consiste à la mise en sandwich de l'ensemble constitué par les cellules et le matériau encapsulant (EVA) entre deux plaques de verre (procédé bi-verre) ou entre une plaque de verre et un ensemble constitué de couches minces de polymère (tedlar, mylar) et d'aluminium (procédé mono-verre).

L'encapsulation des cellules photovoltaïques est illustrée entre deux couches de thermoplastique. [13]

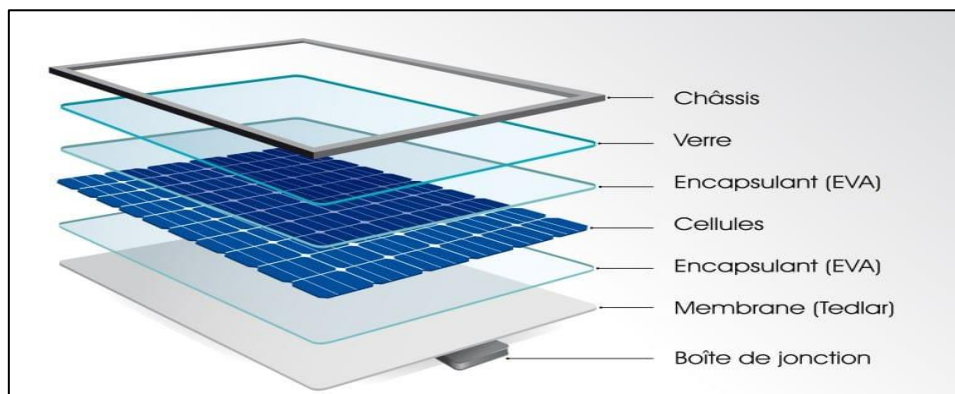


Figure I-8: Les différentes couches constituant un module PV[8]

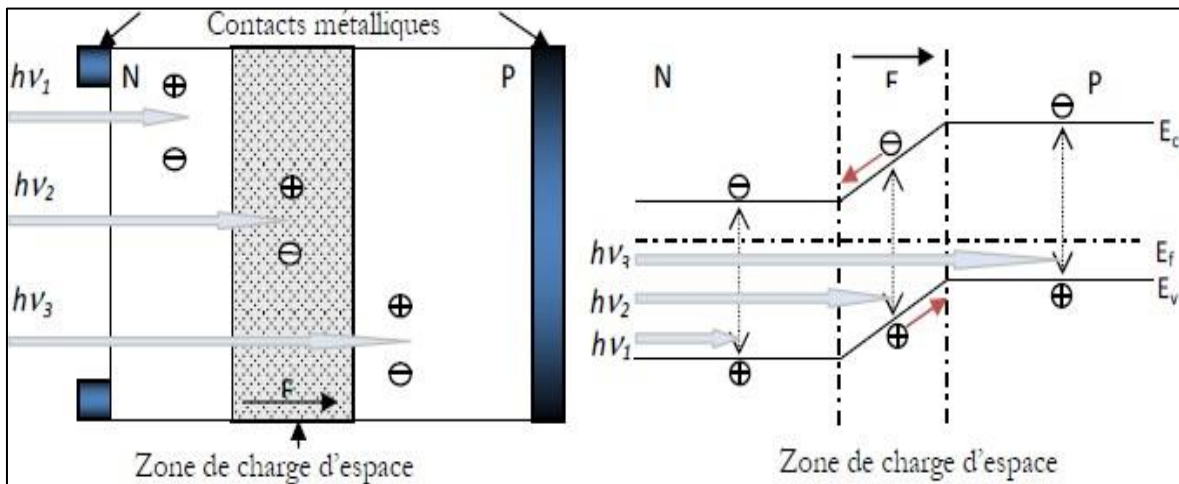


Figure I-9: structure et diagramme de bandes pour une jonction p-n sous illumination. [8]

I.7.1 Interaction lumière-matière

Le rayonnement solaire est constitué de photons transportant chacun une énergie qui répond, elle-même, à la relation suivante :

$$E_{ph} = \frac{hc}{\lambda} = hv \dots \dots \dots I.1 [4]$$

E_{ph} : représente la quantité d'énergie.

λ: la longueur d'onde.

h: la constante de Planck et **c** la vitesse de la lumière.

Les photons incidents sont absorbés par le silicium en fonction de leur longueur d'onde.

Les photons de basse longueur d'onde est donc plus énergétiques (Ultra-violet) seront absorbés dans les premiers micromètres de la cellule tandis que les photons de plus grande longueur d'onde (Infra-rouge) peuvent atteindre la face arrière et être réfléchis par cette dernière. [4]

La largeur de la bande interdite E_g est un paramètre important car il détermine le seuil d'absorption. En effet, le photon interagit avec l'électron uniquement s'il peut fournir une énergie supérieur à la bande interdite E_g [4].

I.7.2 Transfert d'énergie des photons aux électrons :

Les photons incidents apportent l'intégralité de leur énergie pour donner naissance à des paires électrons-trous, appelés plus couramment porteurs photo-générés. Les porteurs minoritaires, les électrons dans un matériau dopé p, les trous dans un matériau dopé n, diffusent sous l'effet de gradients de concentration vers l'interface. Ils sont ensuite entrainés par le champ électrique et atteignent la région dans laquelle ils sont majoritaires pour participer au photo-courant [4].

I.7.3 collecte des charges électriques :

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction P-N avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction P-N de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. A travers une charge continue, on peut en plus récolter des porteurs. La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (VOC). Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit (ICC) et dépend fortement du niveau d'éclairement [5].

I.8 Caractéristique électrique d'une cellule PV :

La cellule PV est un dispositif semi-conducteur construit à partir d'une jonction PN. Lorsqu'elle est illuminée, le déséquilibre de la charge électrique dans les deux couches (P et N) provoque un mouvement de la charge à travers la jonction produisant ainsi de l'électricité.

La cellule PV est normalement conçue pour fonctionner comme un générateur en fournissant l'énergie électrique convertie de l'énergie solaire à une charge. Par contre, il se peut que cette même cellule, lorsqu'elle est interconnectée avec d'autres cellules, fonctionne comme un récepteur en absorbant de l'énergie débitée par les autres cellules [ABETE'90]. La caractéristique électrique d'une cellule PV montrant ses différents régimes de fonctionnement est illustrée dans la Figure I-10. [11]

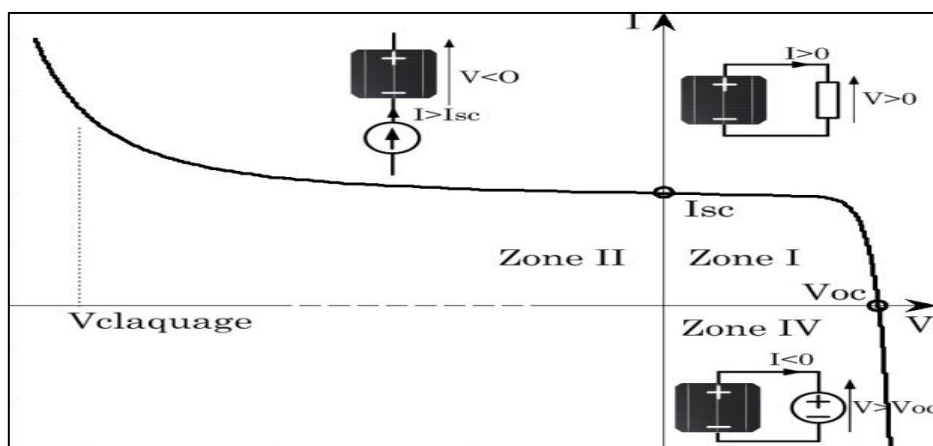


Figure I-10: Caractéristique I-V d'une cellule PV[11]

Chapitre I: Généralité sur la cellule photovoltaïque

Dans cette figure, on peut remarquer deux points de fonctionnement importants : le courant de court-circuit (I_{sc}) et la tension de circuit ouvert (V_{oc}). Comme son nom indique, le courant de court-circuit correspond au courant quand la cellule est court-circuitée. Ce courant de court-circuit est proportionnel à la surface de la cellule qui capture la lumière, et pour une surface quelconque, ce courant de court-circuit dépend de l'intensité de lumière absorbée par la cellule. La tension de circuit ouvert est la tension aux bornes de la cellule quand il n'y a pas de courant. Sa valeur est de l'ordre de 0.6 V pour la cellule de type cristallin. Ces deux points (I_{sc} et V_{oc}) délimitent le fonctionnement de la cellule en trois zones différentes.

La zone I de la figure I.8 correspond au fonctionnement en générateur de la cellule avec $0 \leq I \leq I_{sc}$ et $0 \leq V \leq V_{oc}$. C'est le fonctionnement dit normal de la cellule dans lequel elle débite la puissance produite à la charge.

La zone II correspond au fonctionnement en récepteur de la cellule avec : $I > I_{sc}$ et $V > 0$

Quand le courant traversant la cellule est forcé par un circuit extérieur à dépasser son courant de court-circuit, la cellule produit une tension négative à ses bornes. La croissance en courant provoquera l'endommagement de la cellule si la tension à ses bornes atteint une limite : la tension de claquage ($V_{claquage}$). L'étude expérimentale sur différentes cellules de type cristallin a montré que la valeur de la tension de claquage varie entre -10 V et -30 V [ALONSO- GARCIA'06].

La zone IV correspond de nouveau au fonctionnement en récepteur de la cellule, mais avec cette fois-ci $I < 0$ et $V > V_{oc}$. Quand la tension aux bornes de la cellule est amenée à dépasser sa tension de circuit ouvert, un courant inverse circule dans la cellule. Si ce courant inverse dépasse une limite, la cellule sera irrémédiablement endommagée. Cette limite n'est pas facile à définir car elle dépend de la technologie, des phénomènes internes à la circulation du courant dans la cellule en défaut. [10]

I.9 Les Paramètres des cellules photovoltaïques:

En dessinant la caractéristique courant-tension (I-V) et puissance-tension (P-V) d'une cellule PV.

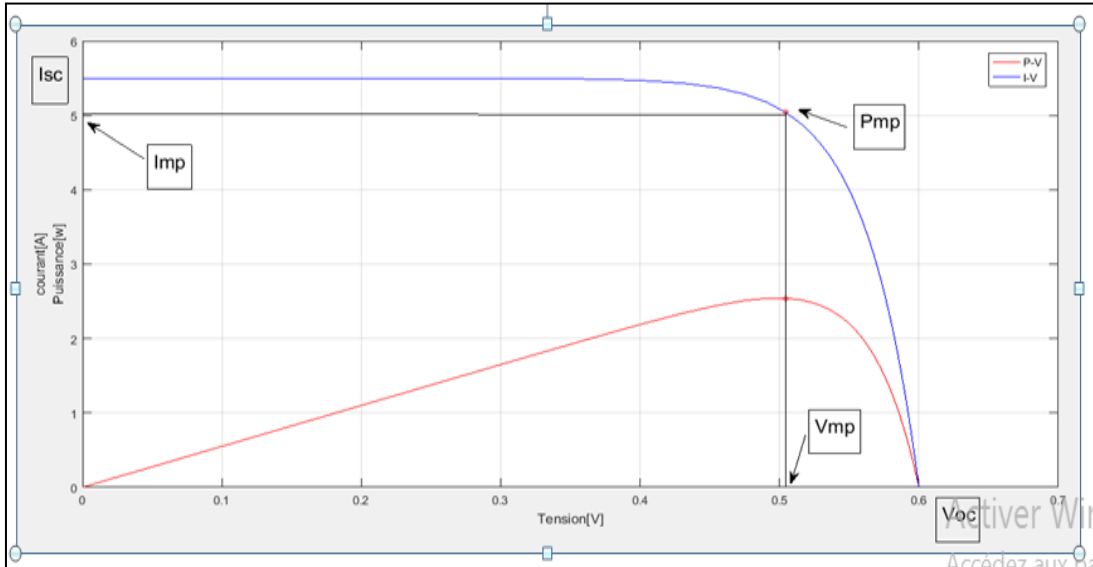


Figure I-11: la caractéristique électrique I-V d'une cellule. [2]

$$P_m = V_{mp} \cdot I_{mp}$$

P_m : la puissance maximale.

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

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

Les paramètres des cellules photovoltaïques (I_{CC} , V_{CO} , P_{max}, FQ , FF et η), extraits des caractéristiques courant-tension, permettent de comparer différentes cellules éclairées dans des conditions identiques. [12]

*** Courant de court-circuit, (ICC) :**

Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule (en prenant V= 0 dans le schéma équivalent). Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement, de la mobilité des porteurs et de la température. On peut écrire: [13]

$$I_{cc} (V = 0) = I_{ph} \dots \dots \dots I.2 [13]$$

*** Tension à circuit ouvert, (VCO) :**

La tension de circuit ouvert est obtenue quand le courant de la cellule est nul. Il est lié à la résistance shunt, lorsque cette dernière n'est pas connectée ou connectée mais sa valeur est infinie [16]. La valeur de cette tension diminue avec la température et dépend de l'éclairement de la cellule. [14]

$$V_{oc} = \frac{K \cdot T_c}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_s}\right) \dots \dots \dots I.3 [14]$$

Chapitre I: Généralité sur la cellule photovoltaïque

$\frac{K \cdot T_c}{q}$: représente la potentielle thermodynamique

T_c: la température absolue

Q : la constante de charge d'un électron = $1.602 \cdot 10^{-19}$ C

K : la constante de Boltzmann = $1.38 \cdot 10^{-23}$

I_{ph} : le photo courant

I_S : le courant de saturation inverse

*** Puissance maximale (P_{max}) :**

La puissance fournie au circuit extérieur par une cellule photovoltaïque sous éclairage dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes de la cellule). Cette puissance est maximale (notée P_{max}) pour un point de fonctionnement P_{max} (I_{max}, V_{max}) de la courbe courant-tension (courants compris entre 0 et I_{CC} et tension comprise entre 0 et V_{co} donc la puissance fournie par la cellule est donnée par le produit (V.I), [14]

$$P = V(I_{ph} - I_s[\exp(\frac{V}{A_{UT}}) - 1]) \dots\dots\dots I.4 [14]$$

Cette puissance fournie est maximale au point définit par:

$$\frac{dP}{dV} = \frac{dI}{dV} + I = 0 \dots\dots\dots I.5 [14]$$

Soit :

$$I_{ph} - I_s[\exp(\frac{V}{A_{UT}}) - 1] - V I_s \left(\frac{1}{A_{UT}}\right) \exp\left(\frac{V}{A_{UT}}\right) = 0 \dots\dots\dots I.6 [14]$$

La tension V_{max} et le courant I_{max} correspondant au maximum de puissance, sont alors données par:

$$1 + \left(\frac{V_{max}}{A_{UT}}\right) \exp\left(\frac{V_{max}}{A_{UT}}\right) = 1 + \left(\frac{I_{ph}}{I_s}\right) \dots\dots\dots I.7 [14]$$

Donc :

$$I_{max} = I_s \left(\frac{V_{max}}{A_{UT}}\right) \exp\left(\frac{V_{max}}{A_{UT}}\right) \dots\dots\dots I.8 [14]$$

Le produit (V_{max} × I_{max}) donne la puissance maximale qui représente 80% environ du produit (V_{co} × I_{cc}). [10]

*** Facteur de qualité (FQ) :**

C'est un paramètre dépendant de la qualité de la diode. Il est compris entre 1 et 2.

*** Facteur de forme (FF) :**

On appelle facteur de forme ff (fill-factor), le rapport entre la valeur maximale de la puissance pouvant être extraite (P_{max} = I_{max} x V_{max}) de la photopile sous les conditions de mesures standardisées, et le produit I_{cc} x V_{co} où: [11]

$$ff = \left(\frac{P_{max}}{V_{co} \cdot I_{cc}}\right) \dots\dots\dots I.9 [11]$$

Chapitre I: Généralité sur la cellule photovoltaïque

Pour une cellule de fabrication industrielle, le facteur de forme est de l'ordre de 70%. [11]

* Rendement d'une cellule solaire (η_c) :

Le rendement est donné par le rapport de la puissance électrique maximale générée à la puissance du rayonnement solaire incident [11]

$$\eta_c = \left(\frac{V_{max} \cdot I_{max}}{P_{solaire}} \right) \dots\dots\dots I.10 \quad [11]$$

* Association des modules PV :

Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle pour construire le champ photovoltaïque afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation. Toutefois, il importe de prendre quelques précautions car l'existence de cellules moins efficaces ou l'occlusion d'une ou plusieurs cellules (dus à de l'ombrage, de la poussière,....etc.) peuvent endommager les cellules de façon permanente. [9]

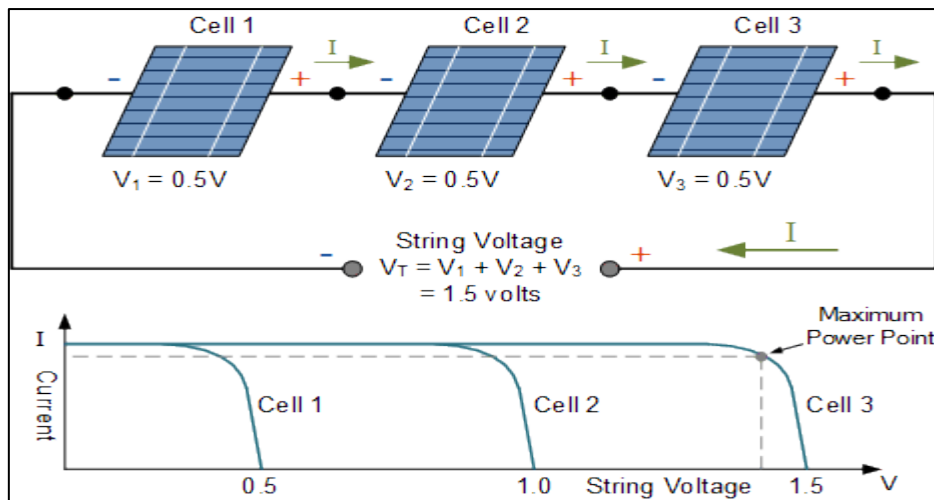


Figure I-12: Association en série et en parallèle des module PV [9]

* Mise en série

En additionnant des cellules ou des modules identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série. [11]

$$U = U_1 + U_2 + \dots\dots\dots + U_n \dots\dots\dots I.11$$

$$I = I_1 = I_2 = I_n \dots\dots\dots I.12$$

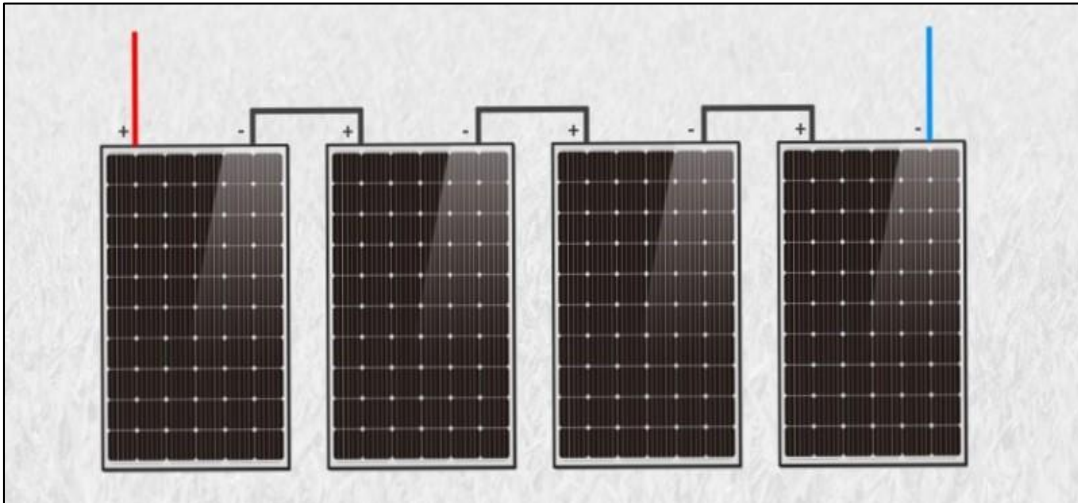


Figure I-13: Mise en série des panneaux solaires. [9]

*** Mise en parallèle**

En additionnant des modules ou cellules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche. [9]

$$U = U_1 = U_2 = U_3 \dots \dots \dots = U_n \dots \dots \dots \text{I.13}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = I_n \dots \dots \dots \text{I.14}$$

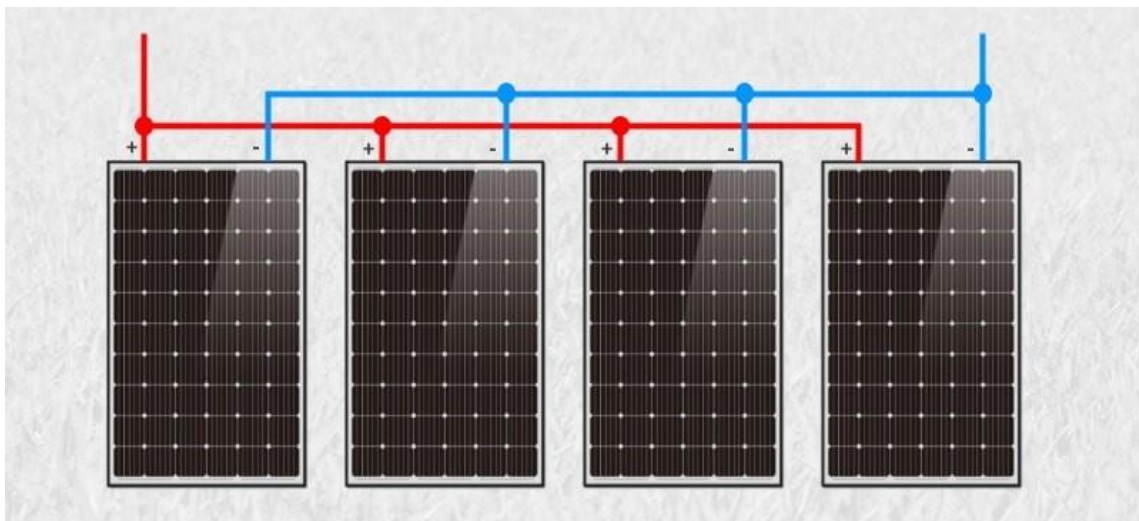


Figure I-14: Mise en parallèle des panneaux solaires. [9]

I.10 Avantages et inconvénients

* **Avantages** : [9]

- La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages. D'abord, une haute fiabilité - elle ne comporte pas de pièces mobiles - qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.
- Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.
- Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions. [9]

* **Inconvénients** : [7]

- Le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients...
- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.
- Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis. [7]

I.11 Conclusion

Dans ce premier chapitre nous avons exposé des généralités sur les systèmes photovoltaïques orientation vers les caractéristiques des cellules photovoltaïques, leurs paramètres et effectué nous permet de bien comprendre le principe de fonctionnement du système photovoltaïque, ainsi que les différentes technologies utilisées.

II. Deuxième Chapitre: Les différents défauts dans une installation photovoltaïque

Chapitre II:Les différents défauts dans une installation photovoltaïque

II.1 INTRODUCTION :

Le générateur photovoltaïque est le seul convertisseur direct pour transformer la lumière en énergie électrique, et offre la possibilité de produire de l'électricité directement à partir d'une ressource renouvelable et largement disponible. Dans ce chapitre, nous précisons tout d'abord le contexte et l'objectif de notre étude. Nous discutons de toutes les problématiques et les défauts liés à la productivité d'une installation photovoltaïque.

II.2 Les défauts les plus fréquents rencontrés dans un champ PV :

Dans le cadre du projet DLDPV financé par l'ANR, les défauts les plus rencontrés dans une installation photovoltaïque ont été collectés grâce au retour d'expérience des par ternaires du projet. Les défauts collectés ont été classifiés selon la fonction des différents composants constituant l'installation PV. Sept groupes de défauts ont été formés : [3]

- ✓ Défauts dans le générateur photovoltaïque.
- ✓ Défauts dans la boîte de jonction.
- ✓ Défauts dans le système de câblage.
- ✓ Défauts dans le système de protection.
- ✓ Défauts de convertisseur.
- ✓ Défauts dans le système d'acquisition des données.

Dans chaque groupe de défauts, un tableau a été établi reprenant le type du défaut, sa conséquence principale.

Dans cette annexe, quelques exemples de défauts sont également illustrés sous forme d'images. [39]

II.2.1 Défauts du système photovoltaïques :

Dans cette partie de la section, un aperçu des défauts des systèmes photovoltaïques est donné afin de fournir des informations utiles aux lecteurs et aux chercheurs scientifiques. En mettant d'avantage l'accent sur les défauts des modules photovoltaïques. [36]

Chapitre II:Les différents défauts dans une installation photovoltaïque

II.2.1.1 Décoloration

La décoloration est l'un des défauts les plus courants observés dans les champs photovoltaïques, ce qui est causé par des facteurs externes tels que l'exposition à longue durée sous rayonnement

Ultra violet et les températures élevées supérieures à 50 ° C, il est plus fréquente dans les zones chaudes et sèches. D'autre part, la décoloration peut être divisée en deux types principaux : jaunissement et brunissement de l'EVA et

décoloration de la ligne de grille (doigt), la présence de ce défaut dans le générateur photovoltaïque, entraînant une perte de puissance de sortie due à la réduction de l'intensité de l'énergie lumineuse atteignant la surface de la cellule solaire[5]-[8]. Un exemple de ces défauts est présenté à la figure II.1.

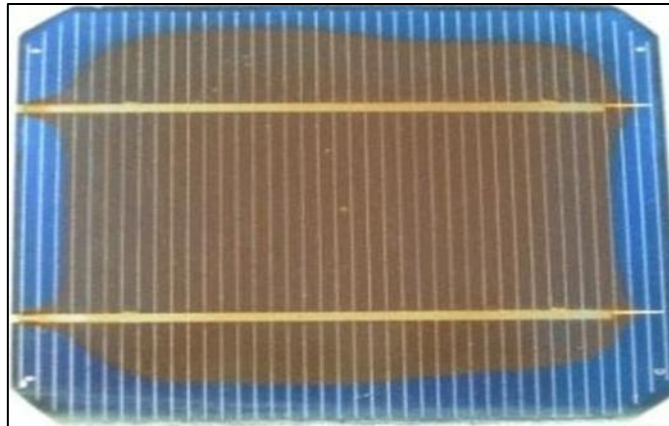


Figure II-1: Décoloration sur la surface de la cellule. [8]

II.2.1.2 Délamination :

La délamination est également l'un des principaux modes de dégradation qui consiste en une perte d'adhérence entre les différentes couches du module PV (verre / agent d'encapsulation), (encapsulant/cellule) et mauvaise adhérence, sensible aux ultra violets (UV), à l'humidité ou à la contamination du matériau, la présence de ce défaut dans les modules photovoltaïques réduit le court-circuit produit par le module en raison de l'augmentation de la réflexion de la lumière solaire atteignant le module [9]

surface Le délaminage est plus fréquent en climat chaud et humide Un exemple de ces défauts est présenté à la figure II.2. [16]

Chapitre II: Les différents défauts dans une installation photovoltaïque

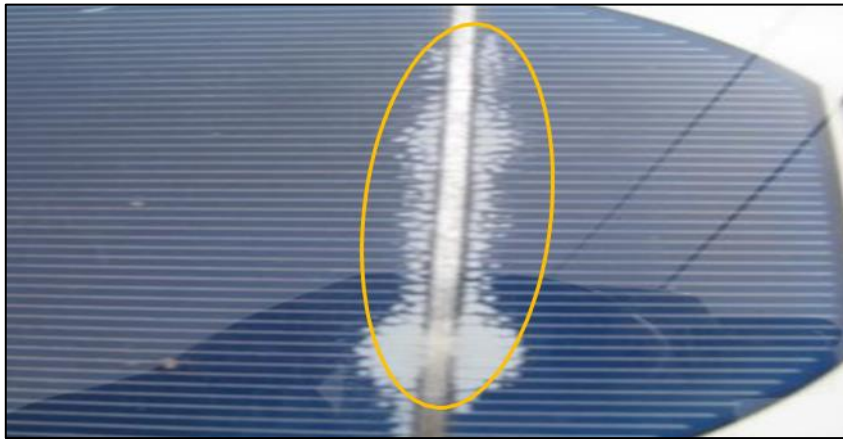


Figure II-2: Délamination autour jeu de barre. [16]

II.2.1.3 Points chauds :

Il en résulte des points chauds lorsqu'une cellule solaire photovoltaïque d'un module génère moins de courant que le courant de la chaîne de modules. Différents facteurs tels que l'ombrage partiel de la cellule, son endommagement ou son déséquilibre électrique peuvent être à l'origine de ce défaut, ce qui peut affecter les propriétés de la cellule solaire telles que la déformation de la jonction p-n, shunts locaux, impuretés et résistance des wafers. [16]

La figure II.3 montre comment un point chaud peut endommager une cellule.

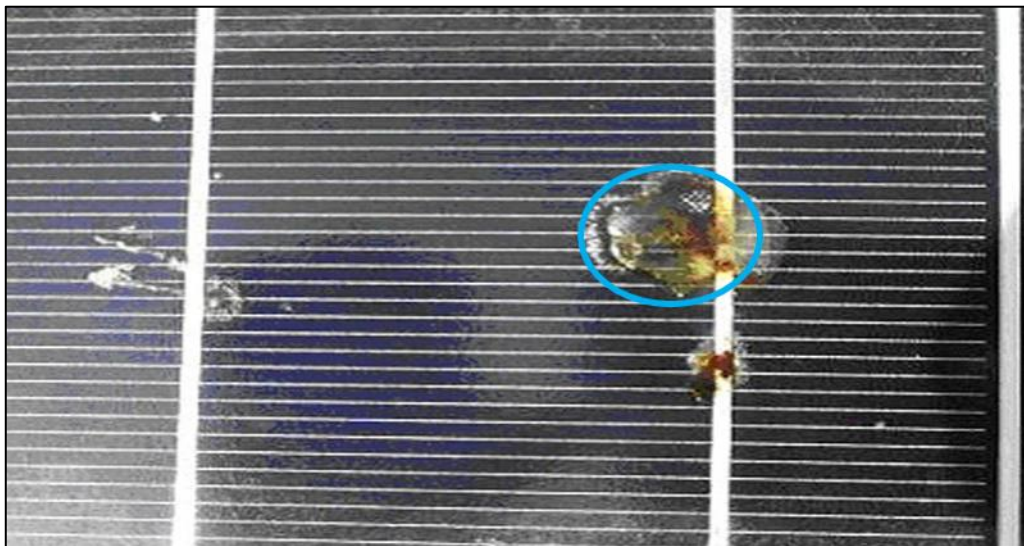


Figure II-3: Points chauds. [16]

II.2.1.4 Fissuration de la cellule PV :

Les fissures visibles des cellules peuvent être formées par des contraintes mécaniques ou thermiques pendant une période d'exposition extérieure. Les micro fissures peuvent également

Chapitre II: Les différents défauts dans une installation photovoltaïque

être causées par les mêmes contraintes, qui se forment lors de la fabrication [12]. Une photographie de ces défauts est illustrée à la figure II.4.

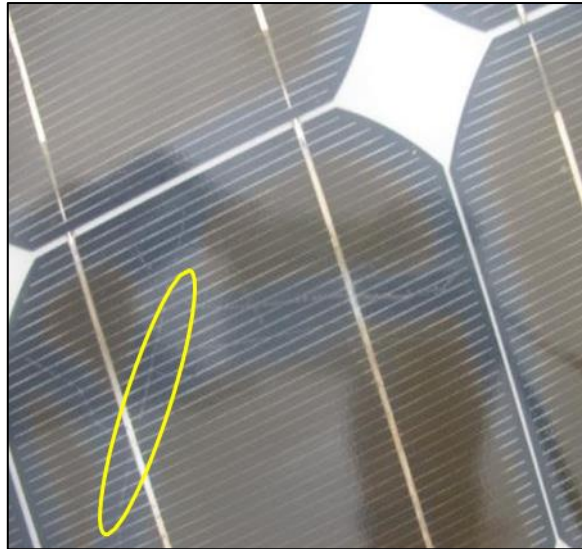


Figure II-4: Fissuration de la cellule PV. [12]

II.2.1.5 Bris de verre :

Les bris de verre sont généralement causés par des facteurs externes tels que des emballages de mauvaise qualité lors du transport, de l'installation, de la maintenance, de la manipulation, du vent, des contraintes thermiques et de la projection de pierres. [11]

Un exemple de ce défaut est illustré à la figure II.5.



Figure II-5: Bris de verre. [15]

Chapitre II:Les différents défauts dans une installation photovoltaïque

II.2.1.6 Détérioration du revêtement antireflet(ARC) :

Le revêtement anti reflet(ARC) est utilisé pour améliorer les performances optiques des cellules solaires en réduisant la quantité de lumière réfléchi. La dégradation de l'ARC entraîne la perte de cette propriété (voir Figure II.6). [12]



Figure II-6: Détérioration du revêtement anti reflet (ARC) [9].

II.2.1.7 Corrosion et oxydation :

La corrosion (décoloration) et l'oxydation des contacts métalliques tels que les doigts, les barres omnibus, les interconnexions de ruban et de chaîne, le lien de soudure et les bornes de sortie sont causés par plusieurs facteurs tels que la pénétration d'humidité, une absorption plus importante de l'agent d'encapsulation, une combinaison de tension du système, ce défaut augmente la résistance série et dégrade le facteur de remplissage, conduit à une puissance de sortie réduite.

Un exemple de corrosion des interconnexions de barres et de cellules est présenté à la figure II.7. [18]

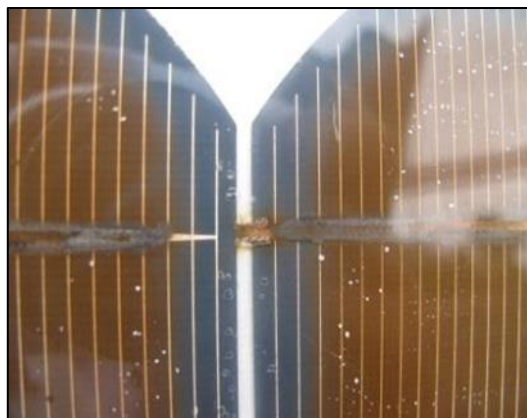


Figure II-7: Corrosion dans les interconnexions de cellules de jeu de barre. [18]

Chapitre II:Les différents défauts dans une installation photovoltaïque

II.2.1.8 Traces d'escargot 'Snailtracks' :

Les traces d'escargots (voir figure II.8), sont un phénomène généralisé de défauts des modules PV, que l'on observe chez différents fabricants de modules installés sur le terrain après plusieurs mois ou plusieurs années, ce défaut est une décoloration des lignes argentées de la grille le long du bords de cellules ou microfissures. [6]

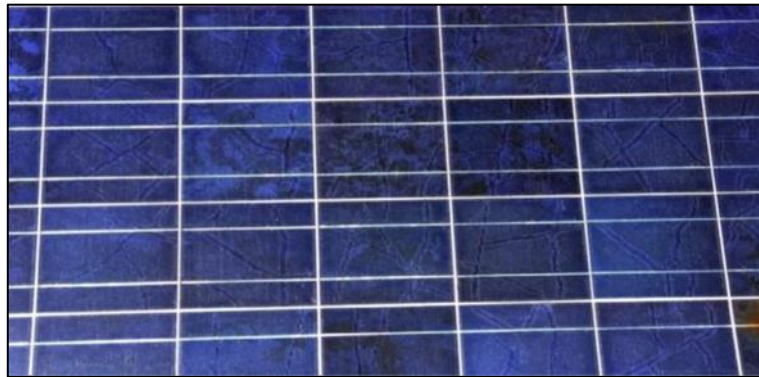


Figure II-8: Traces d'escargot 'Snailtracks'. [6]

II.2.2 Défauts dans la boîte de jonction :

Une boîte de jonction est une protection pour le câblage qui lie le module PV aux bornes extérieures des autres dispositifs de système PV. Ce défaut est causé par une mauvaise fixation de la boîte à la backsheet, la pénétration de l'humidité, la corrosion des raccordements, le mauvais câblage menant à l'arc interne, le mauvais montage ou à cause de dégradation thermique [17].



Figure II-9: Exemples de défauts rencontrés dans des boîtes de jonction[17]

Chapitre II:Les différents défauts dans une installation photovoltaïque

II.2.3 Défauts dans le système de câblage :

Défaut	Conséquences
Mauvais dimensionnement des câbles	Chute de tension > 3%,échauffement
Connexion desserrée ou cassée	Arc électrique, incendie, des traction de la boîte de jonction, des traction de diodes
Principe de câblage en goutte d'eau non respecté	Mauvais câblage
Câbles inter module de section trop faible par rapport au presse-étoupe	Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique
Connexion desserrée ou cassée	Arc électrique, incendie, destruction de la boîte de jonction, destruction de diodes
Bornes rouillées	Faux contacts, circuit ouvert, arc électrique
Câbles non fixés	Boucle de câblage, circuit ouvert
Mauvais câblage	Court-circuit, claquage des diodes anti retour, destruction des connecteurs (circuit ouvert), Aléas de fonctionnement sur disjoncteur
Toron	Boucle électromagnétique
Câbles d'arrivée dessous-champs entamés lors du dénudage	Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique
Absence de graisse de silicone	Humidité
Câble mal dénudé	Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique
Câble rongé par des rats	Faux contacts, circuit ouvert, arc électrique
Modification du câblage par l'usager non compétent	Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique
Boîte de connexion décollée	Connexion des cellules en série endommagée

Chapitre II:Les différents défauts dans une installation photovoltaïque



Figure II-10: Exemples de défauts rencontrés dans le système de câblage[12]

II.2.4 Défauts dans le système de protection :

Défaut	Conséquences
Protections in appropriée sou mal dimensionnées	Court-circuit, hot spot, incendie, arrêt de l'installation
Interrupteur, disjoncteur inapproprié	Arc électrique, incendie, de struction à l'ouverture
Disjoncteur différentiel non conforme à la norme	Non déclenchement, tension entre neutre et terre
Armoire électrique posée à même le sol à l'extérieur	Dysfonctionnement en cas de pluie
Parafoudre non connecté à la terre	Pas de protection
Impossibilité de déconnecter les modules par branche	Problème de sécurité
Pas de possibilités de sectionnement extérieur au coffret	Problème de sécurité
Mauvaise dissipation de la chaleur des diodes	Echauffement
Sous dimensionnement des diodes de	Hot spot, de Struction des diodes, échauffement de

Chapitre II: Les différents défauts dans une installation photovoltaïque

bypass	la boîte de jonction
Absence de protection contre les courants inverses	Hot spot, des truction des diodes, échauffement de la boîte de jonction
Diode mal connectée	Non fonctionnement des diodes, absence de protection contre les courants inverses
Inversion de la polarité des diodes au montage	Non fonctionnement des diodes, court-circuit, hot spot
Phénomènes de résonance	Non fonctionnement des fusible set des protections des tension
Dégradation à cause de la lumière	Non fonctionnement des diodes de by pass
Echauffement des diodes places dans une droit mal ventilé	Tempé rapture de destruction atteinte
Vieillessement des disjoncteurs	Non fonctionnement des disjoncteurs



Figure II-11: Exemples de défauts dans système de protection [20]

II.2.5 Défauts au niveau de convertisseur DC/DC :

Le convertisseur DC/DC est considéré comme un élément crucial dans le système PV. Des études ont démontré qu'il est l'un des composants les plus vulnérables [18].

Parmi les pannes qu'on peut trouver au niveau du hacheur DC/DC, il y a, Problèmes de conception et de fabrication- Le rendement du hacheur dépend des conditions de fonctionnement qui sont basées sur la gestion thermique et des mécanismes de dissipation de la chaleur due à la commutation des interrupteurs et des condensateurs.

Chapitre II:Les différents défauts dans une installation photovoltaïque

Problèmes de contrôle- Ils sont liés à l'interaction de l'onduleur avec la nature de la charge à alimenter.

Les défaillances des composants électriques- Elles se produisent lorsque des composants du convertisseur sont exposés à des contraintes thermique et électrique lors de fonctionnement. Le cycle de vie du convertisseur PV dépend essentiellement de l'interrupteur de commutation.

Kaplar et al., ont étudié les interrupteurs 'IGBT' et ont montré qu'il est considéré comme la cause première des pannes de convertisseurs DC/DC [17]. C'est pourquoi, l'IGBT est considéré comme la partie principale de l'hacheur.

II.2.6 Défauts dans le système d'acquisition :

Défaut	Conséquences
Coupure de courant	Perte de données
Sonde de temperature non câblée	Mesure impossible
Sonde d'enseillement non câblée	Mesure impossible
Défaut de paramétrage	Enregistrement de fausses données
Mauvais câblage des shunts de mesure	Mesure impossible ou erronée
Afficheur de données mal placé(trop haut)	Données non visibles
Carte électronique mal positionnée	Touches inactives, défautde commande
Non configuré pour l'acquisition des données	Pas de donnée enregistrée
Armoire fermée par le service de maintenance ou présence d'un code	Lecture des données par l'exploitant impossible
Bornier de mesures et de sonde de température trop proches	Câblage difficile, risque de court-circuit
Acquisition de données vierge	Aucune information enregistrée
Mesure de données non nulles alors que	Fiabilité des données

Chapitre II: Les différents défauts dans une installation photovoltaïque

ystème PV à l'arrêt	
---------------------	--

II.2.7 Défaut du bypass diode :

Une des principales causes de défaillance de la diode de dérivation est la surchauffe. Une défaillance de la diode bypass peut survenir en raison du fonctionnement en tension directe surchauffe, fuites thermiques en polarisation inverse, passage de l'état ombré à l'état non ombré, et même de surchauffe due à des phénomènes transitoires de haute intensité dus aux coups de foudre à proximité [14].

Un exemple de ce défaut est Présenté sur la figure II.12.

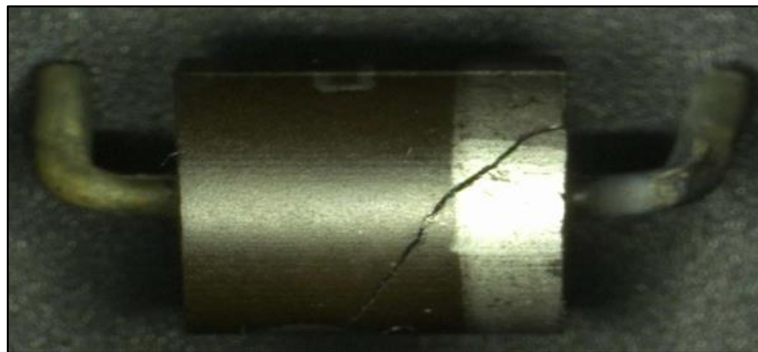


Figure II-12: Défaut du bypass diode[14].

II.2.8 Diode anti-retour :

La tension produite par chaque string peut être différente. Lors de la mise en parallèle de ces strings pour former un champ, le string avec la tension la plus faible peut absorber un courant inverse provenant des autres strings. Cela conduit donc à une baisse de production et les modules du string traversés par le courant inverse pourraient être également susceptibles de la défaillance. [11]

Pour éviter ces courants inverses, une diode anti-retour est placée au bout de Chaque string (voir Figure II-13). [11]

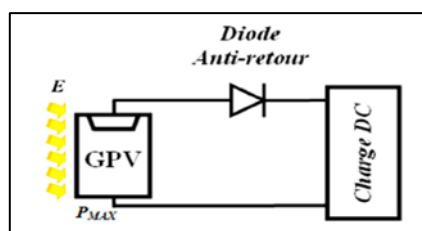


Figure II-13: diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion des autres strings[11]

Chapitre II:Les différents défauts dans une installation photovoltaïque

II.2.9 Défaut de terre :

Il se produit accidentellement par un court-circuit électrique . La majorité des systèmes PV sont équipés de dispositif de détection de défaut de terre et d'interruption de courant de défaut [13].

II.3 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons étudié les différents défauts pouvant affecter un système photovoltaïque nous avons également présenté les conséquences correspondant à ces défauts. Certains défauts sont permanents comme les points chauds, d'autres sont temporaires, comme l'ombrage et la température ambiante. La plupart des défauts sont déterminés en mesurant le courant et la tension, et que chaque défaut a son propre effet sur le courant, la tension et donc sur la puissance. Grâce aux propriétés de cet effet, le défaut et son type peuvent être détectés.

Dans le prochain chapitre, nous étudierons certaines méthodes qui nous permettent d'identifier le défaut en se basant sur les résultats du présent chapitre

III. Troisième Chapitre:
Les méthodes de
diagnostic des défauts dans
une installation PV

Chapitre III:Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

III.1 Introduction:

Après avoir étudiés les différents types de défauts qui peuvent survenir dans un GPV dans le chapitre précédent, Dans ce chapitre, nous allons présenter les méthodes de diagnostic, localisation et identification des défauts dans l'installation PV.

III.2 Définition du diagnostic :

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

Il ne doit pas être confondu avec la diagnose qui est la détermination d'une espèce biologique par rapport à une autre (c'est une des activités principales d'une science appelée la taxinomie),à partir de caractères distinctifs. [18]

III.3 Le diagnostic industriel :

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

Utiliser un raisonnement logique basé sur l'observation pour identifier les causes de défaillance. Le diagnostic est l'étape pour trouver la cause première de la panne. Cette recherche ne sera effectuée que si une panne est détectée. [20]

III.4 But du diagnostic industriel :

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

Selon l'AFNOR (Association Française de Normalisation), la maintenance c'est « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et managéria les tout au long du processus Le cycle de vie d'une marchandise, destiné à la maintenir ou à l'établir dans l'état dans lequel elle se trouve peut exécuter la fonction requise"

[35]

III.5 Etape de diagnostic :

Tout système est susceptible de présenter des symptômes révélateurs de défauts. Le défi est de pouvoir détecter et localiser ces défauts d'une manière automatique. [19]

Les étapes sont détaillées comme suit :

Chapitre III:Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

III.5.1Prise de mesures :

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

III.5.2 Détection de défauts :

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

III.5.3 Localisation de défauts :

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

III.5.4 Identification de défauts

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

III.5.5 Décision :

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

III.5.6 Correction

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

III.5.7 Adaptation :

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

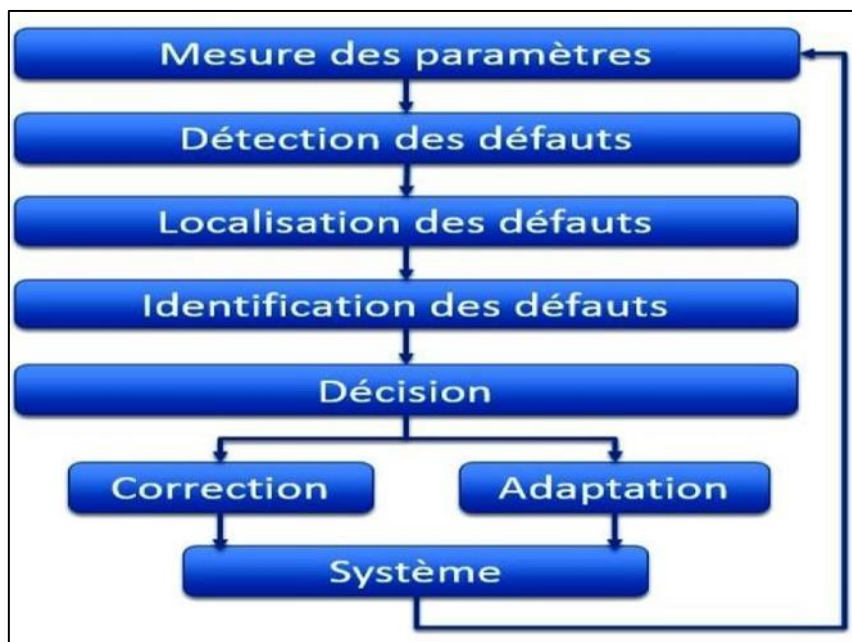


Figure III-1: Organigramme de diagnostic des défauts[19]

Chapitre III: Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

III.6 Objectifs :

- ✓ Réduction des arrêts imprévus.
- ✓ Réduction des pertes de production.
- ✓ Eviter les graves dommages.
- ✓ Planification optimale des opérations de maintenance et limitation des coûts de réparation. [18]

III.7 Méthodes de détection des défauts :

On peut distinguer deux grandes catégories de méthodes de diagnostic d'un générateur PV, ceux qui sont utilisés dans l'industrie, et ceux qui sont utilisés dans la littérature . [19]

III.7.1 Caractérisation électrique :

Ce type de méthodes indépendantes des données climatiques, ne demande pas de mesures des paramètres météorologiques pour la {détection et la classification de défaut, 'DCD'} [17].

Ces méthodes utilisent des appareils de mesure, tels que RLC-mètre et le générateur de signaux. Elles sont basées sur l'analyse de la réponse de système PV juste après l'injection de signal à traiter.

Parmi ces techniques, on peut citer la technique de mesure de la capacité de la terre qui a été proposée par Takashima et al., (2006) afin de détecter la déconnexion d'un panneau PV de la branche [15].

Schirone et al., (1994) ont développé la technique de réflectométrie de domaine temporel, qui consiste à prendre des mesures sur les caractéristiques électriques de la ligne de transmission pour repérer un point de panne, des défauts et le changement de l'impédance qui est due à la dégradation sans avoir recours aux données climatiques [14].

III.7.2 Mesure de tension/courant :

Cette technique est basée sur les mesures des signaux électriques, qui sont la tension et le courant [65]. Hirata et al., (2011) ont développé une fonction de diagnostic qui permet d'obtenir les courbes I (V) des PV modules de la même branche pour détecter automatiquement certaines défaillances. [19].

Kaplanis et al., (2011) ont calculé de facteur de forme (FF), les résistances série et parallèle à partir de la courbe I(V)[14].

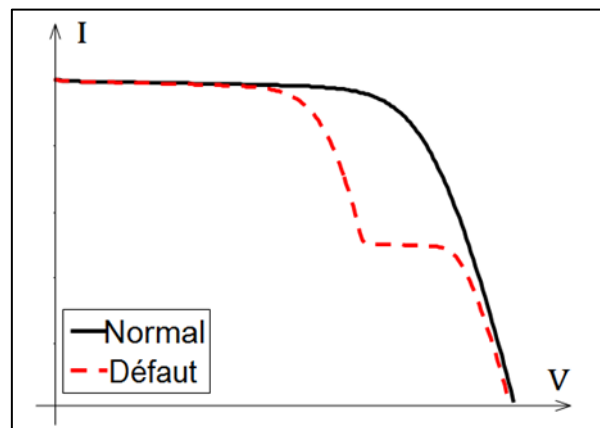


Figure III-2: Allure d'une caractéristique I-V d'un champ PV en fonctionnement défaillant[14]

III.7.3 Comparaison des valeurs simulées et mesurées des signaux de sortie de système PV :

Grâce à ce genre de technique, la comparaison entre les valeurs simulées et mesurées, des signaux de sortie du système PV, permet la détection de pannes {Chouderetal., (2010), Silvestre et al., (2013)} [18]. Afin de déterminer la puissance de sortie souhaitée du système PV, et divers modèles prédictifs sont été testés.

En général, ces techniques aident à déterminer les seuils théoriques, pour lesquels la variation de puissance de sortie des systèmes ne dépasse pas, sinon le système est considéré défectueux. [17]

III.7.4 Analyse des pertes de puissance :

L'analyse des pertes de puissance dans le PV système revient à déterminer les pertes de puissance qui sont calculées en comparant les données mesurées aux résultats simulés. Chouder et al., (2010), ont proposé une méthode de détection, de supervision et de défaut sur la base des analyses des pertes de puissance [19].

Silvestre et al., (2013) ont utilisé les ratios de tension et de courant dans l'algorithme de détection de pannes et ce en mesurant les pertes capturées dans un système PV [20].

III.7.5 Technique d'intelligence artificielle :

Cette technique est appliquée pour la DCD. Elle se base sur l'apprentissage qui permet des nouvelles conditions correspondant à un type de données particulier. (Schapire, 2008). Diverses techniques pour la DCD basées sur l'intelligence artificielle(IA) ont été citées dans la littérature.

Chapitre III:Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

Parmi ces articles, on peut citer, Shah et al., (2016) ont traité les défauts liés à l'ombrage en utilisant l'algorithme de la logique floue, 'LF' [18]. Zhou et al., (2015) avait présenté un contrôleur basé sur la logique floue, 'LF' pour atteindre le MPP [19]. Liu et al., (2014) ont utilisé le réseau de neurones artificiel (ANN) les différents défauts liés au fonctionnement du champ PV [20].

III.7.6 Modèles basés sur la température et échange de chaleur :

Cette technique est basée sur le fait, que les défauts qui apparaissent dans le générateur PV provoquent un changement de la température du module PV. Hu et al.,(2013) et Vergura et al., (2012) ont modélisé les défauts physiques de différents types de cellules PV à l'aide de la méthode d'élément limité [14]. Elle est basée sur le comportement thermique des cellules PV résultant de pannes électriques.

III.7.7 Surveillance des courants résiduels (SCR) :

Les appareils de surveillance des courants résiduels écartent la différence entre le courant entrant et sortant de système PV à travers les conducteurs porteurs de courant positifs et négatifs.

Pour protéger le système PV contre les failles, la surveillance des courants résiduels, 'SCR' peut être installé pour chaque branche ou pour l'ensemble de l'installation PV [19]. En considérant le courant de fuite des modules PV, la sensibilité de ce système de surveillance, 'SCR' doit être définie.

Il est recommandé que le réglage de courant différentiel . [18]

III.7.8 Surveillance d'isolation :

La technique prévient les défauts d'arc qui peuvent engendrer des incendies, donc de sérieux préjudices dans les installation PV. Grâce à des dispositifs de surveillance d'isolation de pointe (DMR), elle permet la mesure de la résistance entre la CC et la terre. [16]

DMR donne l'alarme une fois que la résistance est inférieure à la valeur prééglée (R_{fthre}) . DMRs sont utilisés pour détecter le défaut à la terre dans un système lié à la terre en retirant le fusible de {groundfault detector/ interrupter (GFDI)} au moment de la mesure.

Etant donné que la résistance d'isolement est en influencée par la température ambiante. Dans d'autres conditions, la valeur seuil pour un faux déclenchement (R_{fthre}) est suggéré dans[6] et est affecté comme suit,

$$R_{fthre} = CSR \times R_{isomin} \dots\dots\dots III.1 [38]$$

R_{isomin} est la résistance d'isolement minimale et CSR est le multiplicateur, semblable à CSLdans(1).

Chapitre III: Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

La valeur de CSR devrait être inférieure à 1, pour éviter les fausses disjonctions. [38]

III.7.9 Détection de défauts de la mise de la terre :

Un défaut à la terre est un court-circuit entre un conducteur et la terre ou un élément conducteur mis à la terre. Il génère un courant appelé homopolaire circulant par erreur du conducteur vers la terre [19].

Il peut être monophasé ou triphasé. C'est peut-être la cause de l'incendie au niveau de l'installation PV, donc il est indispensable de détecter ce genre d'anomalies. A cet effet, Flicker et al., (2016) ont analysé les défauts de la mise de la terre dans les installations PV et l'efficacité du fusible ; le détecteur de courant résiduel / supervision d'isolation ; l'isolation monitor et les équipements de protection de défaut de la terre par simulation et des tests expérimentaux pour réduire au minimum les éventuels et indésirables disjonctions tout en maximisant la détection de défaut du photovoltaïque [16].

III.7.10 Inspection visuelle :

L'inspection visuelle est la première étape dans la détection des défauts. Cette étape est décisive pour définir les types de test à appliquer sur le module PV afin d'évaluer son état. Dans le but de réaliser une bonne analyse des données résultantes, cette inspection doit être effectuée dans des conditions qui répondent à la norme IEC61215 [8].

Afin de bien identifier le défaut, ce dernier doit être inspecté sous différents angles. Une procédure d'inspection visuelle détaillée pour l'opération et de la maintenance des systèmes PV est mentionnée par Haney et al., (2013) [8].

III.7.11 Imagerie infra-rouge/thermique

L'imagerie IR/thermique est une autre méthode très répandue pour le diagnostic de panne PV. Cette méthode est basée sur le concept de génération de chaleur localisée à cause des mauvais contacts, short circuits, etc. Dans une série connectée des cellules PV, certaines cellules qui génèrent moins de courant par rapport à d'autres cellules deviennent inversées, biaisées et agissent comme résistance et dissipent par effet de Joule la chaleur. [34]

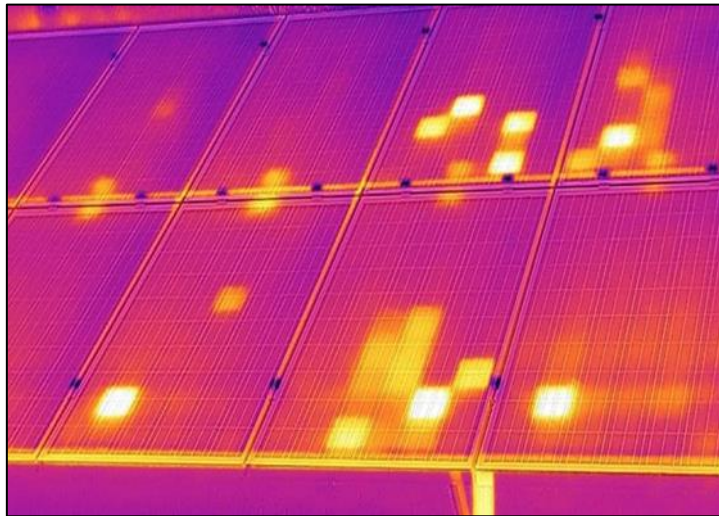


Figure III-3: Imagerie thermique de défaut dans la surface de Panneaux. [34]

III.7.12 Méthode de réflectométrie :

La méthode de réflectométrie est une méthode de diagnostic qui consiste à envoyer un signal dans le système ou le milieu à diagnostiquer. Ce signal se propage selon la loi de propagation du milieu étudié et lorsqu'il rencontre une discontinuité, une partie de son énergie est renvoyée vers le point d'injection. L'analyse du signal réfléchi permet de déduire des informations sur le système ou le milieu considéré. Cette méthode a été également appliquée pour détecter le défaut dans un string photovoltaïque [33].

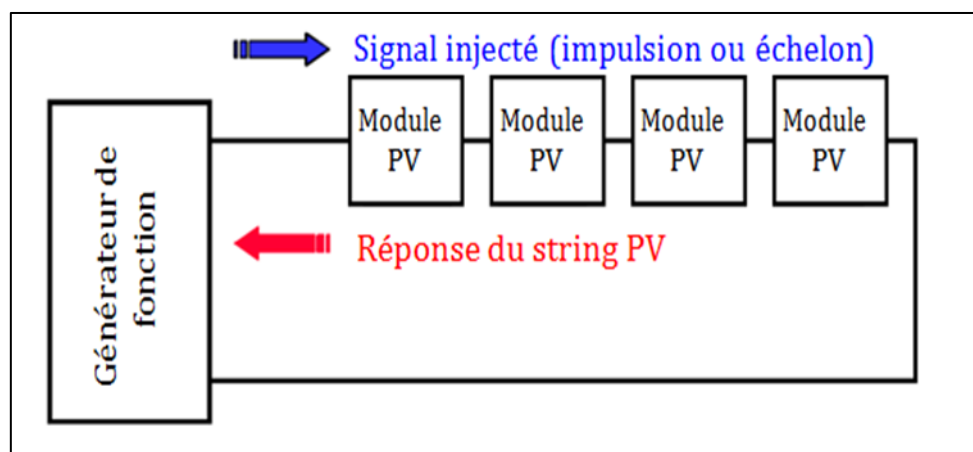


Figure III-4: Principe de la réflectométrie pour localiser le défaut dans un string PV[33]

III.7.13 Inspection par ultrasons :

Ceci méthode est non destructive. Elle consiste à capter des ondes ultrasoniques, qui portent à plus de 20 kHz, afin de les analyser et les interpréter. Grâce à cette technique, le

Chapitre III:Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

module PV subit un balayage afin de détecter des fissures des cellules qui peuvent se produire durant le processus de fabrication ou lors de l'exploitation de module PV. [12]

III.7.14 Thermographie infrarouge :

La thermographie infrarouge {Lock-in thermography (LIT)} permet l'inspection de panneaux PV a fin d'optimiser le rendement de l'installation en détectant d'éventuels défauts tels que : les points chauds (hot spots), défauts au niveau de la boîte de jonction (induisant des échauffements), dégradation de module PV, etc...

Straube et al., (2011) ont montré expérimentalement qu'il est possible d'obtenir des images de lock-in thermographie d'une couche active à travers une couche de verre de 3mm qui est essentiellement opaque au rayonnement infrarouge [19].

Dans le but d'évaluer les performances de la cellule PV, Breitenstein et al., (2016) ont effectué une étude comparative entre la méthode appelée 'Elba' qui repose sur l'injection dépendant de photo luminescence (PL) et la méthode appelée 'Local I-V', qui est issue de la technique de blocage sombre de la thermographie (DLIT) sur une cellule solaire [10]

III.8 Outils de conception matériels :

III.8.1 Carte arduino :

III.8.1.1 Généralités sur Arduino:

Arduino est une plate-forme open-source d'électronique programmée qui est basée sur une carte à microcontrôleur (de la famille AVR) et un environnement de développement intégré(IDE) pour écrire, compiler et transférer les programmes vers la carte à microcontrôleur [13].

Arduino peut être utilisé pour construire des objets interactifs indépendants (prototypage rapide), ou bien pour être connecté à un ordinateur afin communiquer avec des logiciels tournant sur un ordinateur (tels que Flash, Processing, LabView ou Matlab).

Les cartes Arduino sont basées sur une interface entrée/sortie simple pouvant recevoir des entrées d'une grande variété d'interrupteurs ou de capteurs, et pouvant contrôler une grande variété de lumières, moteurs ou tout autre types d'actionneurs. [30]

Le langage de programmation Arduinoest une implémentation de Wiring, une plate- forme de développement similaire, qui est basée sur l'environnement multimédia de programmation Processing [14].

Arduino offre une grande variété de cartes électroniques (DUEMILANOVE, MEGA, LEONARDO, UNO, MINI ...) qui diffèrent entre elles par des caractéristiques telle que la

Chapitre III:Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

vitesse du microcontrôleur, type de connexion, nombre d'entrées/sorties, nombre des microcontrôleurs. [29]

Pour la réalisation de notre système d'éclairage intelligent, notre choix c'est porté sur la carte Arduino Méga 2560.

III.8.1.2 Caractéristiques de la carte Arduino Mega:

La carte Arduino Mega2560 est une carte à microcontrôleur basée sur un microcontrôleur ATmega2560. Cette carte dispose :

III.8.1.3 Alimentation :

La carte Arduino Mega2560 peut être alimentée soit via la connexion USB (qui fournit 5V jusqu'à 500mA), soit à l'aide d'une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte [14].

III.8.1.4 Capacité Mémoire:

L'AT mega2560 contient 256 Ko de mémoire FLASH pour stocker le programme (dont 8 Ko également utilisés par le boot loader). L'ATmega2560 a également 8 ko de mémoire SRAM (mémoire volatile) et 4Ko d'EEPROM (non volatile - mémoire qui peut être lue à l'aide de la librairie EEPROM) [15].

Le boot loader est un programme préprogrammé une fois pour toute dans l'AT méga et qui permet la communication entre l'AT Méga et le logiciel Arduino via le port USB, notamment lors de chaque programmation de la carte [15].

III.8.1.5 broches d'Entrées/Sorties:

Ce sont les rangées de connecteurs de part et d'autre de la carte qui permettent sa connexion au monde extérieur. On distingue plusieurs types de broches d'entrées/sorties :

Chapitre III:Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

III.8.1.10 SPI (Interface Série Périphérique):

Broches 50 (MISO), 51(MOSI), 52(SCK), 53(SS). Ces broches supportent la communication SPI (Interface Série Périphérique). Les broches SPI sont également connectées sur le connecteur ICSP qui est mécaniquement compatible avec les cartes Uno, Duemilanove et Diecimila.

III.8.1.11 I2C:

Broches 20(SDA) et 21(SCL). Supportent les communications de protocole I2C (ou interface TWI (TwoWire Interface - Interface "2 fils").

III.8.1.12 LED :

Broche 13. Il y a une LED incluse dans la carte connectée à la broche 13. Lorsque la broche est au niveau HAUT, la LED est allumée, lorsque la broche est au niveau BAS, la LED est éteinte.

III.8.1.13 Broches d'entrées analogiques:

La carte Mega2560 dispose de16 entrées analogiques, chacune pouvant fournir une mesure d'une résolution de10bits (c.à.d sur1024 niveaux soit de 0 à1023).Par défaut, ces broches mesurent entre le 0V (valeur 0) et le 5V (valeur 1023), mais il est possible de modifier la référence supérieure de la plage de mesure en utilisant la broche AREF et l'instruction analog Reference () du langage Arduino. [18]

Note : les broches analogiques peuvent être utilisées entant que broches numériques.

III.8.1.14 Les broches d'alimentation:

VIN. La tension d'entrée positive lorsque la carte Arduino est utilisée avec une source de tension externe (à distinguer du 5V de la connexion USB ou autre source 5V régulée)

5V. La tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres composants de la carte.

3V3.Une alimentation de 3.3V fournie par un circuit intégré permettant de faire l'adaptation du signal entre le port USB du PC et le port série de l'AT Méga. Ceci est intéressant pour certains circuits externes nécessitant cette tension au lieu du 5V. L'intensité maximale disponible sur cette broche est de 50mA.

GND. Broche de masse(ou0V). [18]

III.8.1.15 Autres broches:

Il ya deux autres broches disponibles sur la carte:

AREF: Tension de référence pour les entrées analogiques (si différent du 5V). Utilisée avec l'instruction analog Reference() [18].

Chapitre III: Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

Reset: Mettre cette broche au niveau BAS entraîne la réinitialisation (le redémarrage) du microcontrôleur. Typiquement, cette broche est utilisée pour ajouter un bouton de réinitialisation sur le circuit qui bloque celui présent sur la carte.

III.8.2 logiciel Arduino :

III.8.2.1 Environnement de développement logiciel Arduino:

La carte Arduino présente le noyau de notre système, et pour qu'on puisse la programmer on doit de disposer du logiciel compatible avec cette carte, ce logiciel est Arduino EDI (Espace de développement intégré) est une application écrite en Java inspiré du langage Processing [18].

L'IDE permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série de d'instructions compréhensible pour la carte.

III.8.2.2 La fenêtre principale de cet EDI :comporte six parties (figure2)

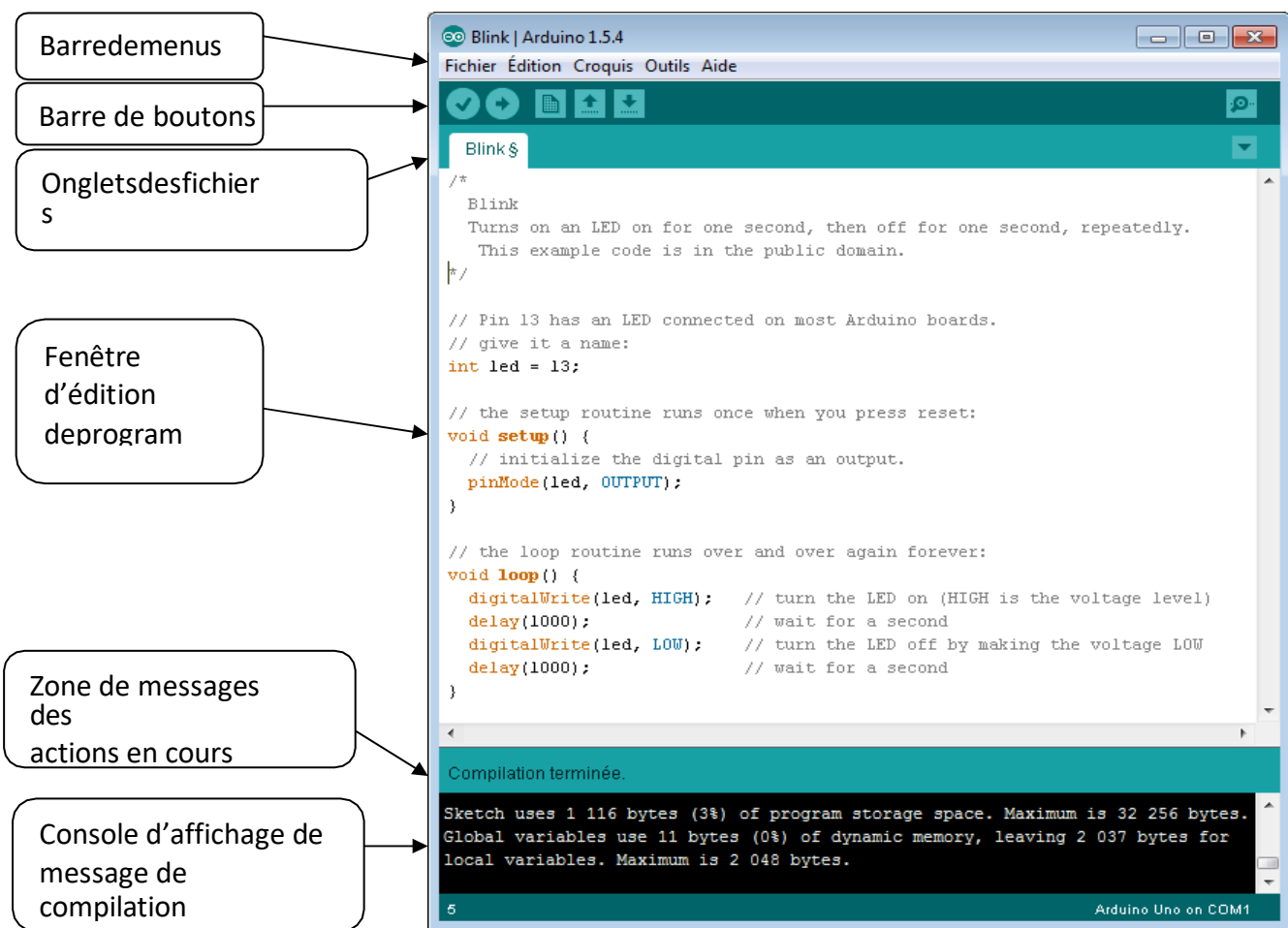


Figure III-6: Les différentes parties de la fenêtre principale du logiciel Arduino. [18]

Chapitre III:Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

III.8.3 Panneau solaire :



Figure III-7: Panneau solaire[13]

Panneau solaire 150W 12V monocristallin L'utilisation de ce panneau solaire est prévue pour être en autonomie, il est équipé de cellules au silicium monocristallin, la technologie offrant le plus de rendement actuellement sur le marché. [13]

Puissance nominale	150W	Type de cellule	Silicium monocristallin
Tension max	1000V DC	Nombre de cellule	36 pcs
sTolérance	+3%	Longueur	1482mm
Rendement du panneau	13%	Largeur	676mm
Voltage Mpp	18V	Epaisseur	30mm
Intensité Mpp	8,16A	Cadre	Aluminium
Intensité de court-circuit	8,55A	Poids	12kg
Voltage circuit ouvert	22,5V	Diodes anti-retour	3
Boîtier de jonction	Etanche IP67	Température d'utilisation	-40°C -- +85°C
Test STD	AM 1.5,250C,1000W/M2		

Figure III-8: Caractéristique technique de panneau solaire[13].

III.8.4 Capteur de tension :

Pour mesurer la tension on utilise un diviseur de tension parce qu'il ce on utilise l'entre analogique de l'Arduino la tension max que nous pouvons mesure à l'intervalle 0 et 5V et avec le diviseur (par 5) on a mesuré une tension a l'intervalle 0 et 25V (donc $5*5=25$). [25]

Description de capteur :

Le module de détection la tension détecté tension d'entrée minimum est :

$$0.00489 \text{ V} \times 5 = 0.02445 \text{ V.}$$

Plage de tension d'entrée : DC 0-25V.

Tension analogique résolutions : 0.00489 V (5/1024). [19]

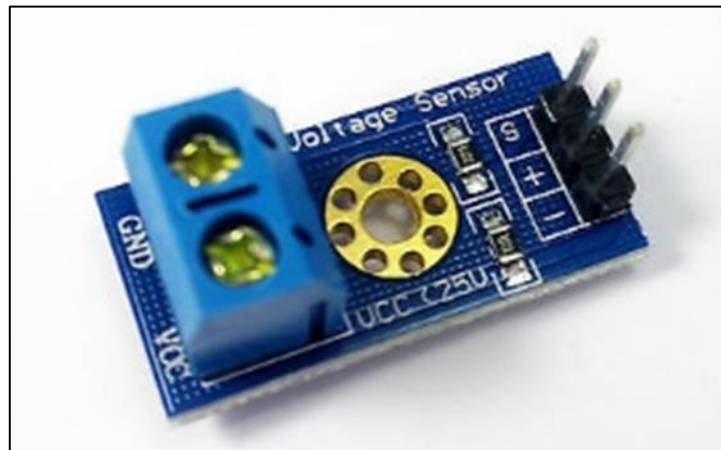


Figure III-9: Capteur de tension d'Arduino[19]

III.8.5 Capteur de courant :

Le module est basé sur un ACS712 et permet de mesurer un courant jusqu'à 30 A. branche en série et permet de mesurer le courant qui traverse le capteur. Ce capteur utilise le champ magnétique généré par le courant (et donc l'effet hall) pour mesurer le courant qui le traverse. Le capteur produit en sortie une tension continue proportionnelle au courant à raison de 0.66mV par ampère. [24]

Description de capteur :

Alimentation : 5 Vcc.

Plage de mesure : $\pm 30A$.

Sortie analogique : 66 mV/V.

Réponse rapide et haute sensibilité. [24]

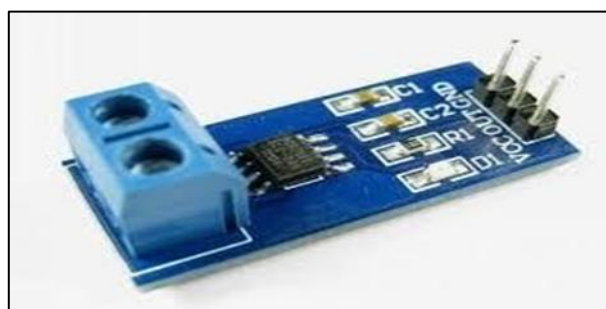


Figure III-10: Capteur de courant ACS712 [24]

III.8.6 Le module Arduino Bluetooth HC-05 :

Il ya 2 type en module Arduino Bluetooth le 1er type perme de récepteur des données pas plus ce le module HC-06 et le 2éme type ont à faire émission et la réception ce le module HC-

Chapitre III:Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

05 et dans notre Project besoin un émission et réception donc on utilise le module HC-05. [23]

Le module HC-05 est un module Bluetooth SPP (Serial Port Protocol) Le module Bluetooth du port série est entièrement qualifié. Modulation 3Mbps Bluetooth V2.0 + EDR (Enhanced Data Rate) Bluetooth avec émetteur-récepteur radio complet de 2,4 GHz et bande de base. Il utilise le système Bluetooth à puce unique CSR Bluecore 04-External avec technologie CMOS et AFH (Adaptive Frequency Hopping Feature). [23]

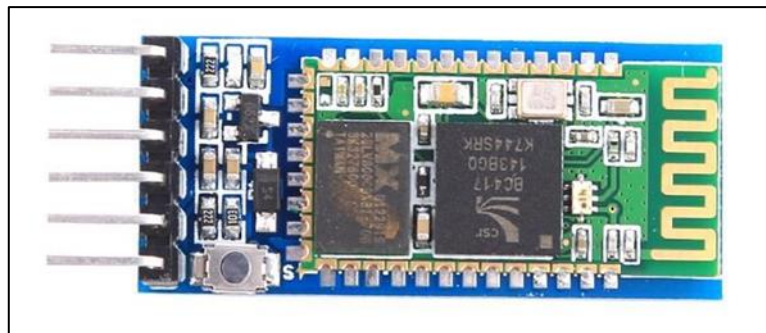


Figure III-11: Module Arduino Bluetooth HC-05 [23]

III.8.7 Écran de cristal liquide(LCD) :

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA), sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité. Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service. Certains sont dotés d'un rétro éclairage de l'affichage Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module, cependant, cet éclairage est gourmand en intensité (de 80 à 250 mA). Ils sont très utilisés dans les montages à microcontrôleur, et permettent une grande convivialité. Ils peuvent aussi être utilisés lors de la phase de développement d'un programme, car on peut facilement y afficher les valeurs de différentes variables. Ces afficheurs marchent grâce à une alimentation. Ils existent différents types d'afficheur selon leurs caractéristiques techniques et selon leurs dimensions. Mais généralement ils accomplissent le même rôle. On a opté pour un afficheur LCD de taille 4x20, c'est-à-dire un afficheur de 4 lignes et 20 caractères. Le choix de ce type d'afficheur est justifié par le fait que nos besoins seront satisfaits par cet afficheur, et que sa taille est suffisante pendant l'affichage des paramètres de notre système [18].

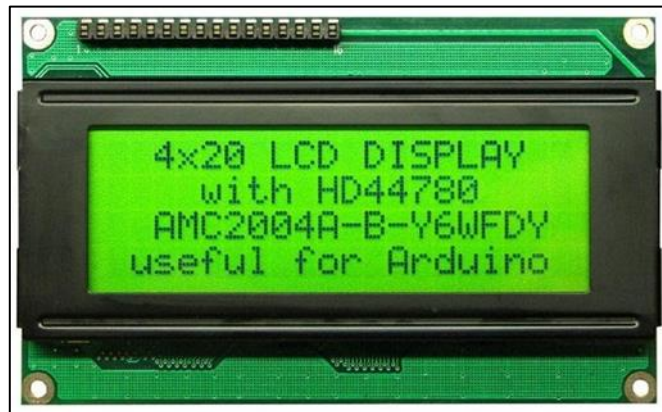


Figure III-12: L'afficheur LCD(JHD162A) [18]

Tableau III-5 : Configuration du brochage du LCD2004

La broche	Description
Vss (Ground)	Broche de masse connecter à la terre du systeme
Vdd(+5Volt)	Alimente l'écran LCD avec+5V (4,7V -5,3V)
VE(ContrastV)	Décide du niveau de contraste de l'affichage. Mise à la terre pour Obtenir un contraste maximal.
Register Select	Connecté au micro contrôleur pour basculer entre les registres de Commande / données
Read/Write	Utilisé pour lire ou écrire des données. Normalement mis à la terre Pour écrire des données sur l'écran LCD
Enable	Connecté à la broche du micro contrôleur et bascule entre 1 et 0 pour l'acquittement des données
Data Pin 0~7	Les broches de données 0 à 7 forment une ligne de données de 8bits. Ils peuvent être connectés au micro contrôleur pour envoyer des données 8 bits. Ces LCD peuvent également fonctionner en mode 4 bits dans ce cas, Les broches de données 4,5,6 et 7 resteront libres.
LED Positive	Borne positive de la broche LED du retro éclairage
LED Négative	Borne négative de la broche LED du retro éclairage

Chapitre III: Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

III.8.8 I2C (Inter-Integrated Circuit) :

I2C (Inter-Integrated Circuit) est un protocole de communication série synchrone utilisé pour interconnecter des circuits intégrés sur une même carte électronique. Il permet de transférer des données entre des microcontrôleurs, des capteurs, des actionneurs et d'autres périphériques électroniques. [15]

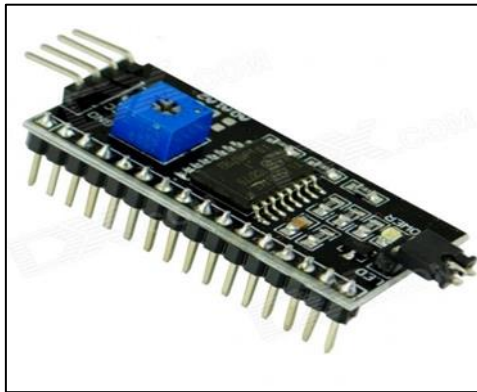


Figure III-13: I2C pour afficheur LCD [15]

III.8.9 Rhéostat :

Une résistance variable, également appelée potentiomètre, est un composant électronique qui permet de régler la résistance électrique dans un circuit. La valeur de la résistance peut être ajustée en tournant un bouton ou une tige fixée à l'axe du potentiomètre. [18]



Figure III-14: Rhéostat [18]

III.9 Présentation de montage :



Figure III-15: présentation du montage

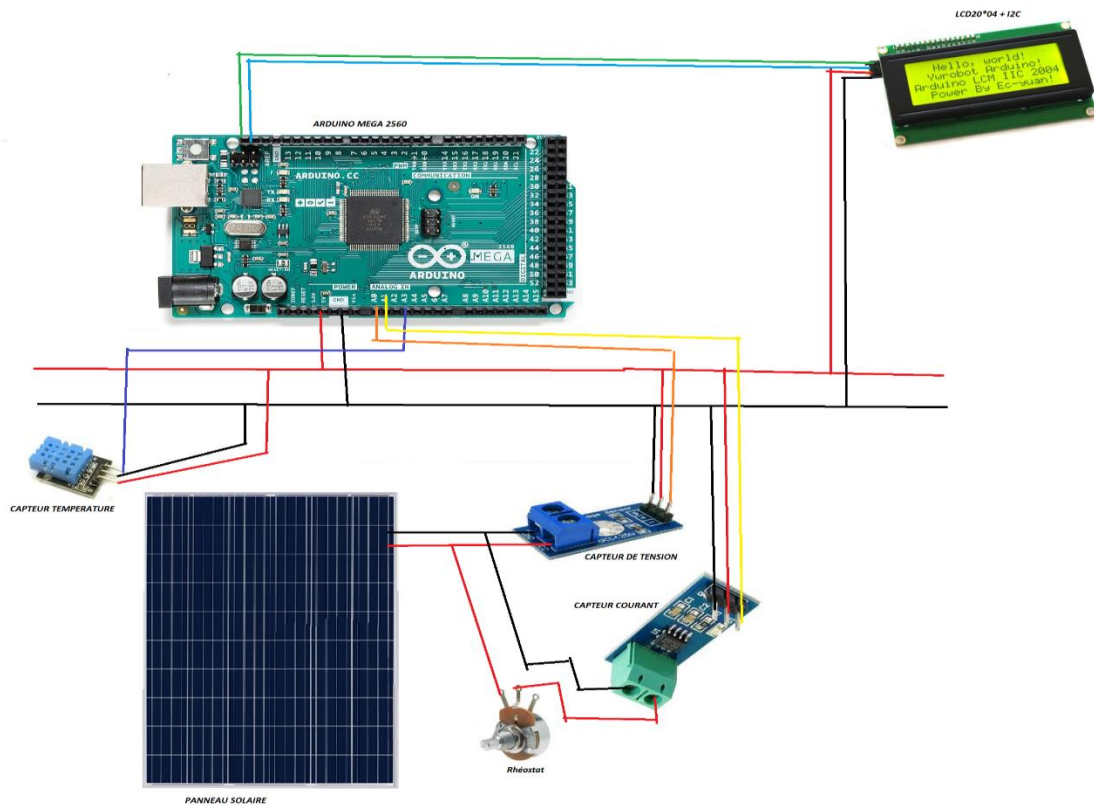


Figure III-16: schéma de montage

III.10 Programme IDE:

```
#define SENSOR_PIN A1 // analog input pin where the current sensor is connected
#define VOLTAGE_PIN A2 // analog input pin where the voltage sensor is connected
#define temperature_PIN A3
#define REFERENCE_VOLTAGE 5.0 // reference voltage of the Arduino
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); // set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line
display

float sensitivity = 0.185; // sensitivity of the Hall effect sensor in mV/A
float current; // variable to store the current value
float voltage; // variable to store the voltage value
float voltageThreshold; // est une variable qui peut être utilisée pour définir un seuil de tension
au-delà duquel un défaut est détecté.
```

Chapitre III: Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

`float` currentThreshold; //est une variable qui peut être utilisée pour définir un seuil de courant au-delà duquel un défaut est détecté.

```
String measureIV(){
    int sensorValue = analogRead(SENSOR_PIN); // read the current sensor value
    current = (sensorValue - 500) * sensitivity; // calculate the current value
    int voltageValue = analogRead(VOLTAGE_PIN); // read the voltage sensor value
    voltage = (voltageValue / 512) * REFERENCE_VOLTAGE; // calculate the voltage value
    String ivData = String(voltage) + "," + String(current); // combine the voltage and current
    values into a string separated by a comma
    return ivData; // return the string with the voltage and current values
}

void setup(){
    lcd.init();
    Serial.begin(9600); // start serial communication.
    Serial.println(" Détection des défauts fréquents dans les installations photovoltaïques ");
    Serial.println(" Présenté par SMAIL Rédha& MAHAMMEDI Moustafa & BADAOUI
    Hicham");
}

void loop(){
    String ivData = measureIV(); // call the function to measure the current and voltage values
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(2,0);
    lcd.clear();
    lcd.println("Détection des défauts photovoltaïques");
    delay(5000);
    lcd.clear();
    lcd.print(("Tension =" + String(voltage) + "V") + " " + ("courant =" + String(current) +
    "A"));
    //Calcul de la Puissance P = V*I;
    double z=x*y;
    //DETECTION DEFAUT D'OMBRAGE
    ombrage = puissance / 1.5; // 1.5 est la puissance maximale théorique d'un panneau solaire
    de 1 mètre carré
```

Chapitre III:Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

```
// Vérification du niveau d'ombrage
if(ombrage >50){
    lcd.clear();
    lcd.print("Ombrage !");
    delay(1000);
}

// détecte les défauts de résistance de tension et de courant
if(busvoltage<voltageThreshold){
    Serial.println("Défaut de résistance de tension détecté !");
    // ajoutez ici le code pour gérer le défaut de résistance de tension détecté
}
if(current_mA>currentThreshold){
    Serial.println("Défaut de résistance de courant détecté !");
    // ajoutez ici le code pour gérer le défaut de résistance de courant détecté
}
t=analogRead(Pin_t);
Serial.print("Température = ");
Serial.print(t);
Serial.println(" °C");
// détecte les défauts de température
if(t >55){
    Serial.println("Défaut de température détecté !");
    Serial.println(ivData);    // send the data to the serial monitor
    Serial.println((String)"DATA,DATE,TIME," + millis() + "," + random(0, 500));
    delay(2000);    // wait for 100 milliseconds before taking the next measurement
}[17,18,19,20,37]
```

III.11 Explication du principe de fonctionnement du projet:

Le principe de fonctionnement de ce projet peut être utilisée pour surveiller les performances des panneaux solaires photovoltaïques (PV) et diagnostiquer les défauts. Voici les principes de base du diagnostic des défauts PV par Arduino :

Collecte et analyse de données, notification d'alerte, maintenance préventive et amélioration de la performance.

Chapitre III: Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

III.12 Caractéristiques I(V) des défauts :

III.12.1. Ombrage:

III.12.1.1. Ombrage 0% :

I(A)	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	5	4.9	4.7	4.3	3.5	3.1	2	1	0
V(v)	0	2.5	4.1	6.3	8.2	10.5	12.1	13.1	14	15.2	15.7	16.5	17	17.3

III.12.1.2. Ombrage 25% :

I(A)	4.1	4.1	4.1	4.1	4	4	3.9	3.7	3.4	3	2.1	1.7	1	0
V(v)	0	2.1	4.2	6.3	8.1	10.5	12	13	14	14.8	15.8	16	16.7	17.1

III.12.1.3. Ombrage 50% :

I(A)	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3	2.9	2.7	2.4	2	1.5	1	0.5	0
V(v)	0	2.1	4.3	6.1	8	10.2	12.1	13.1	14.2	14.8	15.3	15.8	16.4	16.6

III.12.1.4 Ombrage 80% :

I(A)	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1	0.9	0.7	0.5	0
V(v)	0	2.1	4.2	6.1	8	10.5	12	13	14.1	14.8

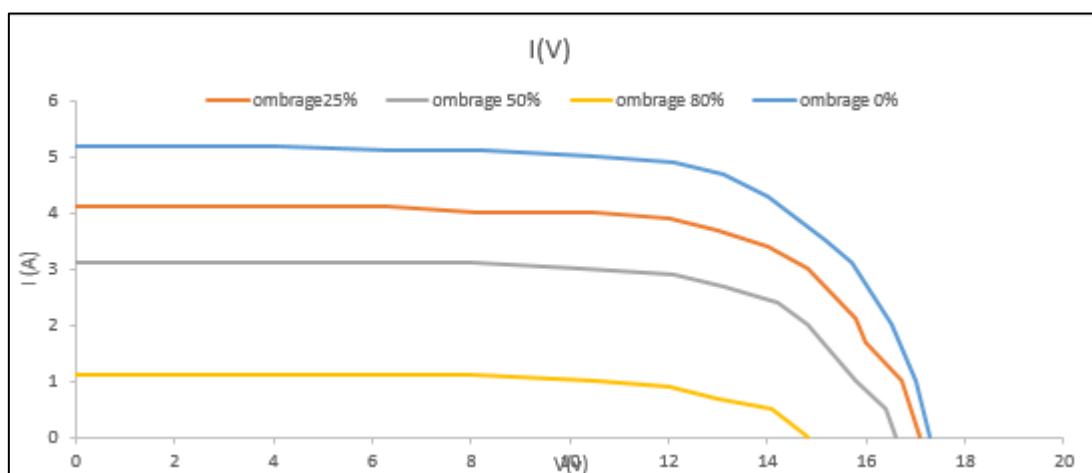


Figure III-17: influence d'ombrage sur caractéristique I(V) GPV

Chapitre III:Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

III.12.1.5. Interprétation graphique ombrage :

Ombrages partielles : Les ombres partielles peuvent être causées par des obstacles tels que des arbres, des bâtiments ou des poteaux électriques. Même si seulement une partie du panneau est ombragée, cela peut réduire considérablement la production d'énergie.

Ombrages totales : Les ombres totales sont causées lorsque tout le panneau est ombragé. Cela peut se produire, par exemple, lorsqu'un objet est placé directement devant le panneau. Dans ce cas, la production d'énergie sera réduite à zéro.

En général, les défauts d'ombrage doivent être évités autant que possible pour maximiser la production d'énergie des panneaux solaires. Les installateurs peuvent utiliser des outils de simulation pour évaluer l'impact potentiel de l'ombrage et déterminer la meilleure disposition des panneaux pour éviter les défauts d'ombrage.

III.12.2. Température :

III.12.2.1. Température 15c° :

I(A)	5.1	5.1	5.05	5.05	5.05	5.05	5	4.7	4.2	2.2	0
V(v)	0	2.1	4.3	6.1	8.2	10.3	12.1	14.7	16.1	18.2	19.1

III.12.2.2. Température 25c° :

I(A)	5.1	5.1	5.1	5.05	5.05	4.9	4.8	4.7	4.5	3.8	2.5	0
V(v)	0	2.1	4.2	6.1	8.1	11.6	12.2	13.2	14.1	14.5	16	16.6

III.12.2.3. Température 50c° :

I(A)	5.2	5.2	5.1	5.1	5	4.9	4.7	4.2	3.7	2.5	1	0
V(v)	0	2.3	4.1	6.3	7.1	8.1	9.2	10.1	10.5	12.1	13	13.7

III.12.2.4 Température 75c° :

I(A)	5.3	5.2	5.1	5	4.9	4.6	4	3	2.2	1.5	1	0
V(v)	0	2.1	3	3.3	4	5.1	6.3	7.2	8	8.5	9	9.2

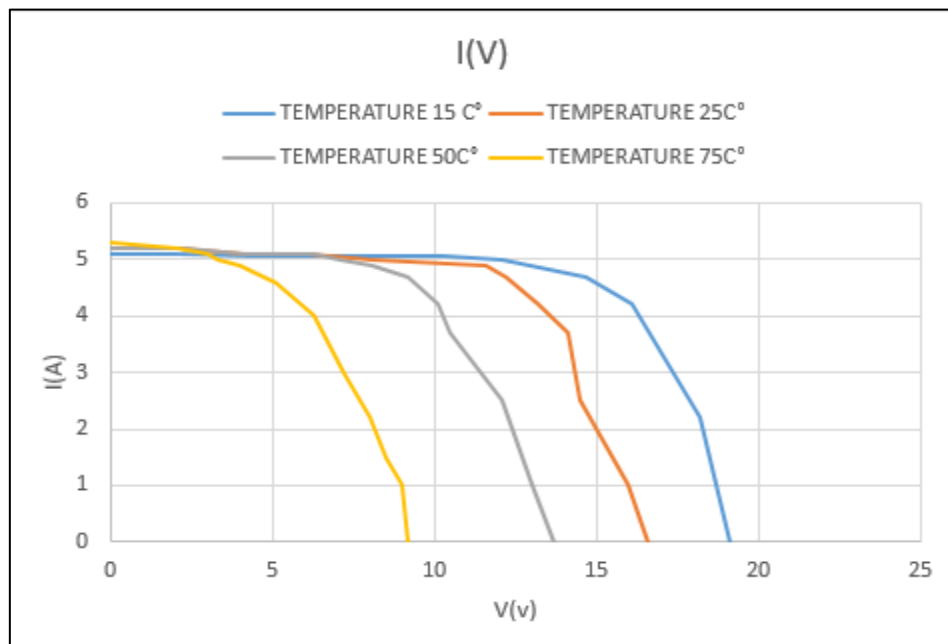


Figure III-18: influence de température sur caractéristique I(V) GPV

III.12.2.5. Interprétation graphique Température :

La température est un facteur important qui peut affecter la performance des panneaux solaires photovoltaïques (PV). Voici quelques défauts liés à la température qui peuvent affecter les performances des panneaux solaires :

Réduction de la production d'énergie, réduction de la durée de vie, dégradation du matériau, dilatation thermique et risque d'incendie

III.12.3. Résistance série RS :

III.12.3.1. Résistance série : $RS= 0 \Omega$

I(A)	5.1	5.1	5.1	5.1	5	5	4.8	4.5	3.7	3	2	0
V(v)	0	5.2	10.2	15.1	16.1	20.2	25.1	27.2	30.2	32	33.5	34.7

III.12.3.2. Résistance série : $RS= 1 \Omega$

I(A)	5.1	5.1	5.1	5.1	5	5	4.8	4.5	3.7	3	2	0
V(v)	0	5.2	10.2	15.1	16.1	18.2	23.1	25.2	28.2	30	31.5	34.7

Chapitre III: Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

III.12.3.3. Résistance série : $RS= 2 \Omega$

I(A)	5.1	5.1	5.1	5.1	5	5	4.8	4.5	3.7	3	2	0
V(v)	0	5.2	10.2	15.1	16.1	15.2	20.1	23.2	26.5	28	30	34.7

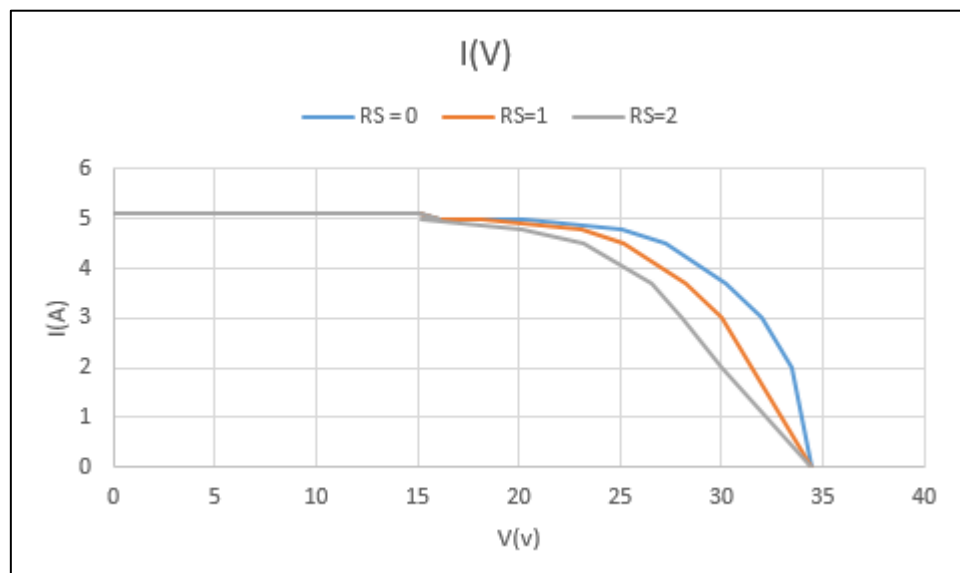


Figure III-19: influence de la résistance série sur caractéristique I(V) GPV

III.12 .3.4 Interprétation graphique RS :

Le défaut de résistance en série (RS) est un problème courant qui peut affecter les performances des panneaux solaires photovoltaïques (PV). L'RS se réfère à la résistance électrique qui est présente dans les cellules solaires eux-mêmes et dans les connexions électriques entre les cellules. Voici quelques effets négatifs courants de l'RS sur les panneaux solaires :

Perte de puissance, réduction de l'efficacité, réduction de la durée de vie, risque de points chauds et réduction de la fiabilité.

Chapitre III:Les méthodes de diagnostic des défauts dans une installation PV

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons d'abord présenté un aperçu général des différents méthodes de diagnostic des défauts dans l'installation photovoltaïque. Ensuite, Nous avons présenté dans ce chapitre notre projet en détail qui parler sur le diagnostic et commande des défauts d'ombrage dans les panneaux PV, premièrement nous donne une définition et présentation de matérielles utilisé dans notre projet. Ensuite faire l'acquisition de données, à l'aide des capteurs de courant et de tension par l'utilisation d'Arduino Méga 2560 comme MCU en faire un traitement des données pour spécifier et identifier les défauts dans l'installation photovoltaïque.

Conclusion

générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le travail effectué dans ce mémoire porte sur conception et la réalisation d'un system surveillance des paramètres de panneaux solaire à l'aide d'un Arduino Méga 2560. Ce projet constitue trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présenterons des généralités au système photovoltaïque à partir des notions de rayonnement solaire, et nous présenterons également le principe de l'effet photovoltaïque, le fonctionnement des cellules photovoltaïques, leurs procédés de fabrication et leur application dans le domaine photovoltaïque, et dans le dernier nous avons évoqué les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons des différents défauts fréquents les installations photovoltaïques généralités. Ensuite, nous avons discuté des différents titres et découvert leurs types et leurs caractéristiques.

Et dans le troisième chapitre, montrons ensuite l'intérêt de la caractérisation $I(V)$ dans l'analyse des performances et le diagnostic des générateurs photovoltaïque GPV nous avons réalisé un système de diagnostic des défauts dans l'installation photovoltaïque basé sur la carte ARDUINO Méga2560.

Le derrière chapitre qui est consacré à la réalisation d'installation photovoltaïque, qui permet de faire varier les points de fonctionnement d'un module PV. Toutefois, il est à noter que notre système ainsi conçu a été réalisé et testé pour des défauts d'ombrage, sur des panneaux 5V/100mA compatible Arduino dont les premiers résultats obtenus sont très satisfaisants. Nous avons également exploité le traceur série de l'IDE Arduino pour représenter les différents graphes du courant et de la tension d'un panneau pour différentes situations (absence de défaut, présence de défaut d'ombrage, ombrage partiel...), ce qui nous a permis, moyennant l'analyse de ces graphes, de confirmer la validité de notre système de diagnostic. Néanmoins, il nous reste à tester notre système sur des panneaux déjà commercialisé ce qui est perspective pour notre présent travail.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques :

- [1] :R.MERAHI, R.CHENNI, M.Houbes,10^{ème} Séminaire International sur la Physique Energétique «Modélisation et Simulation d'un Module PV par Matlab», 2010.
- [2] : https://document.environnement.brussels/opac_css/doc_num.php?explnum_id=3938.
- [3] : Long Bun. Détection et localisation de défauts dans un système photovoltaïque. Energie électrique. Université de Grenoble, Français 2011.
- [4] : fatima zohra Baazzi aicha, Master, Etude démonstrative des différents défauts des systèmes photovoltaïques installés au sein de l'URERMS Adrar,2019.
- [5] : N.Aouchiche, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER B.P.62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Algiers, Algeria, 2018.
- [6] : ZAIRI Soufiane BOUBIADA Slimane, Master, Etude et Dimensionnement d'un centrale Photovoltaïque Université de Biskra ,2020.
- [7] : ROUABAH Lahcene, ZITOUNI Djallel, Master, Etude et détection de défauts dans un système photovoltaïque Université de Bordj Bou Arreridj,2020.
- [8] : SENDID Merouan, CHERIET Sassi Mokthar, BEN HAOUA Med Rida, Master, Détection des défauts dans les systèmes photovoltaïque basée sur les techniques d'intelligence artificielle Université El-Oued, 2021.
- [9] :BOUZANA Sanaa, BENZAKHROUFA Kamel, Master, Diagnostique de Pannes dans un Système Photovoltaïque Université de Mostaganem,2022.
- [10] :Belaout Abdesslam magister, Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques PV par emploi de la caractéristique courant-tension, Université de Sétif 1 2014.
- [11] : MEKLCHE Said; Master Etude et Simulation des paramètres électriques d'une cellule solaire photovoltaïque à base de Silicium, Université de TIZI-OUZOU,2017.
- [12] : LATRECHE Soufiane, BOUZID Kheireddine, Master, Etude et Réalisation d'un système photovoltaïque à base d'une carte Arduino uno, Université de Ouargla, 2016.
- [13] : MERZOUK Makhlof, Master, Etude et réalisation d'un caractériser des modules photovoltaïques, Université de Bouira,2020 .
- [14] :MOKHTARI Yakoub, TIDJANI chemse eddine, CHETTI Mohammed, Master, solaire à l'aide d'un Arduino NANO, Université de EL OUED ,2020.

- [15] : HADDI Smail, CHERIFI Ahmed, Master, « conception et réalisation d'un système de contrôle sans fil de moteur sa courant continu avec une inter face gui lab view », université de Saida, 2021.
- [16] : BOUNABI Mohammed, BENYAHIA Hocine , Master, « Étude et réalisation d'un système de protection contre les défauts d'ombrage des panneaux photovoltaïques », Université de Bordj Bou Arreridj,2019.
- [17] :ZAIOUR Meriem, Master, « Détection et Localisation de Défauts dans un système photovoltaïque », Université de ANNABA , 2020.
- [18]MOUNIR Yasser, SENOUSSE Imane, Master, « Monitoring d'un système photovoltaïque autonome à base de Lab VIEW », Université de M'sila, 2018.
- [19] Samir TRIKI, « Conception et réalisation d'un système de gestion d'éclairage d'une maison photovoltaïque », Université de TIZI-OUZOU,2018.
- [20]:Lete. Agence d'information globale (AFP). www.letemp.eh2021.
- [21]: B. Farida « diagnostic de pannes d'un système pompage photovoltaïque », mémoire de Magister. Université Tizi-Ouzou 2012.
- [22]:k.Djamila «commande d'un système de pompage photovoltaïque» , mémoire de Magister. Université Bejaia 2009.
- [23]: A. Lynda et Z. Djamila « Etude d'un système pompage photovoltaïque », mémoire de Magister université de Bejaia 2013.
- [24]:Z.Yanis ,D.Brahim «Modélisation et simulation d'un système pompage photovoltaïque» mémoire de Magister. Université Bejaia2018.
- [25]: B. Hamza « modélisation d'un module photovoltaïque par les réseaux de neurons», mémoire de Master.Université Oum El boughi 2017.
- [26]:T.Nacer G.Slimane « modélisation d'un système photovoltaïque », mémoire de Magister.Université d'el oued 2015.
- [27]: T.Maamar « Détection et classification de défauts pour un GPV », mémoire de Magister. Université de Chlef 2018.
- [28]: N. Aouchiche « défauts liés aux systèmes photovoltaïques autonomes et techniques de diagnostic»,centre développement d'énergie Alger bouzaréah 2018.

- [29]:A.Houssein, N.Heraud, I.Souleiman, G.Pellet, "Monitoring and fault diagnosis of photovoltaic panels", EFEEA'10 International Symposium on Environment Friendly Energies in Electrical Applications, Ghardaïa, Algeria, 2-4November2010.
- [30] :S.Spataru, et al. "Detection of increased series losses in PV arrays using Fuzzy Inference Systems", Aalborg University, Aalborg, 9220, Denmark, IEEE, pp.664-669,2011.
- [31] :Dossier thermique Courier ES n°03, "effet photovoltaïque et fonctionnement des installations solaires isolées", Janvier 2000.
- [32] :Y.Veschetti, "modélisation, caractérisation et réalisation de nouvelles structures photovoltaïques sur substrat de silicium mince", thèse de doctorat, université Luis Pasteur, Strasbourg 1,2005.
- [33] : A. Cid Pastor, "conception et réalisation de modules photovoltaïques électrique", these de doctorat, institute national des sciences appliquées, Toulouse, 2006.
- [34] : S.Delencolos, "le solaire photovoltaïque", doc PDF, 2012.
- [35] : S. Abdeslem, "Filtrage actif et contrôle de puissances: application aux systems photovoltaïques interconnectés au réseau", mémoire de magistère, université FerhatAbbas, Sétif, 2012.
- [36] : K.Safia, L.Meriem, "contribution de l'effet des OTC sur les propriétés des cellules solaires : application aux structures: p-Si/n-Zno:Al", mémoire d'ingénieur, université Ferhat Abbas, Sétif, 2011.
- [37] : R. Bettignies, "cellules photovoltaïques organiques dérivées de nouveau systems conjugués", Ecole Doctorale, Angers, 2003.
- [38] :L.Bun, "Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV", these de doctorat, université de Grenoble,2011.
- [39] :CahierTechnique, "photovoltaïque 2010", SocomecSA,Strasbourg,2010.
- [40] :J.Birkl,P.Zahlmann, "protection contre des installations photovoltaïques : Exigences,procédures de test et applications pratiques", L'Artisan Electricien Electronicien N°439-Avril/Mai2010.