

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mohamed El-Bachir El-Ibrahim - Bordj Bou Arreridj –
Faculté des sciences et de la technologie Département d'électromécanique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE: Electromécanique

Spécialité: énergie renouvelable

By:

➤ **HASSANI Nidhal**

➤ **RABIA Tareq**

Intitulé

Développement d'un Système Auto Nettoyage et
Diagnostic des panneaux photovoltaïques basé sur
une alimentation autonome

Soutenu le: 03/07/2023

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
Dr. BEN SIDHOM Tarek	MCB	Président	Univ-BBA
Dr. SAAD SAOUD Merouane	MCB	Encadreur	Univ-BBA
Dr. HAMIMID Saber	MCA	Examineur	Univ-BBA
Dr. BENGEDDOUDJ Abdellah	MCB	Co-Encadreur	Univ-BBA

Année Universitaire 2022/2023

REMERCIEMENT

En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'études.

Nous tenons également à remercier notre encadrant, Dr. Maroane Saad Saoud, pour son accompagnement précieux, son expertise et sa patience tout au long de notre parcours. Ses conseils éclairés, sa disponibilité et sa passion pour la recherche ont été d'une grande inspiration pour nous. Nous exprimons également notre reconnaissance envers M. Abdellah Bengedouge, notre sous-encadrant, pour son soutien constant, ses conseils avisés et son dévouement. Sa présence dans ce projet a été un soutien inestimable et a contribué à son succès.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à Mr. tarek bensidhom et Mr. saber hamimide d'être les jurys et tous les professeurs Qui nous ont enseignée et qui par leur compétence nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

On n'oublie pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis Qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ces mémoires

Dédicace

« La logique vous conduira d'un point A à un point B, l'imagination et l'audace vous conduiront où vous le désirez » Albert Einstein

Je dédie ce modeste travail :

À :

Ma mère " Boukhetala Nadia ", mon père " Hassani Salim ", sans eux je n'aurais pas abouti à Ce stade d'étude, que dieu Puisse m'aider à les honorer, Les servir et les combler.

À ma famille et mes proches

À mes deux frères Mohamed Thair et Anes

À ma sœur Rahef El Qudes

À mon binôme Tareq À tous mes amis

*À mes collègues de l'université surtout À ma promo d'électromécanique
2023*

À tous mes enseignants et tous ceux qui nous ont soutenus tout au long de ce parcours académique et qui nous ont fait bénéficier de connaissances même un peu.

HASSANI NIDHAL

Dédicace

Avant tout, je voudrais exprimer mes profonds remerciements à Dieu pour m'avoir permis de mener à bien ce travail, malgré tous les obstacles auxquels j'ai dû faire face. Le succès n'aurait pas été possible sans ma motivation de sa part.

Je tiens à exprimer ma grande gratitude pour le soutien de mes parents, qui ont été mon soutien dans cette vie, et m'ont soutenu jusqu'au dernier moment dans la réalisation de ce projet. Je ne peux pas oublier le soutien de toute la famille généreuse, et je voudrais mentionner en particulier mon cher oncle Fares, qui a eu un grand rôle en m'encourageant et en me soutenant.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui nous ont aidés, de près ou de loin, dans ce projet. Leur coopération et leur soutien ont été inestimables.

Ces mots expriment ma profonde gratitude à tous ceux qui m'ont soutenu et aidé dans ce projet

RABIA TAREQ

SOMMAIRE

CHAPITRE I État de l'art sur l'énergie photovoltaïque

I.1	Introduction.....	17
I.2	L'énergie photovoltaïque	17
I.3	Radiation Solaire.....	18
I.3.1	Rayonnement solaire direct	18
I.3.2	Rayonnement solaire diffus	18
I.3.3	Rayonnement Albédo	19
I.4	Cellule photovoltaïque	19
I.4.1	Principe de fonctionnement	19
I.4.2	Les modèles de la cellule PV	20
I.5	Types de cellules photovoltaïques.....	23
I.5.1	Les cellules au silicium monocristallin	23
I.5.2	Les cellules de silicium poly cristallin.....	24
I.5.3	Les cellules à couche mince.....	25
I.5.4	Les cellules solaires organiques.....	25
I.5.5	Les cellules solaires pérovskite	26
I.6	Générateur photovoltaïque (module PV, panneau solaire)	27
I.6.1	Composants des panneaux solaires	28
I.6.2	Caractéristique électrique d'un générateur Photovoltaïque	29
I.7	Conclusion	31

Chapitre II L'effet des conditions climatiques sur les panneaux solaires photovoltaïques

II.1	Introduction	33
II.2	L'effet des facteurs climatiques sur les panneaux solaires.....	33

II.2.1	Effet de l'éclairement.....	33
II.2.2	Effet de la température	34
II.2.3	Effet de la glace et la neige.....	35
II.3	Phénomène d'ombre et son effet sur les panneaux	36
II.3.1	Différents types d'ombrages	38
II.4	Protection des panneaux solaires contre les phénomènes d'ombre.....	41
II.4.1	Diode bypass.....	41
II.4.2	Diodes anti retour	41
II.4.3	L'inclinaison des panneaux solaires.....	42
II.4.4	L'installation de micro-onduleurs.....	43
II.5	Problème de poussière sur les panneaux solaires.....	43
II.5.1	L'effet de la poussière accumulée sur les caractéristiques électriques	45
II.5.2	L'effet de la poussière accumulée sur le côté physique.....	45
II.5.3	Augmentation de la température des modules PV due à l'accumulation de poussière	46
II.6	Le nettoyage des panneaux solaires.....	47
II.7	Types de nettoyage de panneaux solaires	48
II.7.1	Nettoyage manuel	48
II.7.2	Systèmes de gicleurs d'eau	49
II.7.3	Systèmes de nettoyage avec brosse.....	50
II.7.4	Nettoyage robotisé horizontalement	51
II.8	Conclusion	53
CHAPITRE III Réalisation Du Prototype D'un nettoyeur des panneaux solaires		
III.1	Introduction.....	55
III.2	Problématique	55
III.2.1	Le contenu général du projet	55
III.2.2	L'objectif principal du projet	56
III.3	Description de la partie matérielle	56

III.3.1	Carte ARDUINO.....	56
III.3.2	Carte ARDUINO UNO.....	56
III.3.3	Moteur driver L298N	58
III.3.4	Panneau solaire	59
III.3.5	Régulateur de charge solaire.....	60
III.3.6	Batterie lithium	60
III.3.7	Moteur DC	61
III.4	Description de la partie logicielle.....	62
III.4.1	Logiciel SKETCHUP	62
III.4.2	Logiciel ARDUINO IDE.....	63
III.5	Étapes de réalisation de projet.....	64
III.5.1	Dimensionnement du système	64
III.5.2	Étapes de dimensionnement de l’installation	65
III.6	Les étapes de réalisation du système	67
III.6.1	Le schéma électrique de système	74
III.7	Résultats et discussion	75
III.7.1	Teste de l'effet de la poussière sur le rendement des panneaux	75
III.7.2	Test charge de batterie et le fonctionnement du système en temps réel ...	77
III.8	Conclusion	78

Liste des figures

Figure I.1:Énergie solaire renouvelable	17
Figure I.2:Les types de rayonnement solaire	19
Figure I.3: Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	20
Figure I.4:Le circuit électrique de la cellule photovoltaïque avec une diode.....	20
Figure I.5:Le circuit électrique de la cellule photovoltaïque avec deux diodes	22
Figure I.6:Le circuit électrique de la cellule photovoltaïque avec modèle de bishop.....	23
Figure I.7: Cellule photovoltaïque monocristalline	24
Figure I.8: Cellule photovoltaïque poly cristallin	24
Figure I.9: Cellule photovoltaïque à couche mince	25
Figure I.10: Cellule photovoltaïques organique	26
Figure I.11:Cellule photovoltaïque pérovskite.....	27
Figure I.12:Constituants d'un générateur photovoltaïque	27
Figure I.13: Les composants d'un panneau solaire	28
Figure I.14:La courbe courant-tension (I-V) d'un panneau solaire	29
Figure I.15:La courbe puissance-tension (P-V) d'un panneau solaire	29
Figure II.1:La courbe de caractéristique (I-V) d'un module PV pour plusieurs valeurs d'irradiation.....	34
Figure II.2:La courbe de caractéristique (P-V) d'un module PV pour plusieurs valeurs d'irradiation.....	34
Figure II.3:La courbe de caractéristique (I-V) d'un module PV pour plusieurs valeurs de températures	35
Figure II.4:La courbe de caractéristique (P-V) d'un module PV pour plusieurs valeurs de températures	35
Figure II.5:La neige sur des panneaux solaires	36
Figure II.6: L'effet des grêlons sur le module PV.....	36
Figure II.7:Caractéristique I –V d'une cellule PV	37
Figure II.8:Caractéristiques des cellules PV pour un courant donné (I) présence d'ombrage	37
Figure II.9:Exemple d'un ombrage complet	38
Figure II.10: Exemple d'un ombrage partiel	39
Figure II.11:Exemple d'un ombrage saisonnier	39

Figure II.12:Exemple d'un Ombrage intermittent	40
Figure II.13:Exemple d'un Ombrage des bords	40
Figure II.14:Etat de fonctionnement de diode by-pass	41
Figure II.15:Protection avec une diode anti-retour	42
Figure II.16:Protection avec L'inclinaison des panneaux	42
Figure II.17:Protection avec L'installation de micro-onduleurs	43
Figure II.18:Panneaux solaire poussiéreux	44
Figure II.19:Centrale solaire poussiéreux	44
Figure II.20: L'effet de la poussière accumulée sur la cote physique du module PV	46
Figure II.21:Effet de la poussière sur la température de surface PV [28]	47
Figure II.22:Image montrant le processus de nettoyage manuel	48
Figure II.23:Nettoyage avec gicleurs d'eau	49
Figure II.24:Nettoyage avec brosse semi-automatique	50
Figure II.25:Nettoyage intelligent et automatique des panneaux solaires	51
Figure II.26: Carte ARUINO UNO	57
<i>Figure II.27 Moteur driver L298N</i>	58
<i>Figure II.28:Panneau solaire</i>	59
<i>Figure II.29:Régulateur de charge solaire 12V-24V 10A</i>	60
<i>Figure II.30:Batterie lithium</i>	61
<i>Figure II.31:Moteur courant continu 12V 30W</i>	62
Figure II.32: Interface utilisateur du programme SKETCHUP	63
Figure II.33:Interface utilisateur du programme Arduino IDE	64
Figure II.34: Conception 3D initiale	67
Figure II.35: Photo de la pièce en 3D	68
Figure II.36: Photo de la pièce en réalité	68
Figure II.37: Photo du rassemblement des trois pièces	69
Figure II.38:Photo du tube carré en réalité	69
Figure II.39:La structure extérieure du système	69
Figure II.40: Support du moteur	70
Figure II.41: Roue gommée	70
Figure II.42: Roues pour l'équilibre	71
Figure II.43:Les roulements	71
Figure II.44: La brosse de nettoyage	72
Figure II.45: L'installation d'eau	72

Figure II.46: Les panneaux solaires installés	73
Figure II.47: Conception 3D de l'appareil installé sur les panneaux	73
Figure II.48: Photo de l'appareil réel installé sur les panneaux	74
Figure II.49: Le schéma électrique de system.....	74
Figure II.50: multimètre de test	75
Figure II.51: Panneau solaire avant nettoyage	75
Figure II.52: Graphiques à barres montrant l'effet de la poussière sur l'efficacité des panneaux	76

Liste des tableaux

Table III-1: Fiche technique d'un ARDUINO UNO	57
Table III-2:Caractéristiques techniques de panneaux	59
Table III-3:Caractéristiques mécaniques de panneaux	60
Table III-4:Consommation du système pendant une journée	65
Table III-5: Le résultat de test l'effet de la poussière.....	75
Table III-6: test charge batterie en vide	77
Table III-7:Test système de nettoyage en vide.....	77

ملخص :

يقدم هذا البحث دراسة مفصلة وتطويرًا عمليًا لنظام مبتكر ومستقل لتنظيف الألواح الشمسية، يتحكم فيه أردوينو ويستخدم محركات DC التي تعمل ذاتيًا بفضل الطاقة المستمدة من الألواح الشمسية، ويتكامل مع الكاميرات الحرارية للكشف المبكر عن مشكلات النقاط الساخنة والكسور. تلعب الألواح الشمسية دورًا حاسمًا في إنتاج الكهرباء الخضراء، ولكن أداؤها يتأثر في كثير من الأحيان بالعيوب مثل النقاط الساخنة والكسور، والتي يمكن أن تؤدي إلى تراجع الكفاءة وزيادة مخاطر الفشل. يهدف هذا البحث إلى تحسين موثوقية أنظمة الطاقة الشمسية من خلال تقديم حلاً آليًا وفعالًا للكشف عن هذه المشكلات وحلها.

تُظهر نتائج الاختبارات بوضوح أهمية الكشف المبكر عن مشكلات النقاط الساخنة والكسور. بفضل التكامل مع الكاميرات الحرارية، يتم الكشف عن هذه العيوب مبكرًا، مما يتيح التدخل السريع لحلها قبل أن تؤثر بشكل كبير على أداء الألواح الشمسية. بالإضافة إلى ذلك، يساهم تنظيف الألواح الشمسية بشكل منتظم وآلي في الحفاظ على أداؤها الأمثل، مما يؤدي إلى زيادة الموثوقية وتمديد عمر أنظمة الطاقة الشمسية.

الكلمات المفتاحية: تنظيف - الألواح الشمسية - الكاميرات الحرارية - الكشف - التغذية الذاتية - النقاط الساخنة - الاختبارات

Résumé

Ce travail présente une étude approfondie et le développement pratique d'un nettoyeur novateur pour les panneaux solaires autonome commandé par Arduino et utilise des moteurs DC auto alimenté par panneaux solaires, qui intègre des caméras thermiques pour la détection précoce des problèmes de points chauds et de cassures. Les panneaux photovoltaïques jouent un rôle crucial dans la production d'électricité verte, mais leur performance est souvent entravée par des défauts tels que les points chauds et les cassures, qui peuvent entraîner une baisse de rendement et des risques de défaillance. Ce travail de recherche vise à améliorer la fiabilité des systèmes photovoltaïques en proposant une solution automatisée et efficace pour détecter et résoudre ces problèmes.

Les résultats des tests montrent clairement l'importance de la détection précoce des problèmes de points chauds et de cassures. Grâce à l'intégration des caméras thermiques, permettant ainsi une intervention rapide pour résoudre les problèmes avant qu'ils n'affectent sérieusement la performance des panneaux solaires. De plus, le nettoyage régulier et automatisé des panneaux solaires contribue à maintenir leur rendement optimal, ce qui entraîne une augmentation de la fiabilité et une prolongation de la durée de vie des systèmes photovoltaïques.

Mots Clés : nettoyeur - panneaux solaires- caméras thermiques- détection-auto alimenté – points chaudes –Tests

Abstract

This research presents a detailed study and practical development of an innovative and autonomous solar panel cleaner controlled by Arduino and powered by self-sustained DC motors from solar panels. The system is integrated with thermal cameras for early detection of hotspots and cracks. Solar panels play a crucial role in producing green electricity, but their performance is often affected by defects such as hotspots and cracks, which can lead to decreased efficiency and increased failure risks. This research aims to enhance the reliability of solar photovoltaic systems by offering an automated and efficient solution for detecting and resolving these issues.

The test results clearly demonstrate the importance of early detection of hotspots and cracks. Through integration with thermal cameras, these flaws are detected early, allowing for swift intervention to address them before they significantly impact the performance of solar panels. Additionally, regular and automated cleaning of solar panels contributes to maintaining their optimal efficiency, resulting in increased reliability and extended lifespan of the photovoltaic systems.

Keywords: cleaner - Solar panels - Thermal cameras - Detection - Self-sustained - Hotspots - Tests

INTRODUCTION GENERAL

Introduction général

L'énergie photovoltaïque est devenue l'une des sources d'énergie les plus prometteuses et respectueuses de l'environnement au cours des dernières décennies. Les panneaux solaires photovoltaïques permettent de convertir directement la lumière solaire en électricité, offrant ainsi une solution durable et renouvelable pour répondre à la demande croissante en énergie. Cependant, pour maximiser l'efficacité et la durée de vie de ces installations, il est essentiel de maintenir les panneaux photovoltaïques propres et exempts de toute obstruction.

Le nettoyage est une étape cruciale pour garantir leur rendement optimal. La présence de poussière, de saleté, de débris ou même de dépôts de pollen sur les panneaux peut réduire considérablement leur capacité à générer de l'électricité.

Le présent mémoire intitulé "Étude et réalisation d'un nettoyeur des panneaux photovoltaïques" se concentre sur le développement d'un prototype novateur et performant pour le nettoyage automatique des panneaux solaires. Ce projet vise à répondre à l'enjeu crucial de l'efficacité énergétique des panneaux photovoltaïques, en développant un système de nettoyage efficace, économique et respectueux de l'environnement.

Le mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à l'état de l'art sur l'énergie photovoltaïque. Cette section fournira une revue complète des principes de fonctionnement des panneaux solaires, des technologies utilisées, des avantages et des défis liés à leur utilisation.

Le deuxième chapitre se concentre sur les systèmes de nettoyage des panneaux solaires existants. Cette partie de l'étude permettra d'examiner et d'évaluer les différentes méthodes et technologies actuellement disponibles sur le marché, en mettant en évidence leurs avantages et leurs limites.

Enfin, le troisième chapitre abordera la conception et la réalisation du prototype de nettoyeur des panneaux photovoltaïques. Les différentes étapes de développement du système seront présentées, depuis la conception initiale jusqu'aux tests pratiques et aux résultats obtenus. Les performances du prototype seront évaluées en fonction de critères tels que l'efficacité du nettoyage, la consommation d'énergie, la facilité d'utilisation et la durabilité.

CHAPITRE I

*État de l'art sur l'énergie
photovoltaïque*

I.1 Introduction

Le chapitre sur l'état de l'art de l'énergie photovoltaïque donne un aperçu des avancées et des technologies actuelles dans l'exploitation de l'énergie solaire. L'énergie photovoltaïque (PV) fait référence à la conversion de la lumière du soleil en électricité à l'aide de matériaux semi-conducteurs. Ce chapitre explore les principes du photovoltaïque, les différents types de rayonnement solaire, le fonctionnement des cellules PV, divers modèles de cellules PV et différents types de cellules PV. En examinant l'état de l'art de l'énergie photovoltaïque, nous pouvons avoir un aperçu des derniers développements, des améliorations de l'efficacité et des applications potentielles de cette source d'énergie renouvelable.

I.2 L'énergie photovoltaïque

L'expression "photovoltaïque" dérive des mots grecs pour la lumière, les volts et l'électricité. L'énergie solaire photovoltaïque est générée en convertissant la lumière du soleil en électricité dans des matériaux semi-conducteurs tels que le silicium ou sous une fine couche métallique. Lorsqu'ils sont exposés à la lumière, ces matériaux photosensibles libèrent des électrons. C'est l'effet photovoltaïque. Les photons (composants légers) heurtent les électrons et les libèrent, provoquant la circulation d'un courant électrique. Un onduleur peut convertir le courant continu de micro puissance mesuré en watt crête (WC) en courant alternatif. L'énergie générée peut être utilisée directement, stockée dans des batteries (énergie électrique décentralisée) ou pompée dans le réseau [1].



Figure II.1:Énergie solaire renouvelable

I.3 Radiation Solaire

Le rayonnement solaire est l'énergie qui vient du soleil et atteint la Terre. Il se déplace sous la forme d'ondes électromagnétiques, qui comprennent la lumière visible, la lumière ultraviolette et le rayonnement infrarouge. Le rayonnement solaire est ce qui rend la lumière du jour possible, et il joue également un rôle crucial dans de nombreux processus naturels sur Terre. L'énergie du rayonnement solaire peut être exploitée grâce à des technologies telles que les panneaux solaires pour fournir de l'électricité à diverses fins. Il existe trois modes de rayonnement [2].

I.3.1 Rayonnement solaire direct

Il est connu par le nom de rayonnement de faisceau, fait référence à l'énergie solaire qui se déplace en ligne droite du soleil à un endroit particulier sur terre sans être dispersée ou absorbée par l'atmosphère. Le rayonnement solaire direct est un facteur important à prendre en compte pour les technologies qui reposent sur l'énergie solaire, telles que les panneaux solaires. En effet, le rayonnement direct fournit la source d'énergie solaire la plus intense et la plus constante pour ces technologies [2].

I.3.2 Rayonnement solaire diffus

Également connu sous le nom de rayonnement du ciel, fait référence à l'énergie solaire qui atteint la surface de la terre après avoir été diffusée ou réfléchi par l'atmosphère. Ce type de rayonnement solaire a une intensité plus faible que le rayonnement solaire direct car une partie de l'énergie est absorbée ou diffusée par les gaz et les particules atmosphériques avant qu'elle n'atteigne la surface de la terre [2].

I.3.3 Rayonnement Albédo

Fait référence à l'énergie solaire réfléchiée dans l'espace par la surface de la Terre, les nuages et l'atmosphère. L'albédo de la Terre est la fraction du rayonnement solaire entrant qui est réfléchiée dans l'espace, et il est influencé par des facteurs tels que le type de surface (par exemple, la terre, l'eau, la glace), la couverture nuageuse et la composition atmosphérique [3].

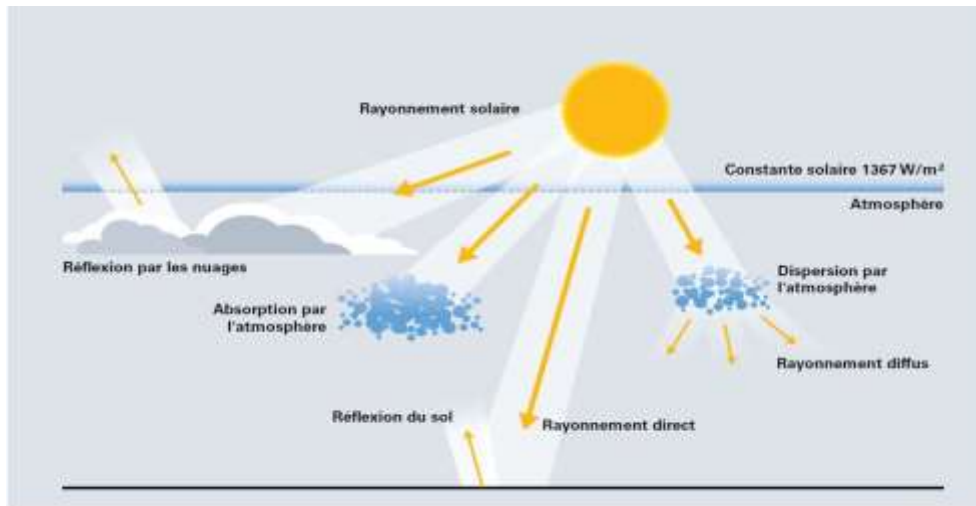


Figure I.2: Les types de rayonnement solaire

I.4 Cellule photovoltaïque

I.4.1 Principe de fonctionnement

Une cellule photovoltaïque est un type de capteur électrique qui transforme directement la lumière du soleil en énergie. Elle est constituée de substances semi-conductrices comme le silicium qui absorbent les photons (particules de lumière) et libèrent des électrons, créant ainsi un courant électrique. En fonction du matériau utilisé, de son emplacement, de la température de la cellule et de son vieillissement, la tension produite peut varier de 0,3 V à 0,7 V. Les cellules solaires peuvent être utilisées individuellement pour alimenter de petits appareils électroniques tels que des calculatrices ou peuvent être connectées ensemble dans des panneaux solaires pour produire de l'électricité à grande échelle pour les maisons, les entreprises et les centrales PV.

La jonction p-n de la cellule génère un champ électrique qui divise les électrons excités et les trous (porteurs de charges positifs) et les fait se déplacer en opposition les uns aux autres. Le courant électrique est produit par le mouvement des électrons et peut être collecté et utilisé pour

alimenter des appareils électriques. La jonction p-n de la cellule crée un champ électrique qui sépare les électrons excités et les trous (porteurs de charge positifs) et les fait se déplacer dans des directions opposées. Ce mouvement d'électrons crée un flux de courant électrique, qui peut être capté et utilisé pour alimenter des appareils électriques [4].

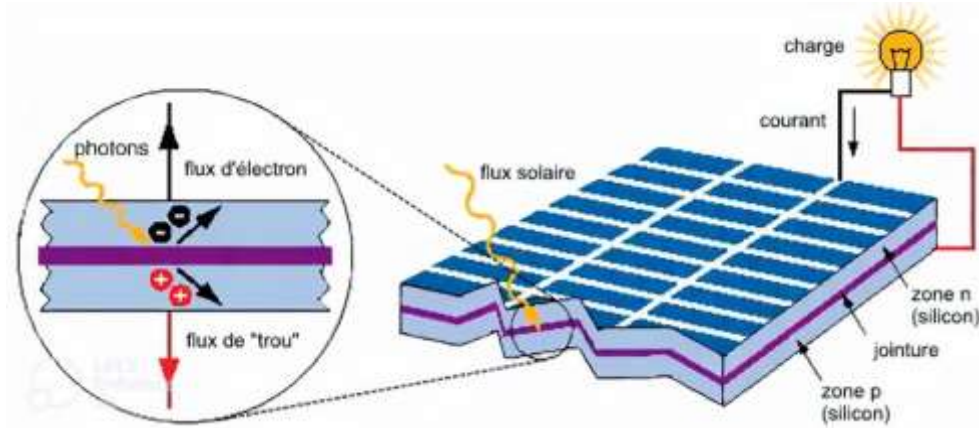


Figure I.3: Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

I.4.2 Les modèles de la cellule PV

I.4.2.1 Modèle à une diode

Le modèle à une diode est une représentation équivalente de circuit électrique populaire d'une cellule PV. Le circuit équivalent habituel de ce modèle comprend une source de courant photosensible, une diode, une résistance shunt et une résistance série. La cellule PV dans ce modèle à une seule diode est approximée à l'aide de l'équation de Shockley pour une diode idéale [5].

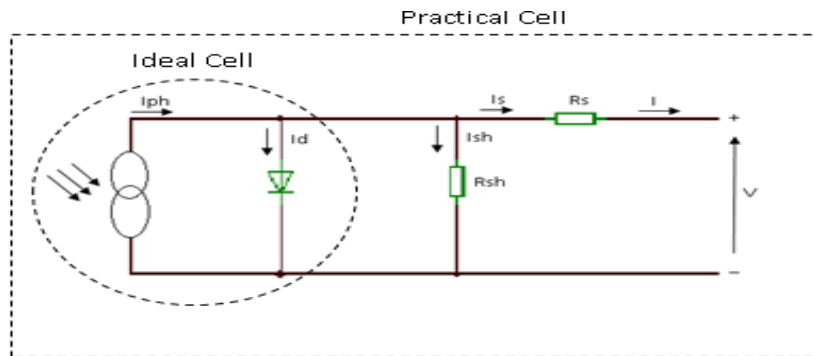


Figure I.4: Le circuit électrique de la cellule photovoltaïque avec une diode

$$I_D = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{V+IR_s}{nV_t}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad \text{I.1)}$$

Où :

I_D : est le courant traversant la diode, I_{ph} : est la photo courant générer par la cellule.

I_0 : est le courant de saturation inverse de la diode. V : est la tension aux bornes de la diode.

R_s et R_{sh} : sont respectivement les résistances série et shunt. n : est le facteur d'idéalité

V_t : est la tension thermique donnée par :

$$V_t = \frac{kT}{q} \quad \text{I.2)}$$

Où : k : est la constante de Boltzmann. T : est la température en Kelvin.

q : est la charge élémentaire.

I.4.2.2 Modèle à deux diodes

Le modèle à deux diodes est une approximation plus réaliste de la cellule solaire que le modèle à une diode. Il est basé sur l'idée qu'il y a deux diodes parallèles dans la cellule, une pour la jonction p-n et une pour la recombinaison des porteurs minoritaires. Les deux diodes sont reliées en parallèle avec une résistance série et une résistance shunt [5].

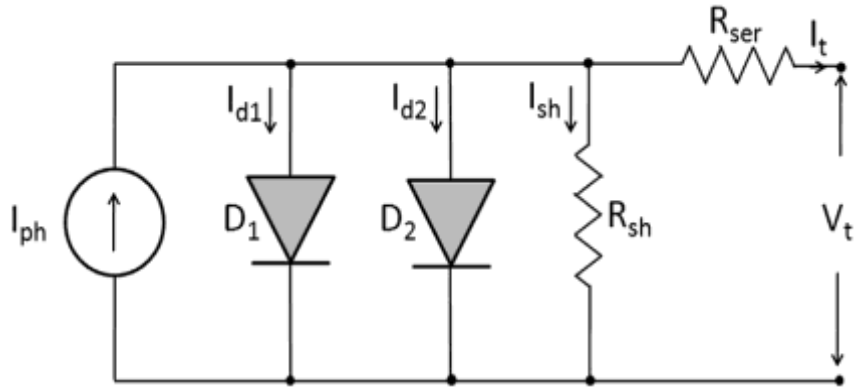


Figure I.5: Le circuit électrique de la cellule photovoltaïque avec deux diodes

L'équation courant-tension pour le modèle à deux diodes est donnée par :

$$I = I_{ph} - I_{D1} \left(e^{\frac{V+IR_s}{n_1 V_t}} \right) - I_{D2} \left(e^{\frac{V+IR_s}{n_2 V_t}} \right) - \frac{V + IR_s}{R_{SH}} \quad \text{I.3)}$$

Où

I : est le courant traversant la cellule.

I_{D1} et I_{D2} : sont les courants inverses de saturation des deux diodes.

n_1 et n_2 : sont les facteurs d'idéalité des deux diodes.

I.4.2.3 Modèle de Bishop

Parmi les modèles de cellules photovoltaïques proposés, le modèle de Bishop est généralement considéré comme le meilleur modèle pour modéliser une cellule PV en fonctionnement normal et inverse [5]. Ce concept est énoncé par l'équation suivante, où I et V sont respectivement le courant et la tension d'une cellule PV :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[e^{\left(\frac{V+R_s I}{V_t} \right)} - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \left[1 + K \left(1 - \frac{V + R_s I}{V_{br}} \right)^{-n} \right] \quad \text{I.4)}$$

Où :

I_{ph} : Photo courant : courant équivalent proportionnel à l'ensoleillement reçu par la cellule.

I_0 : Courant de saturation inverse de la diode. R_s : Résistance série de la cellule.

R_{sh} : Résistance shunt de la cellule. k : Coefficient de réglage de Bishop (3.4 à 4).

n : Coefficient de réglage de Bishop (~ 0.1). V_{br} : Tension de claquage de la cellule (-10 V à -30 V).

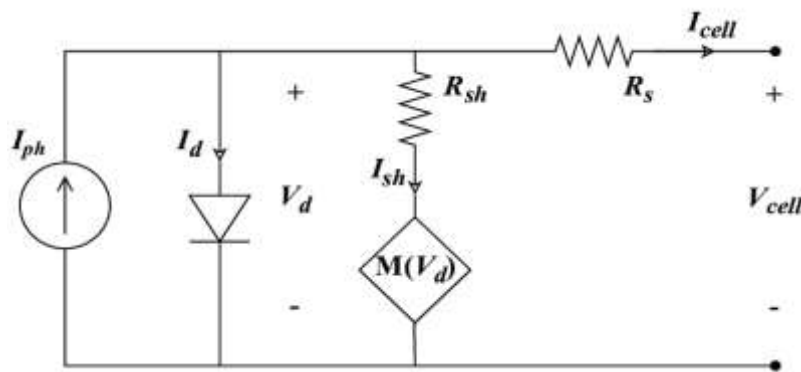


Figure I.6: Le circuit électrique de la cellule photovoltaïque avec modèle de bishop

I.5 Types de cellules photovoltaïques

Il existe plusieurs types de cellules photovoltaïques (PV), également appelées cellules solaires, qui convertissent la lumière du soleil en énergie électrique. Voici quelques exemples de types populaires :

I.5.1 Les cellules au silicium monocristallin

Les cellules au silicium monocristallin sont le type de cellule solaire le plus couramment utilisé sur le marché. Elles sont fabriquées à partir d'un seul cristal de silicium de haute pureté. Les cellules au silicium monocristallin ont un aspect bleu foncé ou presque noir et sont connues pour leur grande efficacité à convertir la lumière du soleil en électricité.

Leur taux d'efficacité est d'environ 20 à 22 %, ce qui signifie qu'elles peuvent convertir jusqu'à 22 % de la lumière du soleil qui les transfère en énergie électrique utilisable. Les cellules au silicium monocristallin présentent les avantages suivants : rendement élevé, rendement spatial, durabilité et faible dégradation [6].

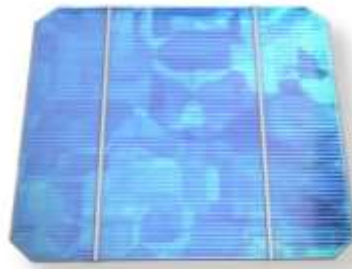


Figure I.7: Cellule photovoltaïque monocristalline

I.5.2 Les cellules de silicium poly cristallin

Un autre type de cellule solaire largement utilisé sur le marché est la cellule multi cristalline en silicium. Contrairement aux cellules de silicium monocristallin, les cellules de silicium poly cristallin sont constituées de plusieurs petits cristaux de silicium liés entre eux pour former une seule cellule. En raison de leurs nombreux cristaux, les cellules poly cristallines de silicium sont de couleur bleue et ont un aspect marbré. Elles sont généralement moins chères à produire que les cellules monocristallines, mais elles ont également des rendements plus faibles, typiquement compris entre 15 et 17 %.

Les avantages des cellules en silicium poly cristallin sont les suivants : un coût moins élevé, fabrication économe en énergie et puissance élevée [6].



Figure I.8: Cellule photovoltaïque poly cristallin

I.5.3 Les cellules à couche mince

Sont un type de cellule solaire fabriquée en déposant une ou plusieurs couches minces de matériau photovoltaïque sur un substrat. Les matériaux les plus couramment utilisés dans les cellules à couche mince sont le silicium amorphe, le tellure de cadmium et le séléniure de cuivre, d'indium et de gallium.

Les cellules à couche mince de silicium sont moins efficaces que les cellules à couche épaisse de silicium, typiquement de 10 à 12 %. Cependant, ils sont moins chers à produire et peuvent être plus souples et légers, ce qui les rend idéaux pour certaines applications.

Voici les avantages des cellules à couche mince : échec coût, flexibilité, légèreté et performances exceptionnelles dans des conditions de faible luminosité [6].



Figure I.9: Cellule photovoltaïque à couche mince

I.5.4 Les cellules solaires organiques

Les photovoltaïques organiques (OPV), sont un type de cellule solaire fabriquée à partir de matériaux organiques tels que des polymères ou de petites molécules [7]. Ces matériaux peuvent être dispersés dans un solvant et imprimés sur un substrat, rendant leur production potentiellement plus rentable que celle d'autres types de cellules solaires. Les cellules solaires organiques sont aux premiers stades de développement et ne sont pas aussi efficaces que les autres types de cellules solaires. Cependant, ils offrent des avantages uniques qui en font une option convaincante pour certaines applications. Les avantages des cellules solaires organiques sont les suivants : faible coût, flexibilité, légèreté et transparence [8].



Figure I.10: Cellule photovoltaïques organique

I.5.5 Les cellules solaires pérovskite

La cellule solaire à pérovskite est un type de cellule solaire basée sur un matériau appelé **pérovskite**. Les pérovskites sont des cristaux inorganiques avec une structure cristalline spécifique qui leur confère des propriétés intéressantes pour la conversion de l'énergie solaire en électricité.

Dans une cellule solaire à pérovskite, le matériau à pérovskite est généralement déposé sous forme de couche mince sur un substrat conducteur. Lorsque la lumière solaire frappe la cellule, les photons sont absorbés par la couche de pérovskite, générant des paires d'électrons et de trous chargés.

Ces charges électriques sont ensuite séparées par une interface entre la couche de pérovskite et une couche de matériau de transport des charges, tel qu'un matériau conducteur organique ou inorganique. Les électrons sont collectés du côté négatif de la cellule solaire, tandis que les trous sont collectés du côté positif, créant ainsi un courant électrique [9].



Figure I.11: Cellule photovoltaïque pérovskite

I.6 Générateur photovoltaïque (module PV, panneau solaire)

Les systèmes PV sont constitués d'un ou plusieurs panneaux solaires constitués de cellules photovoltaïques interconnectées [10]. Le développement de nouveaux types de panneaux solaires, tels que les panneaux à couches minces, à concentrateur et bifaciaux, a également été facilité par les progrès de la technologie photovoltaïque. Ces panneaux présentent divers avantages et compromis en termes d'efficacité, de coût et de durabilité.

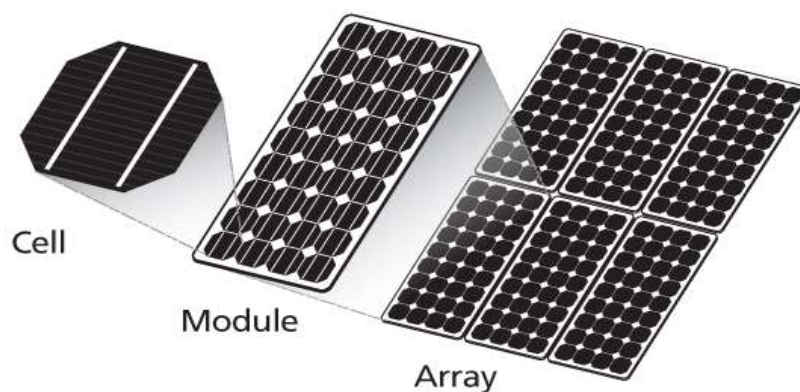


Figure I.12: Constituants d'un générateur photovoltaïque

I.6.1 Composants des panneaux solaires

Les panneaux solaires sont constitués de plusieurs composants qui fonctionnent ensemble pour convertir la lumière du soleil en électricité utilisable [11]. Ces composants comprennent généralement :

- **Cellules photovoltaïques (PV)** : élément de base des panneaux solaires.
- **Couverture en verre** : Le verre utilisé dans les panneaux solaires est généralement trempé, ce qui signifie qu'il a été traité thermiquement pour augmenter sa résistance et sa durabilité. Le verre utilisé est également conçu pour être très clair afin de permettre à la quantité maximale de lumière solaire d'atteindre les cellules solaires. Avec une épaisseur entre 3 et 4 mm.
- **Back Sheet** : back sheet est une fine couche de matériau polymère ou une autre plaque de verre qui protège le bas des cellules PV de l'humidité et d'autres facteurs environnementaux.
- **Cadre** Généralement en aluminium et sert de support au panneau solaire.
- **Boîte de jonction** : La boîte de jonction est située à l'arrière du panneau solaire et elle est utilisée pour connecter les fils des cellules PV au reste du système.

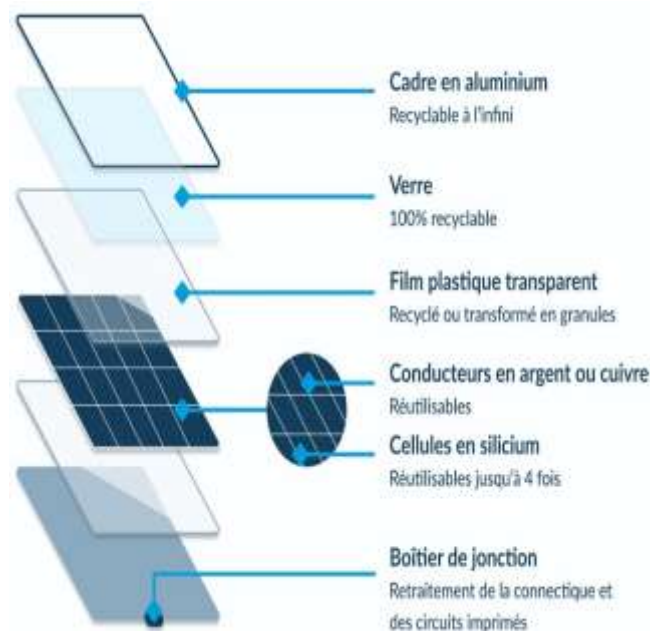


Figure I.13: Les composants d'un panneau solaire

I.6.2 Caractéristique électrique d'un générateur Photovoltaïque

La puissance électrique de sortie d'un panneau photovoltaïque (PV) est déterminée par de nombreux paramètres, notamment la taille du panneau, l'efficacité des cellules PV et la quantité de rayonnement solaire disponible. La puissance électrique de sortie d'un panneau photovoltaïque est souvent exprimée en watts et indique la quantité d'énergie électrique que le panneau peut générer dans des conditions idéales. Les conditions optimales sont celles dans lesquelles le panneau est exposé à la lumière directe du soleil et sa surface est perpendiculaire aux rayons du soleil.

La puissance de sortie d'un panneau PV est régie par sa tension et son courant de sortie, qui sont connectés au point de puissance maximale (MPP) du panneau. Le MPP est le point sur la courbe courant-tension (I-V) où le panneau produit le plus de puissance électrique.

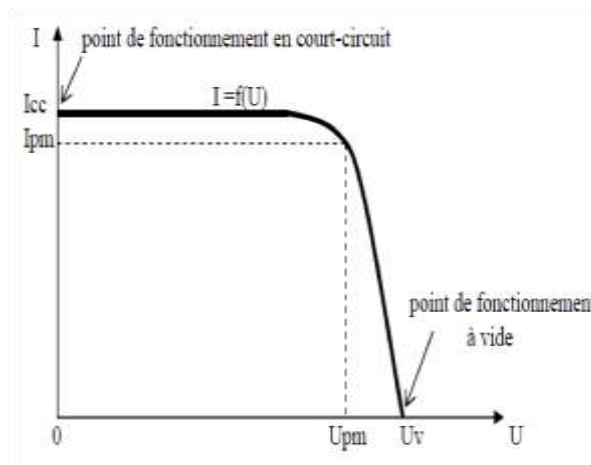


Figure I.14: La courbe courant-tension (I-V) d'un panneau solaire

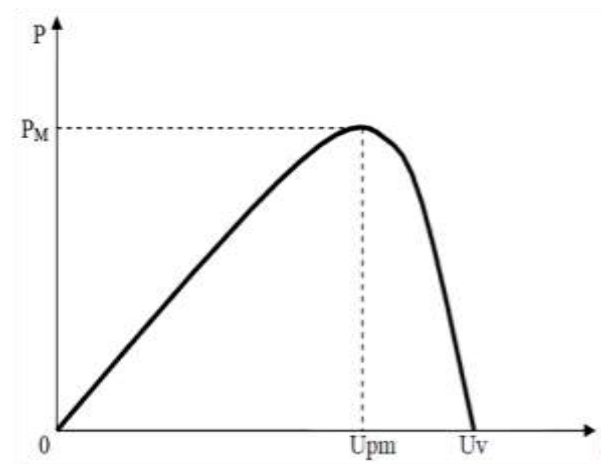


Figure I.15: La courbe puissance-tension (P-V) d'un panneau solaire

I.6.2.1 Tension en circuit ouvert (V_{OC})

La tension en circuit ouvert est la tension la plus élevée que le générateur PV peut générer alors que ses bornes ne sont connectées à aucune charge ou circuit. À ce moment, aucun courant ne circule dans le circuit et le générateur PV est dans un état d'équilibre. La tension en circuit ouvert est affectée par un certain nombre de paramètres, notamment **le type de matériau semi-**

conducteur utilisé dans les cellules PV, la température des cellules et l'intensité de la lumière incidente [12].

I.6.2.2 Courant de court-circuit (I_{sc})

Le courant de court-circuit est le courant le plus élevé qu'un système PV peut générer lorsque ses bornes sont court-circuitées, ce qui implique qu'aucune charge externe n'est connectée au système. Cela se produit lorsque la tension aux bornes des cellules PV tombe à zéro et que le courant est limité uniquement par la résistance interne des cellules et du câblage. C'est également un élément important à prendre en compte lors de l'évaluation des performances d'un système PV [12].

I.6.2.3 Facteur de Forme (FF)

Le facteur de forme est une mesure qui caractérise l'efficacité d'une cellule ou d'un module PV. Il est défini comme le rapport de la puissance de sortie maximale de la cellule ou du module au produit de la tension en circuit ouvert (V_{oc}) et du courant de court-circuit (I_{sc}). Le facteur de forme est généralement exprimé sous la forme d'une fraction décimale allant de 0 à 1.

Un facteur de forme élevé implique que la cellule ou le module PV peut convertir une grande partie de l'énergie solaire disponible en énergie électrique, tandis qu'un facteur de forme faible indique qu'une partie importante de l'énergie solaire disponible est gaspillée sous forme de chaleur ou n'est pas convertie en énergie électrique.

Il peut être calculé à partir de la courbe courant-tension (I-V) d'une cellule ou d'un module PV à l'aide de la formule suivante :

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad \text{I.5)}$$

Ou :

V_{mp} : est la tension au point de puissance maximale. I_{mp} : est le courant au point de puissance maximale V_{oc} : est la tension en circuit ouvert.

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre l'état de l'art dans le domaine de l'énergie photovoltaïque met en évidence les progrès significatifs réalisés dans l'exploitation de l'énergie solaire en tant que source d'énergie renouvelable viable.

Chapitre II

L'effet des conditions climatiques sur les panneaux solaires photovoltaïques

II.1 Introduction

Ce chapitre se concentre sur l'effet des conditions climatiques sur les panneaux solaires photovoltaïques. Les paramètres météorologiques tels que la température, le vent la glace et de la neige et le rayonnement solaire sont étudiés en tant que facteurs affectant les performances et l'efficacité des panneaux solaires. De plus, la température joue un rôle important car elle peut affecter les performances des panneaux solaires et entraîner des dommages physiques.

Enfin, il aborde le sujet du nettoyage des panneaux solaires, et met en lumière les méthodes pertinentes pour maintenir leur efficacité optimale.

II.2 L'effet des facteurs climatiques sur les panneaux solaires

La température, l'humidité, le vent et les précipitations peuvent tous avoir un impact sur les performances et l'efficacité des panneaux solaires. Voici quelques exemples de la façon dont chacun de ces facteurs peut affecter les panneaux solaires :

II.2.1 Effet de l'éclairement

La quantité de lumière qui tombe sur une surface est un facteur critique qui influence l'efficacité des panneaux solaires. Ce qui nécessite la présence d'un minimum de lumière pour que le panneau produise de l'électricité [13]. Voici quelques façons dont la lumière du soleil peut affecter les panneaux solaires :

- **Rendement** : Des niveaux d'éclairement plus élevés peuvent également améliorer l'efficacité d'un panneau solaire puisque les matériaux du panneau sont mieux équipés pour convertir la lumière en énergie électrique. Cela implique que plus de lumière disponible est utilisée pour générer de l'énergie, ce qui se traduit par une plus grande efficacité globale [14].

En supposant que la température est constante et égale à 25°C, les courbes caractéristiques P-V et I-V sont tracés pour plusieurs valeurs d'irradiation pour voir son influence sur les courbes.

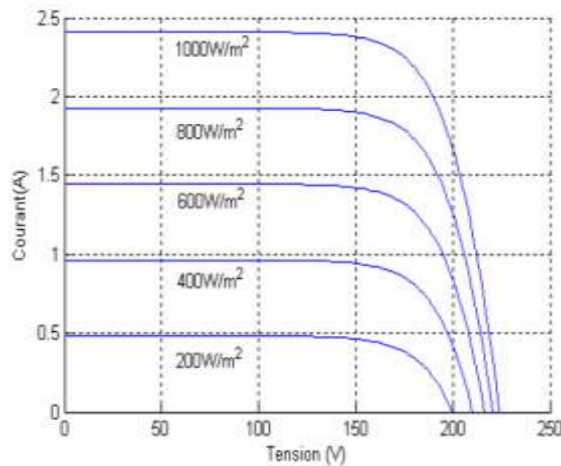


Figure II.1: La courbe de caractéristique (I-V) d'un module PV pour plusieurs valeurs d'irradiation

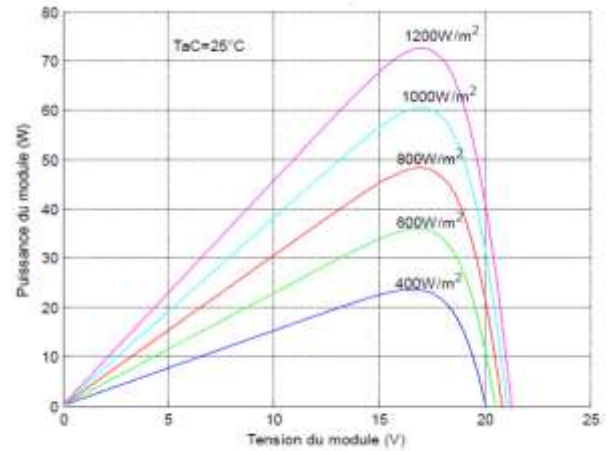


Figure II.2: La courbe de caractéristique (P-V) d'un module PV pour plusieurs valeurs d'irradiation

II.2.2 Effet de la température

La température est un facteur crucial qui peut avoir un impact significatif sur les performances et l'efficacité des panneaux solaires. Voici quelques détails supplémentaires sur les effets de la température sur les panneaux solaires :

- **Coefficient de température** : Chaque panneau solaire a un coefficient de température, qui mesure son efficacité lorsque la température augmente. L'efficacité diminue généralement de 0,5 % pour chaque augmentation de 1 °C de la température au-delà de 25 °C. Cela indique que si la température dépasse 50°C, l'efficacité du panneau solaire peut chuter jusqu'à 12,5 %.
- **Domages causés par la chaleur** : Des températures élevées peuvent endommager les matériaux utilisés dans les panneaux solaires, en particulier le câblage, le substrat et les matériaux d'encapsulation. Cela peut entraîner un délaminage, une fissuration ou même une défaillance pure.
- **Pertes thermiques** : Lorsque la chaleur créée par un panneau solaire affecte son efficacité, on parle de déperdition thermique. Cela peut se produire lorsque la température du panneau solaire est trop élevée ou trop basse. Lorsqu'un panneau solaire devient trop chaud, par exemple, une

partie de l'énergie des rayons du soleil est transformée en chaleur plutôt qu'en électricité, ce qui réduit la production du panneau.

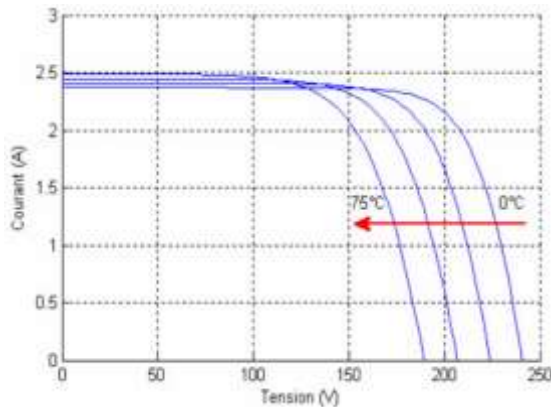


Figure II.3: La courbe de caractéristique (I-V) d'un module PV pour plusieurs valeurs de températures

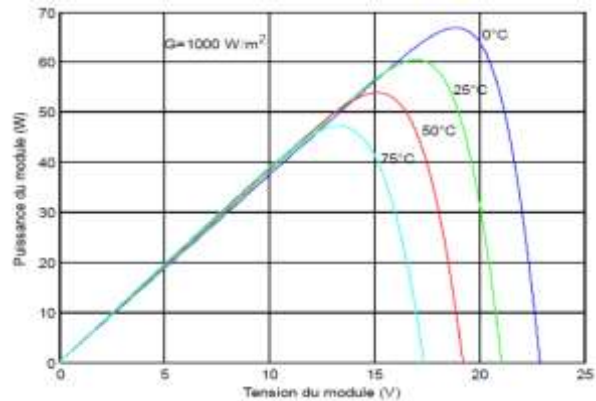


Figure II.4: La courbe de caractéristique (P-V) d'un module PV pour plusieurs valeurs de températures

II.2.3 Effet de la glace et la neige

La glace et la neige peuvent avoir une influence majeure sur les performances et l'efficacité des panneaux solaires. Voici quelques-unes des façons dont la glace et la neige peuvent endommager les panneaux solaires :

- **Réduction de la production** : La neige et la glace peuvent recouvrir les panneaux solaires, réduisant la quantité de lumière qui atteint la surface du panneau. Cela peut réduire considérablement la production et l'efficacité du panneau, ainsi que la production totale d'énergie du système de panneaux solaires [1].



Figure II.5: La neige sur des panneaux solaires

- **Dommages physiques** : Les grêlons peuvent causer des dommages physiques aux panneaux solaires, tels que des fissures, des éclats ou des déformations de la surface du module. Cela peut entraîner une diminution de l'efficacité des panneaux ou même une perte totale de production d'énergie solaire [1].



Figure II.6: L'effet des grêlons sur le module PV

II.3 Phénomène d'ombre et son effet sur les panneaux

Lorsque toutes les cellules d'un agencement en série de cellules photovoltaïques sont similaires et fonctionnent dans les mêmes conditions d'insolation et de température, l'ajout des tensions est simple. Cependant, si les cellules sont quelque peu différentes ou ne sont pas également éclairées,

le comportement électrique n'est pas facilement prévisible et dépend des caractéristiques de chaque cellule et des conditions d'éclairage [15].

Le courant dans chaque cellule d'un montage en série est le même. Si le courant de ligne dépasse la photo courant de la cellule ombrée (courant de court-circuit), ce qui se produit dans la plupart des cas, la cellule ombrée entre dans un état inversé et gaspille de l'énergie. Dans le cas de trois cellules connectées en série, une telle condition est représentée sur la figure [15].

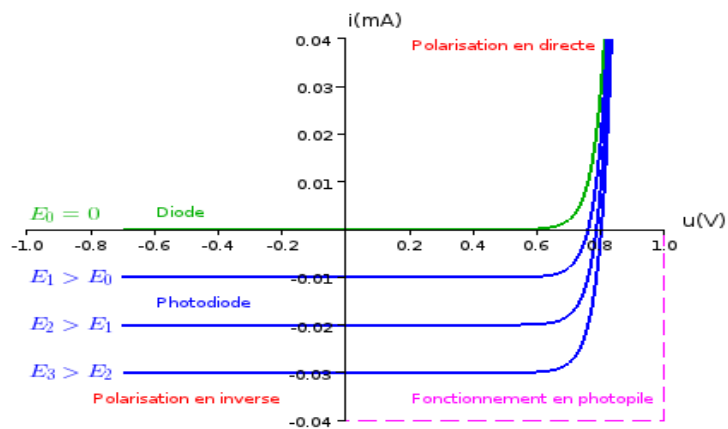


Figure II.7: Caractéristique $I - V$ d'une cellule PV

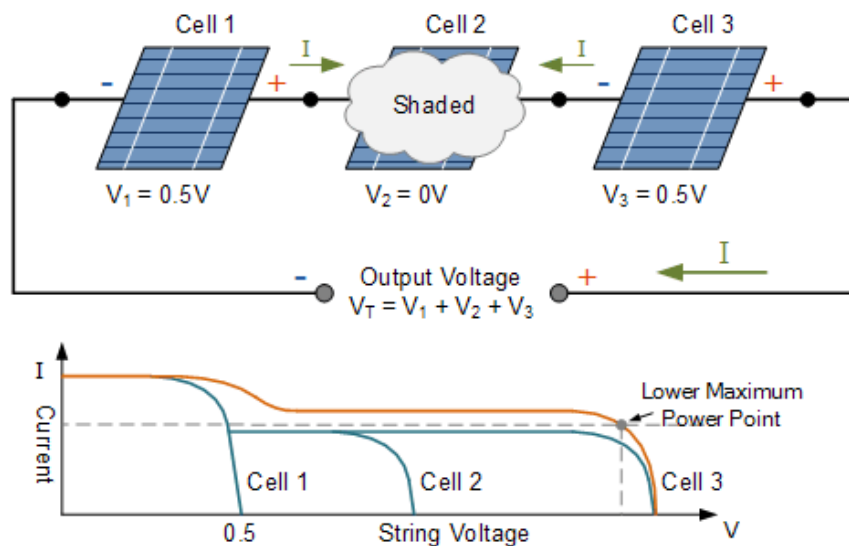


Figure II.8: Caractéristiques des cellules PV pour un courant donné (I) présence d'ombrage

Si la rangée de cellules travaille à un point de fonctionnement correspondant à un courant I_m supérieur au courant de court-circuit de la cellule hachurée (cellule 2), le point de fonctionnement du module correspond à une tension négative aux bornes de la cellule hachurée (cellule 2), permettant de dissiper l'énergie.

II.3.1 Différents types d'ombrages

Voici quelques différents types d'ombrage de panneaux solaires :

II.3.1.1 Ombrage complet

L'ombrage complet est la forme d'ombrage la plus sévère et peut avoir un impact significatif sur les performances du panneau solaire. Lorsqu'un objet empêche complètement la lumière du soleil d'atteindre le panneau solaire, la sortie du panneau tombe à zéro. Un ombrage complet peut se produire en raison de structures permanentes telles que des bâtiments ou des arbres, et il peut également se produire en raison d'obstacles temporaires tels que des nuages qui passent [16].



Figure II.9: Exemple d'un ombrage complet

II.3.1.2 Ombrage partiel

Lorsqu'un élément empêche partiellement la lumière du soleil d'atteindre le panneau solaire, on parle d'ombrage partiel. Parce qu'il limite la quantité de lumière solaire pouvant être absorbée par les cellules solaires, ce type d'ombrage peut avoir une influence substantielle sur les performances du panneau. L'ombrage partiel peut être causé par des arbres ou des bâtiments adjacents, ou par des objets en mouvement tels que des nuages ou des oiseaux qui passent [16].



Figure II.10: Exemple d'un ombrage partiel

II.3.1.3 Ombrage saisonnier

L'ombrage saisonnier se produit lorsque les éléments qui ombragent le panneau solaire changent de façon saisonnière. Les arbres qui perdent leurs feuilles en hiver, par exemple, peuvent ombrager le panneau en été mais pas en hiver. Ce type d'ombrage peut avoir une influence considérable sur les performances du panneau, entraînant une forte baisse de la production d'électricité à certaines périodes de l'année [17].



Figure II.11: Exemple d'un ombrage saisonnier

II.3.1.4 Ombrage intermittent

Lorsque les éléments qui ombragent le panneau solaire se déplacent, cela provoque un ombrage intermittent. Pendant la journée, par exemple, l'ombre d'un mât ou d'une structure voisine peut se déplacer sur le panneau, entraînant une ombre intermittente. Contrairement à l'ombre complète ou

partielle, ce type d'ombrage a une influence moins importante sur les performances du panneau, bien qu'il puisse toujours entraîner une baisse de la puissance de sortie [18].



Figure II.12: Exemple d'un Ombrage intermittent

II.3.1.5 Ombrage des bords

L'ombrage des bords se produit lorsque le bord d'un panneau solaire est ombragé, soit par l'orientation du panneau, soit par des barrières telles qu'une ligne de toit ou une structure voisine. Ce type d'ombrage peut avoir une influence considérable sur les performances du panneau car il limite la quantité de lumière solaire pouvant être absorbée par les cellules solaires près du bord du panneau [19].



Figure II.13: Exemple d'un Ombrage des bords

II.4 Protection des panneaux solaires contre les phénomènes d'ombre

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour protéger les panneaux solaires des phénomènes d'ombre, notamment le positionnement optimal des panneaux, l'installation de micro-onduleurs ou d'optimiseurs de puissance, l'ajout de diodes bypass, l'inclinaison des panneaux solaires et le rognage ou l'élimination des éléments obstruant. Ces méthodes peuvent aider à atténuer les effets de l'ombrage sur les panneaux solaires, garantissant qu'ils fournissent une production d'énergie optimale même lorsqu'ils sont partiellement ombragés [20].

II.4.1 Diode bypass

La diode bypass est un composant électrique qui peut être installé sur un panneau solaire pour empêcher l'ombrage d'affecter la sortie du panneau. C'est un type de diode qui permet au courant électrique de contourner une cellule ou un module ombragé ou non fonctionnel, permettant au reste du panneau de fonctionner à sa sortie maximale [21].

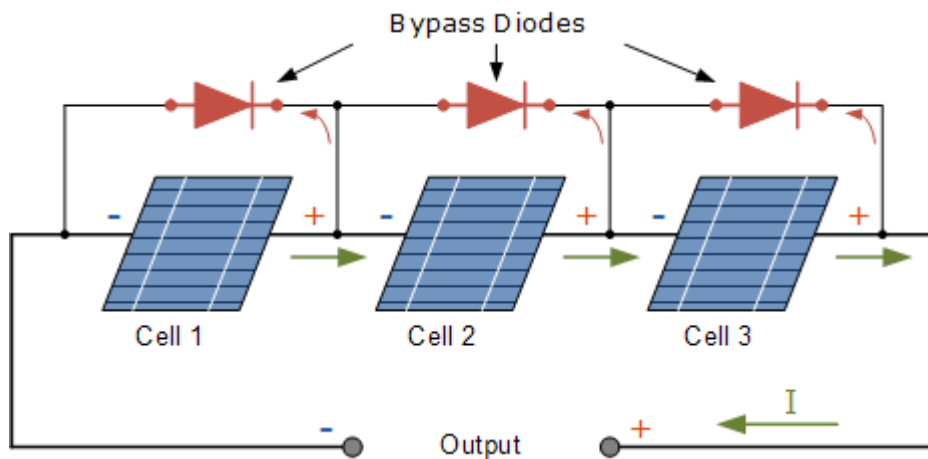


Figure II.14: Etat de fonctionnement de diode by-pass

II.4.2 Diodes anti retour

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

du string traversés par le courant inverse pourraient être également susceptibles de la défaillance. Pour éviter ces courants inverses, une diode anti-retour est placée au bout de chaque string. Afin d'éviter qu'un courant négatif (sens inverse) ne circule dans les chaînes de cellules ombragées, il leur est adjoint une diode anti retour [22].

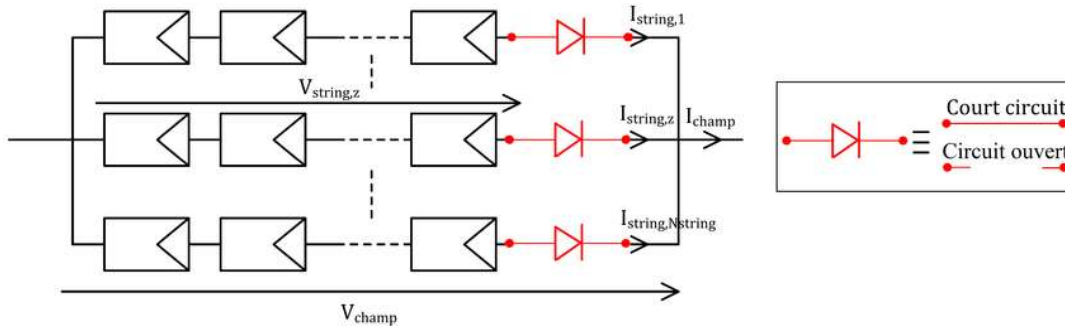


Figure II.15: Protection avec une diode anti-retour

II.4.3 L'inclinaison des panneaux solaires

Les panneaux solaires doivent être inclinés pour maximiser leurs performances. La latitude de l'emplacement détermine l'angle d'inclinaison idéal. Il est conseillé d'avoir un angle d'inclinaison égal à la latitude. Pour maximiser l'exposition directe au soleil, les systèmes de suivi solaire peuvent automatiquement ajuster l'angle d'inclinaison et l'orientation des panneaux solaires. Lors du choix de l'angle d'inclinaison pour les installations sur toiture, il est important de tenir compte de l'espace disponible et des contraintes esthétiques du toit [23].

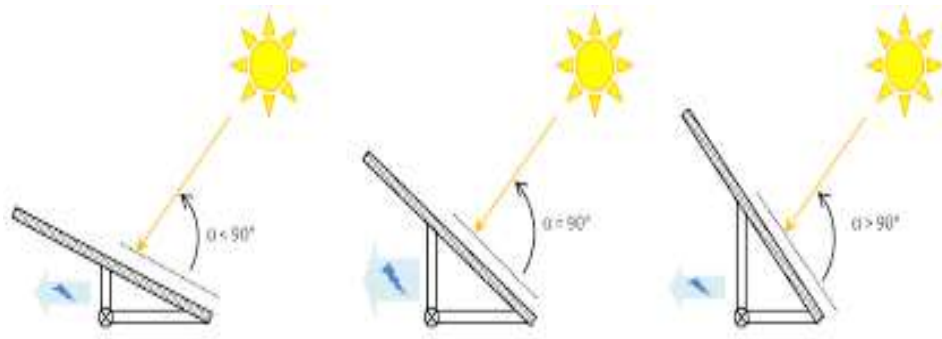


Figure II.16: Protection avec L'inclinaison des panneaux

II.4.4 L'installation de micro-onduleurs

Chaque kit solaire photovoltaïque utilise un micro-onduleur pour maximiser l'énergie produite. Si un module est à l'ombre, les autres fonctionnent toujours. Les systèmes équipés d'un micro-onduleur évitent ce problème et conservent une production des autres panneaux efficace et maximale, si auparavant, les installations solaires ne pouvaient sous aucun prétexte subir de l'ombrage sous peine d'une production globale mise en péril. La qualité des onduleurs ou micro-onduleurs est cruciale pour les kits solaires en autoconsommation. La taille réduite de ce cœur de système est définie par le terme « micro », ce qui permet de le placer facilement à l'arrière des panneaux [24].



Figure II.17: Protection avec L'installation de micro-onduleurs

II.5 Problème de poussière sur les panneaux solaires

La poussière peut s'accumuler sur les panneaux solaires de plusieurs façons. Le moyen le plus courant consiste à déposer des particules de poussière en suspension dans l'air, qui peuvent se déposer à la surface des panneaux solaires au fil du temps. Le vent peut également souffler de la poussière et d'autres débris sur les panneaux, en particulier dans les régions sèches et arides.



Figure II.18: Panneaux solaire poussiéreux

En plus de la poussière en suspension dans l'air, d'autres facteurs peuvent contribuer à l'accumulation de poussière sur les panneaux solaires. Par exemple, l'emplacement et l'orientation des panneaux peuvent influencer la quantité de poussière qu'ils accumulent. Les panneaux qui sont installés à un angle, plutôt qu'au ras du toit, peuvent être plus sujets à l'accumulation de poussière car ils sont moins susceptibles d'être nettoyés par la pluie. Un autre facteur qui peut contribuer à l'accumulation de poussière est la présence de végétation à proximité. Les arbres, arbustes et autres plantes peuvent produire du pollen, de la sève et d'autres débris qui peuvent tomber sur les panneaux solaires et s'accumuler avec le temps [1].



Figure II.19: Centrale solaire poussiéreuse

II.5.1 L'effet de la poussière accumulée sur les caractéristiques électriques

L'un des principaux impacts de l'accumulation de poussière sur les panneaux solaires est la réduction de la production électrique ou de la puissance du panneau. Lorsque la poussière s'accumule, elle peut empêcher la lumière du soleil d'atteindre les cellules. Des études ont montré que même une fine couche de poussière peut réduire l'efficacité des panneaux solaires jusqu'à 7 %, tandis qu'une forte accumulation de poussière peut réduire l'efficacité jusqu'à 30 %.

En plus de réduire la production électrique, l'accumulation de poussière peut également entraîner un phénomène connu sous le nom de points chauds. Les points chauds se produisent lorsqu'une partie du panneau solaire est ombragée ou couverte, ce qui fait que les cellules restantes produisent plus d'énergie qu'elles ne sont conçues pour en gérer. Cela peut entraîner une surchauffe des cellules et potentiellement une défaillance, ce qui peut réduire d'avantage la puissance électrique et la durée de vie du panneau [25]. Pour éviter les impacts négatifs, il est important de nettoyer régulièrement les panneaux pour éliminer toute accumulation de poussière et de débris. Cela peut être fait à l'aide d'une brosse douce, d'eau et d'un détergent doux, ou avec un équipement de nettoyage spécialisé conçu spécifiquement pour les panneaux solaires.

II.5.2 L'effet de la poussière accumulée sur le côté physique

La corrosion peut être un problème majeur pour les panneaux solaires exposés aux tempêtes de sable (par exemple les zones sahariennes). Les particules de sable projetées sur la surface des panneaux pendant une tempête de sable peuvent inclure des composés corrosifs tels que des sels ou des produits chimiques susceptibles de réagir avec les composants métalliques du panneau solaire, tels que le cadre ou les connexions électriques.

L'effet de corrosion se produit en raison de la nature abrasive des particules de sable, qui peuvent user le revêtement protecteur à la surface des panneaux solaires et les exposer aux éléments [26].



Figure II.20: L'effet de la poussière accumulée sur la cote physique du module PV

II.5.3 Augmentation de la température des modules PV due à l'accumulation de poussière

Les dépôts de poussière entraînent une élévation de la température du module, ce qui peut encore réduire l'efficacité des panneaux et diminuer leur durée de vie. Lorsque la poussière s'accumule à la surface des cellules solaires, elle peut agir comme une couche isolante, emprisonnant la chaleur et l'empêchant de se dissiper dans l'air ambiant. Cela peut entraîner une élévation de la température des cellules solaires.

L'effet du dépôt de poussière sur l'augmentation de la température du module peut varier en fonction de facteurs tels que le type et la couleur du panneau solaire, la quantité d'accumulation de poussière et les conditions climatiques locales. Des études ont montré que même une fine couche de poussière peut faire augmenter la température des panneaux solaires de plusieurs degrés Celsius, tandis qu'une forte accumulation de poussière peut faire augmenter les températures jusqu'à 20 degrés Celsius ou plus [27].

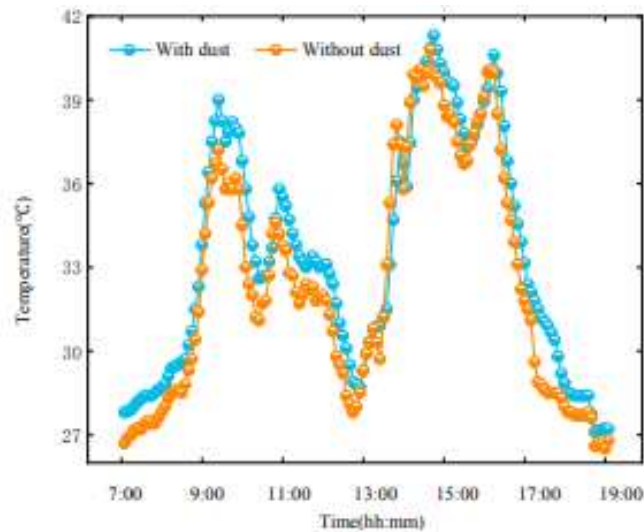


Figure II.21: Effet de la poussière sur la température de surface PV [28]

II.6 Le nettoyage des panneaux solaires

Le nettoyage des panneaux solaires est essentiel pour maintenir leurs performances optimales et profiter au maximum des avantages de l'énergie solaire. Un nettoyage régulier offre de nombreux avantages qui en font une pratique intéressante. Tout d'abord, le nettoyage élimine la saleté, la poussière, le pollen, les excréments d'oiseaux et autres débris qui s'accumulent à la surface des panneaux solaires.

Ces obstructions peuvent réduire considérablement l'efficacité des panneaux en bloquant la lumière du soleil et en inhibant leur capacité à convertir l'énergie solaire en électricité. En nettoyant les panneaux, leur production d'énergie peut être considérablement augmentée, ce qui entraîne une production d'électricité plus élevée et une amélioration des performances globales du système. Deuxièmement, le nettoyage des panneaux solaires aide à prévenir la formation de tâches ou de revêtements tenaces qui peuvent se développer avec le temps.

Ces tâches peuvent être causées par des dépôts minéraux, de l'eau dure ou des polluants environnementaux, et elles peuvent altérer la transparence et la capacité d'absorption de la lumière des panneaux. Un nettoyage régulier minimise le risque de telles tâches, garantissant que les panneaux restent clairs et transparents pour une absorption maximale de la lumière du soleil [29].

II.7 Types de nettoyage de panneaux solaires

Il existe plusieurs types de systèmes de nettoyage de panneaux solaires, chacun avec ses propres caractéristiques et méthodes de fonctionnement. Voici quelques types courants de systèmes de nettoyage de panneaux solaires.

II.7.1 Nettoyage manuel

Il s'agit de la méthode la plus simple, impliquant le nettoyage manuel des panneaux solaires à l'aide d'eau, d'une brosse douce et d'une raclette. Il nécessite un accès physique aux panneaux et convient aux installations à petite échelle ou aux panneaux individuels [30].



Figure II.22: Image montrant le processus de nettoyage manuel

II.7.1.1 L'inconvénient de nettoyage manuel

- Il peut être dangereux car il implique de monter sur le toit ou sur une structure, ce qui augmente le risque de chutes et de blessures.
- Le nettoyage manuel peut également être chronophage, en particulier pour les grands systèmes solaires, nécessitant du temps et de l'effort pour nettoyer chaque panneau individuellement.

- L'utilisation d'une grande quantité d'eau pour le nettoyage manuel peut entraîner un gaspillage des ressources en eau.
- Certains systèmes de panneaux solaires peuvent être difficiles d'accès, rendant le nettoyage manuel compliqué voire impossible.
- Les panneaux solaires sont également sensibles aux rayures, ce qui peut se produire même en utilisant des chiffons doux et des brosses non abrasives.

II.7.2 Systèmes de gicleurs d'eau

Ces systèmes utilisent un réseau de gicleurs ou de pulvérisateurs pour répartir l'eau uniformément sur la surface des panneaux solaires. La force de l'eau déloge la saleté et les débris, qui sont ensuite rincés. Certains systèmes avancés peuvent incorporer des brosses rotatives ou des épurateurs pour un nettoyage plus efficace [30].



Figure II.23: Nettoyage avec gicleurs d'eau

II.7.2.1 L'inconvénient de Systèmes de gicleurs d'eau

- Coût initial : L'installation d'un système de gicleurs d'eau peut être un investissement important au début. L'achat et l'installation du système lui-même, ainsi que la mise en place d'une source d'eau appropriée, comme une connexion au réseau d'eau ou un réservoir dédié, sont inclus dans les coûts.
- Les systèmes de gicleurs d'eau nécessitent beaucoup d'eau pour fonctionner correctement.

- **Risque de panne** : Des problèmes tels que des fuites, des obstructions ou des pannes de pompes peuvent perturber le processus de nettoyage et nécessiter des réparations immédiates.

II.7.3 Systèmes de nettoyage avec brosse

Les systèmes de nettoyage à brosse consistent en des brosses rotatives fixées à un bras mécanique. Ces brosses se déplacent sur les panneaux, agitant et délogeant la saleté et la crasse. L'eau est souvent pulvérisée simultanément pour faciliter le nettoyage. Les systèmes de nettoyage à brosse offrent une solution fiable et efficace pour maintenir la propreté des panneaux solaires, en particulier dans les grandes installations. Ils peuvent réduire considérablement les efforts manuels et améliorer l'efficacité du nettoyage, contribuant ainsi aux performances à long terme et à la production d'énergie du système d'énergie solaire [30].



Figure II.24: Nettoyage avec brosse semi-automatique

II.7.3.1 L'inconvénient de systèmes de nettoyage avec brosse

- **Risque d'endommagement** : Bien que les brosses soient généralement conçues pour être douces et ne causer pas de dommages aux panneaux solaires, il existe toujours un risque de rayures ou d'abrasions.

- **Il est nécessaire d'avoir une source d'électricité** : Pour alimenter le bras mécanique et les brosses rotatives des systèmes de nettoyage à brosse, une alimentation électrique est nécessaire.
- **Conditions d'accès** : L'accès aux panneaux solaires peut être difficile pour les systèmes de nettoyage à brosse dans certaines installations solaires, en particulier sur des toits inclinés ou dans des configurations complexes.
- **Dépendance aux conditions météorologiques** : Les conditions météorologiques défavorables peuvent rendre les systèmes de nettoyage à brosse moins efficaces.

II.7.4 Nettoyage robotisé horizontalement

Les systèmes de nettoyage automatiques qui se déplacent horizontalement offrent des solutions de nettoyage efficaces et pratiques pour les panneaux solaires. Leur capacité à couvrir une grande surface et à effectuer des cycles de nettoyage réguliers avec une intervention manuelle minimale les rend adaptés aux installations nécessitant un nettoyage fréquent et constant [30].



Figure II.25: Nettoyage intelligent et automatique des panneaux solaires

Voici quelques détails sur ce type de système de nettoyage automatique horizontal :

II.7.4.1 Système de voie ou de rail

Le système de nettoyage est monté sur une structure de voie ou de rail qui lui permet de se déplacer horizontalement à travers le réseau de panneaux solaires. Le rail peut être installé au-dessus des panneaux ou au niveau du sol, selon les exigences spécifiques de conception et d'installation.

II.7.4.2 Mouvement motorisé

Le système de nettoyage est équipé de mécanismes motorisés qui facilitent le mouvement horizontal le long de la voie ou du rail. Les moteurs entraînent l'appareil de nettoyage en douceur et à une vitesse contrôlée pour assurer une couverture de nettoyage complète et efficace.

II.7.4.3 Système de contrôle programmable

Le système de nettoyage automatique est équipé d'un système de contrôle qui permet la programmation et la planification des cycles de nettoyage. Les opérateurs peuvent définir des paramètres spécifiques tels que la fréquence de nettoyage, la durée et la vitesse de déplacement. Cette programmabilité garantit que le processus de nettoyage est adapté aux exigences du système d'énergie solaire.

II.7.4.4 Surveillance et rapports

Certains systèmes de nettoyage automatique qui se déplacent horizontalement offrent des capacités de surveillance et de rapport. Ils peuvent fournir des données en temps réel sur la progression du nettoyage, la consommation d'eau et les mesures de performance. Ces informations peuvent être utilisées à des fins de maintenance, d'analyse d'efficacité et d'optimisation des performances.

II.7.4.5 Évolutivité

Les systèmes de nettoyage mobiles horizontaux conviennent aux panneaux solaires à petite et à grande échelle. La structure de la voie ou du rail peut être personnalisée et étendue pour s'adapter à des réseaux de différentes tailles et configurations.

II.8 Conclusion

Dans ce chapitre l'essentiel de comprendre l'influence des facteurs climatiques sur les panneaux solaires photovoltaïques afin d'améliorer leur efficacité et leur durabilité. L'ensoleillement, la température, la présence de glace et de neige, ainsi que les phénomènes d'ombrage et la poussière peuvent tous avoir un impact significatif sur les performances des panneaux solaires. Pour atténuer ces effets néfastes et garantir une production d'énergie solaire optimale, plusieurs mesures peuvent être prises, notamment l'installation de diodes de dérivation, l'optimisation de l'inclinaison des panneaux solaires, l'utilisation de micro-onduleurs et la réduction des éléments obstruant.

CHAPITRE III

RÉALISATION DU

PROTOTYPE D'UN

NETTOYEUR DES PANNAUX

SOLAIRE

III.1 Introduction

Ce chapitre se concentre sur l'aspect appliqué de développement du dispositif de nettoyage des panneaux solaires, détaillant les étapes clés qui ont conduit à la réalisation du modèle final de la machine. Nous débutons par une description approfondie l'étape de conception, au cours de laquelle nous avons élaboré des plans et des schémas détaillés du dispositif, en tenant compte des caractéristiques spécifiques des panneaux solaires ainsi que des exigences en matière de nettoyage. Ensuite, nous exposons en détail l'étape d'assemblage des pièces, mettant en évidence les procédures et les techniques utilisées pour construire la machine selon les spécifications préétablies. Enfin, nous abordons l'étape de programmation de la machine, décrivant comment nous avons développé un système automatisé pour assurer le fonctionnement optimal du dispositif. Enfin, nous présentons les résultats des tests et des expériences pratiques réalisés sur la machine, fournissant une évaluation objective de son efficacité et de ses performances.

III.2 Problématique

III.2.1 Le contenu général du projet

Le nettoyage des panneaux solaires est souvent associé aux énergies renouvelables et aux activités environnementales.

Le projet de nettoyage de panneaux solaires, en particulier, peut être classé dans les disciplines plus larges de l'énergie renouvelable, de l'efficacité énergétique ou de la maintenance et des opérations. Il s'agit de nettoyer et d'entretenir les panneaux solaires pour garantir une production d'énergie maximale. Des activités telles que la planification et l'exécution d'un nettoyage régulier, l'évaluation des panneaux pour détecter les dommages ou la saleté et l'application des meilleures pratiques pour augmenter la production d'énergie peuvent être incluses dans ce projet.

III.2.2 L'objectif principal du projet

L'objectif principal du projet est de réaliser un nettoyeur des panneaux solaires avec caméra thermique qui détecte les défauts et les points chauds sur les panneaux. Quant au nettoyage des panneaux solaires, il s'agit d'assurer une performance et une efficacité optimale des panneaux

solaires en éliminant la poussière, la saleté et autres débris qui peuvent s'accumuler sur leurs surfaces. Un nettoyage régulier aide à maintenir la transparence des panneaux, leur permettant d'absorber le maximum de lumière solaire. Le projet vise à maximiser la production d'énergie et la productivité globale de l'installation solaire.

Pour la détection de panne avec une caméra thermique, l'objectif principal est d'identifier tout problème ou dysfonctionnement potentiel des panneaux solaires en détectant les changements de température. Une caméra thermique peut détecter des modèles de chaleur anormaux, appelés points chauds, qui peuvent indiquer des défauts, des cellules endommagées ou des connexions défectueuses dans les panneaux. En identifiant ces erreurs et en les traitant tôt, le projet vise à prévenir d'autres dommages, à améliorer les performances de l'installation solaire et à assurer la longévité des panneaux.

III.3 Description de la partie matérielle

III.3.1 Carte ARDUINO

Arduino est une plate-forme électronique open source conviviale qui se compose d'une carte programmable et d'un logiciel. Il est largement utilisé pour le prototypage, la robotique, la domotique et d'autres applications impliquant l'informatique physique [31].

III.3.2 Carte ARDUINO UNO

Arduino UNO est une carte microcontrôleur basée sur ATmega328P. Il possède 14 broches d'entrée/sortie numériques (dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 6 entrées analogiques, un résonateur céramique 16 MHz, une connexion USB, une prise d'alimentation, une embase ICSP et un bouton de réinitialisation. Il contient tout le nécessaire pour prendre en charge

le microcontrôleur ; connectez-le simplement à un ordinateur avec un câble USB ou alimentez-le avec un adaptateur AC-DC ou une batterie pour commencer. L'UNO est la carte la plus utilisée et la plus documentée de toute la famille Arduino et est considérée comme la meilleure carte pour débiter avec l'électronique et le codage [31].

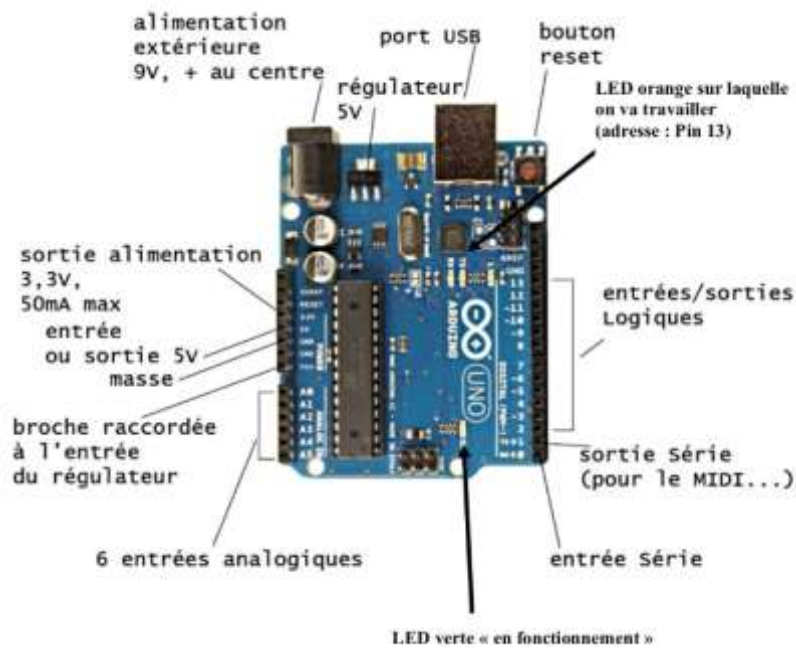


Figure II.26: Carte ARDUINO UNO

III.3.2.1 Fiche technique d'un ARDUINO UNO

Table II-1: Fiche technique d'un ARDUINO UNO

Microcontrôleur	ATmega328
Fréquence horloge	16 mhz
Tension de fonctionnement	5v
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12v
Tension d'alimentation (limite)	6-20v
Broches E/S numériques	14(dont 6 disposent d'une sortie PWM représenté par le symbole tilde)
Broches d'entrées analogiques	6(utilisables en broches E/S numériques)

Intensité maxi disponible par broche E/S (5v)	40mA (attention 200 mA max total entrée /sortie cumulées)
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3v	50 Ma
Intensité maxi disponible pour la sortie 5v	500 mA max sur port USB
Mémoire programme flash	32 kb (AT Mēga 328) dont 0.5 kb sont utilisés par le boot loader (charger d'amorçage)
Interface	USB (permet d'alimenté la carte et de transféré les programmes vers la carte)
Alimentation externe	Jack
Dimensions	6.86cm*5.3cm

III.3.3 Moteur driver L298N

Le L298N est un circuit intégré (IC) de pilote de moteur populaire couramment utilisé dans la robotique et d'autres projets nécessitant le contrôle de moteurs à courant continu ou de moteurs pas à pas. Il est conçu pour gérer les applications à courant élevé et fournit un contrôle bidirectionnel pour deux moteurs simultanément.

Le circuit intégré L298N intègre deux circuits en pont en H, qui lui permettent de contrôler indépendamment la direction et la vitesse de deux moteurs. Chaque pont en H se compose de quatre transistors de puissance à travers le moteur. Cette commande bidirectionnelle permet des actions avant, arrière et de freinage pour les moteurs [32].

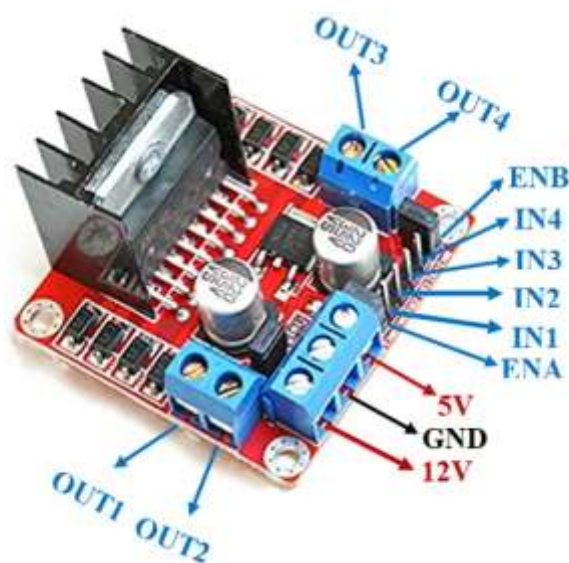


Figure II.27 Moteur driver L298N

III.3.4 Panneau solaire

Panneau solaire de 100 w monocristallin avec anti-réflexion. Ce panneau solaire est généralement utilisé pour des applications de petite échelle, telles que : alimentation électrique autonome, éclairage extérieur, rechargement des batteries et installer dans les sites isolée.



Figure II.28:Panneau solaire

III.3.4.1 Caractéristiques techniques et mécaniques de ce panneau

Table II-2:Caractéristiques techniques du panneau

Type de module	unité	CEM95M-36	CEM100M-36
Puissance nominale	WC	95	100
Tension en circuit ouvert (voc)	V	22.3	22.30
courant de court-circuit isc	A	5.84	5.84
Tension mpp Vmpp	V	18.30	18.50
Courant mpp Impp	A	5.18	8.41
Tension maximale du système	V		1000
Charge maximale de fusibles (A)	A		10
Facteur de température (cellule) :			
Température nominale de fonctionnement		NOCT	45+-2°C
Coefficient de température de puissance		%/°C	-0.41
Coefficient de température de courant		%/°C	+0.06
Coefficient de température de voltage		%/°C	-0.32

Table II-3:Caractéristiques mécaniques du panneau

Type de cellule	Cellule monocristalline avec anti-réflexion
Nombre de cellules par module	36 cellules (4*9)
Dimensions de la cellule	123*123mm
Dimension du module	1200/553/35mm
Poids du module	8 kg
Cadre	Alliage en aluminium anodisé
Type de verre	Verre trempé, 3.2 mm d'épaisseur
Boîte de jonction et connecteur	IP65 ;3 diodes by-pass et câbles compatibles avec un connecteur MC4
Température d'utilisation	-40°C a 85°C

III.3.5 Régulateur de charge solaire

Un contrôleur de charge solaire, également connu sous le nom de régulateur solaire, est un dispositif utilisé dans les systèmes d'énergie solaire pour réguler la charge des batteries à partir de panneaux solaires. Sa fonction principale est de contrôler le flux d'énergie électrique entre les panneaux solaires et les batteries, en évitant la surcharge ou la décharge profonde des batteries [33].



Figure II.29:Régulateur de charge solaire 12V-24V 10A

III.3.6 Batterie lithium

Une batterie au lithium est une batterie rechargeable qui utilise des ions lithium pour stocker et libérer de l'énergie électrique. Elle est connue pour sa densité d'énergie élevée, sa longue durée de vie et son taux d'autodécharge relativement faible. Les batteries au lithium sont couramment utilisées dans les appareils électroniques portables et les véhicules électriques en raison de leur

nature légère, de leur capacité énergétique élevée et de leur capacité à fournir une puissance constante [34] . Dans notre projet on a utilisé batterie lithium de 12 v / 15 Ah.



Figure II.30: Batterie lithium

III.3.7 Moteur DC

Un moteur à courant continu est un moteur électrique qui fonctionne au courant continu (CC) et convertit l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation. Il se compose d'une partie fixe appelée stator, qui contient des aimants ou des bobines électromagnétiques, et d'une partie rotative appelée rotor, qui porte l'induit et le collecteur. Lorsqu'un courant électrique traverse le rotor, il interagit avec le champ magnétique créé par le stator, générant un mouvement de rotation. Les moteurs à courant continu sont largement utilisés dans diverses applications, notamment les machines industrielles, les véhicules électriques, la robotique, les appareils électroménagers et de nombreux autres appareils nécessitant un mouvement mécanique contrôlé. Ils sont appréciés pour leur simplicité, leur contrôlabilité et leur capacité à fournir un couple de démarrage élevé et une régulation de la vitesse [35] .

Pour notre projet, nous avons utilisé des moteurs d'essuie-glace de 12V /50W en raison de leur prix raisonnable et de leur couple élevé.



Figure II.31: Moteur courant continu 12V 30W

III.4 Description de la partie logicielle

Pour mettre en œuvre notre projet et l'exploiter correctement, nous avons utilisé deux types de logiciels. Le premier logiciel nous a servi à réaliser la structure générale et mécanique de l'appareil en utilisant la technologie tridimensionnelle. Le deuxième logiciel nous a utilisés pour programmer la façon dont le système fonctionne automatiquement.

III.4.1 Logiciel SKETCHUP

Sketch Up est un logiciel de modélisation 3D qui permet aux utilisateurs de créer et de manipuler des modèles numériques dans un environnement convivial et intuitif. Il fournit une gamme d'outils et de fonctionnalités pour dessiner, extruder, faire pivoter, mettre à l'échelle et texturer des objets 3D. Les utilisateurs peuvent facilement naviguer et explorer leurs modèles en temps réel, en les visualisant sous différents angles et perspectives. Sketch Up propose une bibliothèque de composants, de textures et de matériaux prédéfinis, et prend également en charge l'importation et l'exportation de divers formats de fichiers.

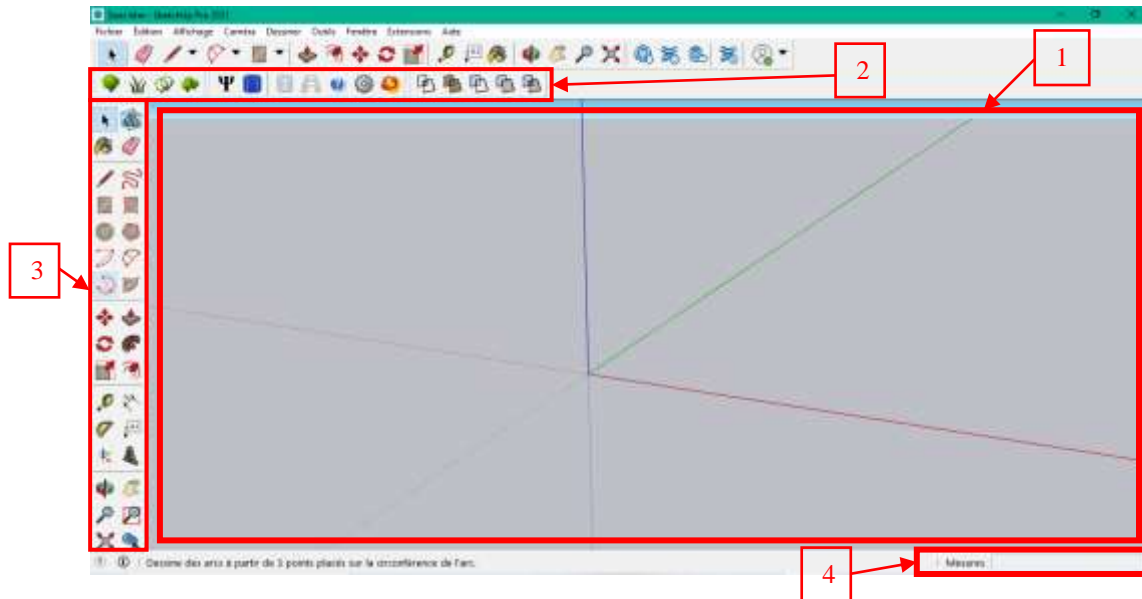


Figure II.32: Interface utilisateur du programme SKETCHUP

- 1) Le plant de travail.
- 2) Barre d'outils des composants.
- 3) Barre d'outils.
- 4) Barre de mesure de la longueur.

III.4.2 Logiciel ARDUINO IDE

Arduino IDE est un logiciel qui permet de programmer les cartes Arduino. Il a une interface facile à utiliser et vous pouvez écrire votre code dans l'éditeur. Le langage de programmation utilisé est basé sur le C/C++. Il y a aussi des bibliothèques de code pré faites pour ajouter des fonctionnalités supplémentaires à votre projet. Une fois que vous avez écrit votre code, vous pouvez le compiler et le télécharger sur votre carte Arduino.

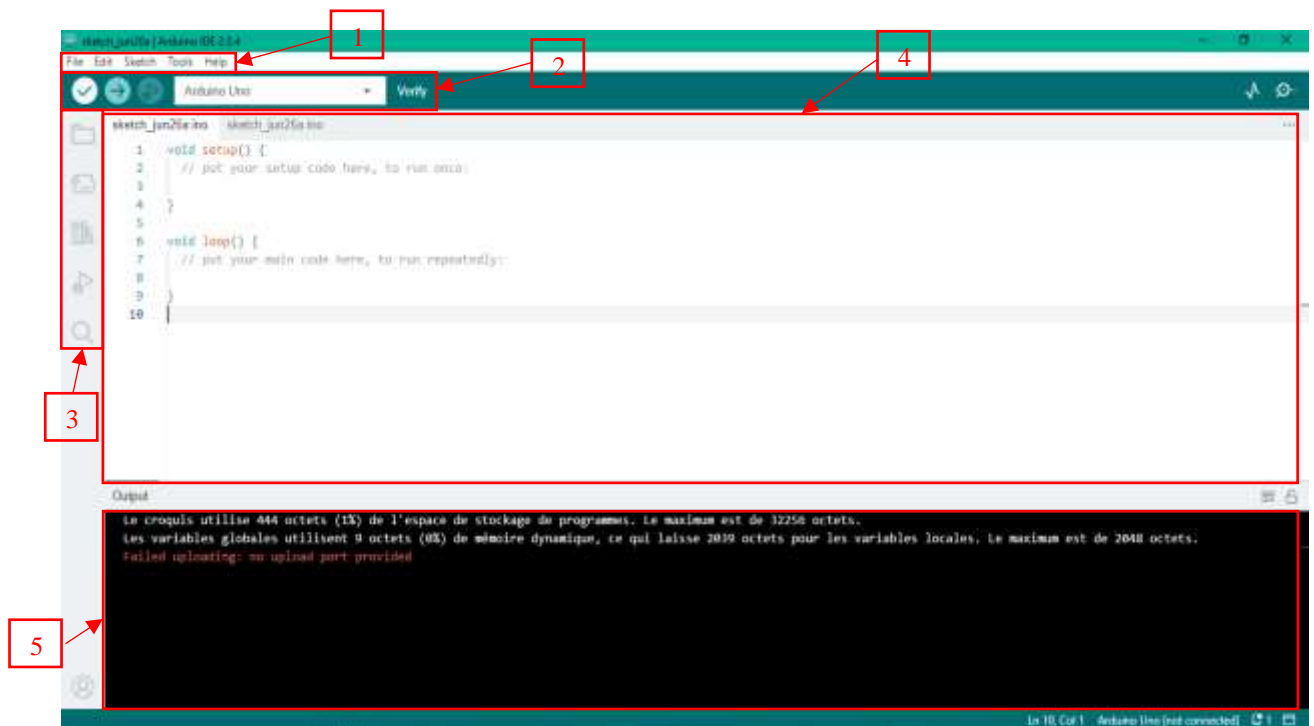


Figure II.33: Interface utilisateur du programme Arduino IDE

- 1) Menus.
- 2) Barre d'outils.
- 3) Bibliothèque.
- 4) Editeur de code.
- 5) Programme notification.
- 6)

III.5 Étapes de réalisation de projet

III.5.1 Dimensionnement du système

L'étape de dimensionnement d'un système de nettoyage de panneaux solaires est essentielle pour assurer son bon fonctionnement. Elle consiste à déterminer la puissance requise du panneau solaire, la période de besoin en électricité et la consommation énergétique nécessaire.

III.5.1.1 Description de notre système

Voici une description de notre système, comprenant 3 moteurs de 30W, un Arduino UNO et un moteur driver L298N. Nous avons déterminé la consommation énergétique de chaque appareil par heure et calculé l'énergie totale consommée par jour.

Table II-4: Consommation du système pendant une journée

Les charges	Puissance de chaque appareil (W)	Durée d'utilisation (h)	Energie journalier (Wh)
3 Moteurs	30W	3 heures	270 Wh
ARDUINO	6W	3 heures	18 Wh
La somme			288 Wh

III.5.2 Etapes de dimensionnement de l'installation

Pour dimensionner le système avec trois moteurs de 30 watts chacun, ainsi qu'un Arduino UNO et un panneau solaire de 100 watts, voici les étapes à suivre :

III.5.2.1 Puissance crête du champ photovoltaïque (W_c)

La consommation énergétique quotidienne du système est de 96 Wh. En supposant un ensoleillement moyen de 4,5 heures par jour, la puissance crête du panneau solaire peut être calculée comme suit :

$$P_{\text{crête}} = \frac{E_c}{E_s} = \frac{96}{4,5} = 64 W_c$$

$P_{\text{crête}}$: Puissance crête du champ PV en (Watt). E_c : Energie consommée en (Wh).

E_s : Ensoleillement. La tension du système (12V) sera déterminée par la puissance crête des panneaux découverts.

III.5.2.2 Dimensionnement des panneaux photovoltaïques

Cette étape consiste à déterminer le nombre de modules solaires nécessaires pour répondre à ces demandes de puissance. Le module de type monocristallin utilisé dans notre étude a une puissance idéale de $P_c = 100 \text{ Wc}$.

Le nombre de modules à installer se calcule par :

$$N_{PV} = \frac{P_c}{P_{PVuni}} = \frac{64}{100} = 0,64 \approx 1$$

Nous avons besoin d'un panneau solaire.

III.5.2.3 Dimensionnement des batteries

Le dimensionnement des batteries dépend de la capacité de stockage nécessaire pour assurer l'autonomie du système pendant les jours de mauvais temps.

Utilisons une autonomie de 1 jour pour le système et la consommation énergétique quotidienne est de 288 Wh.

La capacité des batteries (C_b) peut être calculée comme suit :

$$C_b = \frac{E_c \times Aut}{U_{bat} \times P_{dd} \times \eta_b} = \frac{288 \times 1}{12 \times 0,8 \times 0,9} = 33,33 \text{ Ah}$$

C_b : La capacité nominale des batteries. E_c : Energie consommée en (Wh).

Aut : Le nombre de jour d'autonomie. U_{bat} : La tension nominale des batteries.

P_{dd} : La profondeur de décharge des batteries. η_b : Rendement de la batterie.

Il est recommandé d'utiliser des batteries d'une capacité d'au moins 33 Ah pour assurer l'autonomie du système.

III.6 Les étapes de réalisation du système

Pour terminer notre système de nettoyage, nous devons passer par plusieurs étapes, qui sont énumérées ci-dessous :

La première étape

La première étape du processus de conception a débuté par l'établissement d'un schéma initial au moyen d'un dessin à main levée sur papier. Nous avons réalisé une esquisse préliminaire afin d'esquisser les principaux éléments et dimensions de l'appareil. Ce schéma initial a servi de point de départ pour la conception plus précise.

Par la suite, nous avons utilisé un logiciel de conception en 3D (sketch up) pour créer un modèle numérique détaillé de la structure de l'appareil. Ce logiciel nous a permis de générer des représentations tridimensionnelles précises de chaque composant et de les assembler virtuellement pour évaluer leur ajustement et leur fonctionnement et visualiser l'appareil sous différents angles.



Figure II.34: Conception 3D initiale

La deuxième étape

La deuxième étape de la conception et de la planification consiste à concevoir la structure du système de nettoyage des panneaux solaires. Pour assurer à la fois la légèreté et la rigidité, nous avons opté pour une structure démontable en aluminium. La structure est composée de quatre parties de base.

Les deux premières pièces sont des supports mesurant (30*67*30). À l'intérieur de ces supports, nous intégrons les moteurs, la batterie, le régulateur et les composants électroniques nécessaires au fonctionnement du système. À l'extérieur, ces supports sont équipés de roues qui assurent le mouvement de l'équipement, ainsi que d'autres roues qui contribuent à maintenir l'équilibre du système pendant son fonctionnement.

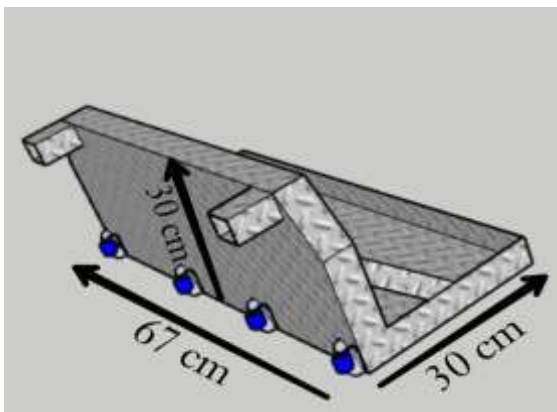


Figure II.35: Photo de la pièce en 3D



Figure II.36: Photo de la pièce en réalité

La troisième pièce de la structure est composée de deux tubes carrés en aluminium mesurant deux mètres de long. Ces tubes sont utilisés comme passerelle pour les fils électriques du système. Ils offrent une solution pratique pour acheminer les câbles de manière organisée et sécurisée, en les protégeant contre les dommages éventuels.



Figure II.37: Photo du rassemblement des trois pièces



Figure II.38: Photo du tube carré en réalité

La quatrième pièce de la structure du système de nettoyage des panneaux solaires est constituée d'un matériau léger et résistant à la corrosion. Cette structure extérieure est conçue pour assurer la durabilité du système, en le protégeant contre les effets néfastes de l'environnement extérieur tels que la rouille ou la dégradation due aux conditions météorologiques

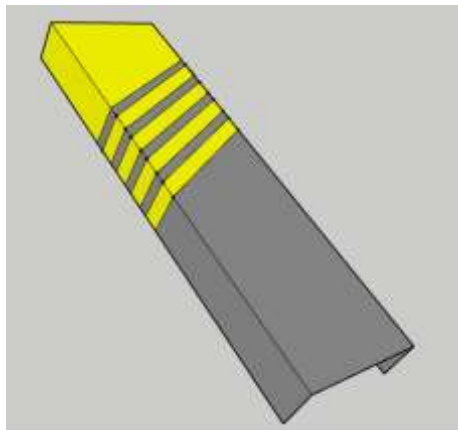


Figure II.39: La structure extérieure du système

La troisième étape

La troisième étape du processus consiste à installer les trois moteurs du système de nettoyage des panneaux solaires. Deux des moteurs sont fixés aux roues et sont chargés de générer le mouvement de l'appareil. Ils sont responsables de la propulsion et du déplacement du système sur la surface des panneaux solaires.

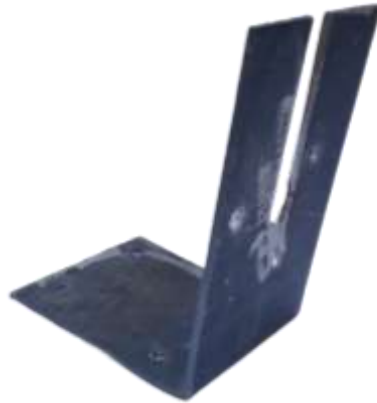


Figure II.40: Support du moteur

La quatrième étape

La quatrième étape du processus consiste à installer les roues du système de nettoyage des panneaux solaires. Les roues sont de deux types différents, chacune ayant un rôle spécifique dans le fonctionnement du système.

Les premières roues sont fixées directement aux moteurs et sont responsables de générer le mouvement de l'appareil. Elles sont conçues pour assurer une propulsion fluide et contrôlée, permettant ainsi au système de se déplacer sur la surface des panneaux solaires.



Figure II.41: Roue gommée

Les deuxièmes roues sont montées sur le châssis du système et ont pour rôle principal de maintenir l'équilibre de l'appareil pendant son fonctionnement. Elles sont positionnées de manière stratégique pour assurer une répartition équilibrée du poids et une stabilité optimale, ce qui permet au système de se déplacer en toute sécurité sur les panneaux solaires.



Figure II.42: Roues pour l'équilibre

La cinquième étape

Nous avons incorporé des roulements pour faciliter la rotation fluide et efficace des brosses et des roues. En intégrant des roulements dans notre conception, nous avons pu garantir une réduction des pertes d'énergie liées aux frottements, ce qui améliore les performances globales de l'appareil.



Figure II.43: Les roulements

La sixième étape

La sixième étape du processus implique l'assemblage de la brosse du système de nettoyage des panneaux solaires. La brosse est construite à partir d'un tube cylindrique en aluminium mesurant deux mètres de longueur. Les poils de la brosse sont en plastique souple et sont fixés sur toute la surface du tube cylindrique. Pour garantir la solidité et la stabilité de l'assemblage, la brosse est solidement fixée au moteur à l'aide de vis. Cette fixation robuste permet un remplacement aisé de la brosse en cas de besoin.



Figure II.44: La brosse de nettoyage

La septième étape

La septième étape du processus implique l'installation du mécanisme de pulvérisation d'eau du système de nettoyage des panneaux solaires. Elles émettent des jets d'eau qui aident à éliminer la saleté, la poussière et les autres contaminants des panneaux.



Figure II.45: L'installation d'eau

La huitième étape

Pour tester le dispositif de nettoyage des panneaux et son efficacité, nous avons installé 3 panneaux solaires mesurant 2 mètres.



Figure II.46: Les panneaux solaires installés

L'étape finale

La dernière étape du processus consiste à effectuer l'assemblage final de l'appareil de nettoyage des panneaux solaires. L'assemblage comprend la mise en place de toutes les pièces préalablement préparées, telles que la structure en aluminium, les moteurs, la brosse, le mécanisme de pulvérisation d'eau, les roues et les éléments de contrôle.

Chaque pièce est soigneusement positionnée et fixée conformément aux plans de conception. Les connexions électriques et les câblages sont également effectués, en veillant à ce que tous les composants fonctionnent correctement et soient correctement alimentés.

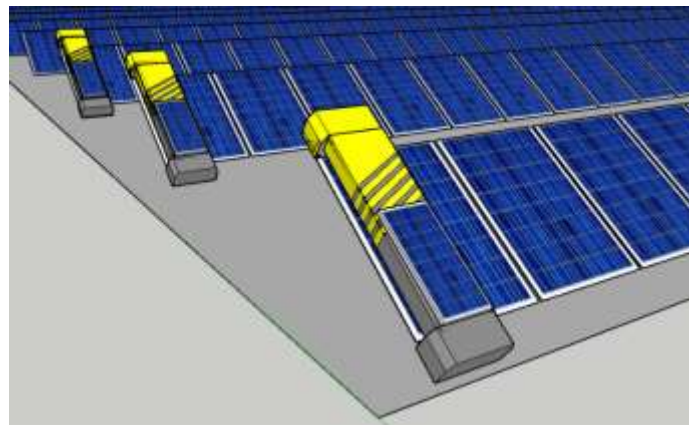


Figure II.47: Conception 3D de l'appareil installé sur les panneaux



Figure II.48: Photo de l'appareil réel installé sur les panneaux

III.6.1 Le schéma électrique de système

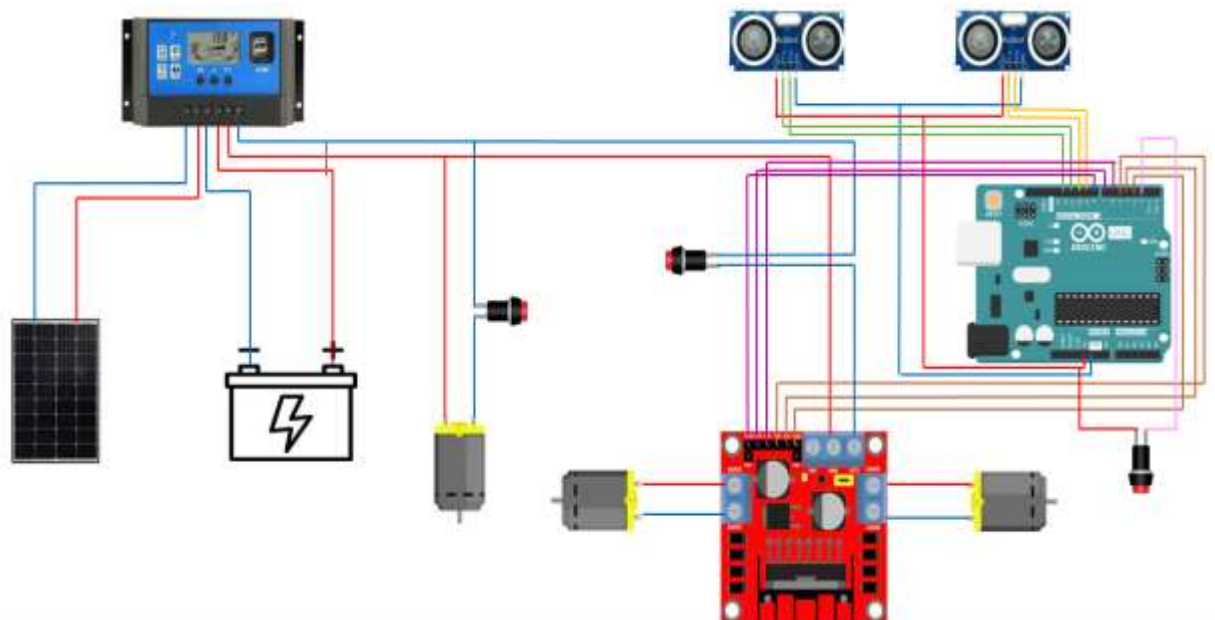


Figure II.49: Le schéma électrique de system

III.7 Résultats et discussion

III.7.1 Teste de l'effet de la poussière sur le rendement des panneaux



Figure II.51: Panneau solaire avant nettoyage



Figure II.25 Panneau solaire après nettoyage



Figure II.50: multimètre de test

Pour vérifier l'effet de la poussière sur les performances des panneaux, nous avons effectué des tests réels sur le terrain, et les résultats présentés dans le tableau suivant :

Table II-5: Le résultat de test l'effet de la poussière

Panneau solaire de 300W / 45,60 V / 8,88 A	La tension de panneau en circuit ouvert (V)	Le courant de panneau en circuit ouvert (A)	La puissance de panneau (W)	Pourcentage parraport la puissance crête du module PV (300 w)
Panneau solaire complètement poussiéreux	37,1 V	0,43 A	15,95 W	5%
Panneau solaire partiellement poussiéreux	39,7 V	6,07 A	241,58 W	80,52%
Panneau solaire entièrement nettoyé	43,1 V	6,76 A	287,47	95,82 %

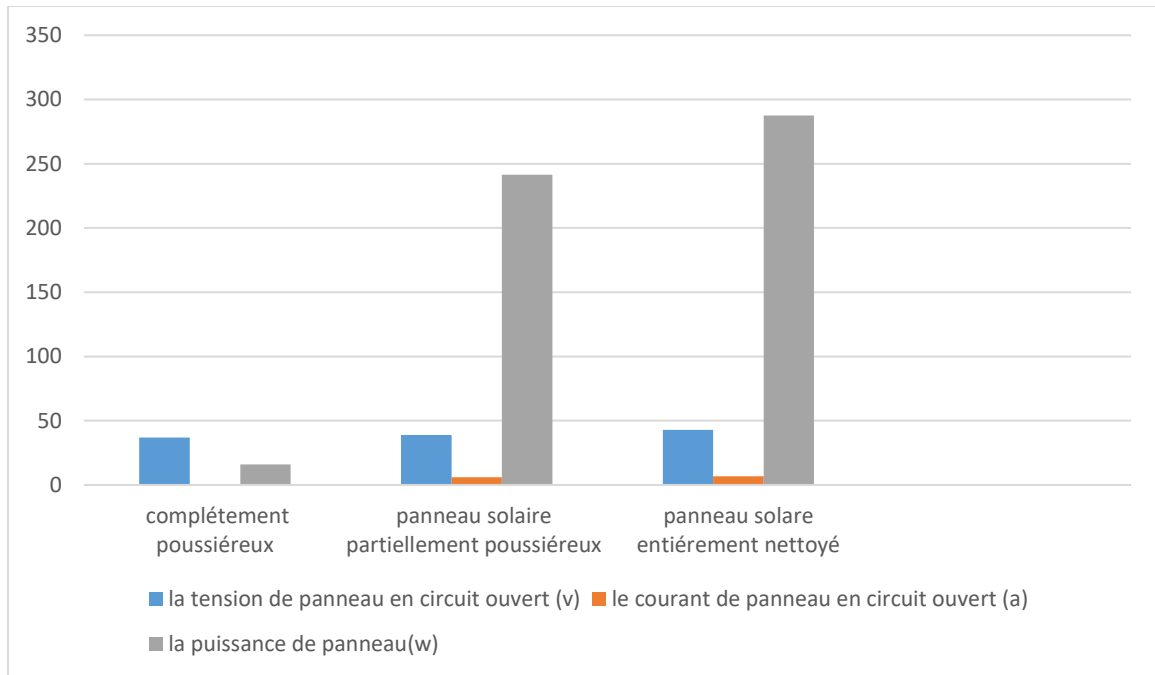


Figure II.52: Graphiques à barres montrant l'effet de la poussière sur l'efficacité des panneaux

On peut remarquer dans les tableaux les résultats de l'effet de la poussière sur l'efficacité des panneaux solaires. Dans le cas des panneaux solaires complètement poussiéreux, on constate une forte diminution de la puissance du panneau solaire par rapport aux résultats du même panneau après le processus de nettoyage. Ce qui nous confirme la nécessité et l'importance primordiale du nettoyage des panneaux solaires afin d'atteindre un rendement élevé.

III.7.2 Test charge de batterie et le fonctionnement du système en temps réel

Table II-6: test charge batterie en vide

Puissance de Panneaux	L'éclairement	Tension en circuit ouvert (V)	Courant de charge (A)	Temps de charge	Tension batterie affiché sur régulateur
100 W	Rayonnement solaire suffisant	22,3 V	5,84 A	30 min	14,4 V
	Rayonnement solaire moyen	19,8 V	4,23 A	50 min	13,1 V
	Faible rayonnement solaire	14,6 V	2,14 A	1h 36 min	11,8 V

Table II-7: Test système de nettoyage en vide

Voltage batterie	Temps de fonctionnement	Vitesse de course
14,4 V	3h 15min	40 tr/min
13,1 V	2h 38min	40 tr/min
11,8 V	1h 12min	40 tr/min

On note également que l'utilisation du panneau solaire de 100 watts, et grâce au courant de charge important, la batterie met moins de temps à se recharger en cas de rayonnement solaire suffisant par rapport au Faible rayonnement solaire.

On note également que le temps de fonctionnement de l'appareil est bon par rapport à sa rapidité.

III.8 Conclusion

Ce chapitre a fourni une vue d'ensemble détaillée du processus de développement du dispositif de nettoyage des panneaux solaires, depuis la phase de conception jusqu'aux tests et aux résultats obtenus. Grâce à une approche méthodique et rigoureuse, nous avons réussi à concevoir, assembler et programmer une machine capable de nettoyer efficacement les panneaux solaires de manière automatique. Les étapes présentées ont permis de prendre en compte les caractéristiques spécifiques des panneaux solaires ainsi que les exigences en matière de nettoyage, aboutissant à un modèle final qui répond aux attentes. Les tests et les expériences appliquées ont fourni des résultats encourageants, démontrant l'efficacité et les performances du dispositif. Dans l'ensemble, ce chapitre a permis de concrétiser le côté pratique du dispositif de nettoyage des panneaux solaires, ouvrant ainsi la voie à son utilisation dans des applications réelles pour améliorer l'efficacité et la durabilité des systèmes solaires.

CONCLUSION GENERAL

Conclusion générale :

Ce mémoire intitulé "Étude et réalisation d'un nettoyeur des panneaux photovoltaïques" s'est attaché à explorer et à concevoir un nettoyeur automatisé innovant dans le but d'améliorer l'efficacité du nettoyage des panneaux solaires et de réduire les coûts d'exploitation. À travers trois chapitres distincts, nous avons plongé dans l'état de l'art de l'énergie photovoltaïque, étudié les systèmes de nettoyage existants, et décrit en détail les différentes étapes de réalisation du prototype, en présentant également les résultats des tests pratiques.

Le chapitre 1 nous a permis de prendre conscience de l'importance croissante de l'énergie photovoltaïque dans la production d'électricité verte. Nous avons pu comprendre les principes de fonctionnement des panneaux solaires. Ce chapitre a également souligné les défis et les opportunités qui se présentent dans le secteur de l'énergie solaire, en mettant en évidence la nécessité de maintenir les panneaux photovoltaïques en bon état de fonctionnement.

Le chapitre 2 nous a permis d'explorer les différentes méthodes de nettoyage des panneaux solaires actuellement utilisées. Nous avons constaté que bien que certaines approches puissent être efficaces, elles présentent souvent des limitations et des inconvénients. Les contraintes liées à l'utilisation de l'eau, les coûts élevés associés à certaines méthodes et l'intervention manuelle nécessaire ont démontré la nécessité d'une solution plus automatisée et performante.

Enfin, le chapitre 3 nous a plongés dans la conception, la réalisation et les tests pratiques du prototype de nettoyeur automatisé. Nous avons exploré les différentes parties du processus de réalisation, allant de la sélection des matériaux et des composants électriques et mécaniques jusqu'aux aspects de contrôle et de sécurité. Les résultats des tests pratiques ont été très prometteurs, démontrant l'efficacité et l'utilité potentielle du nettoyeur automatisé pour maintenir la propreté des panneaux photovoltaïques de manière efficace et durable.

Ce mémoire apporte une contribution significative à l'amélioration des techniques de nettoyage des panneaux photovoltaïques. L'étude de l'état de l'art et des systèmes de nettoyage existants a permis d'identifier les lacunes et les opportunités pour développer une solution plus efficace. La réalisation du prototype et les résultats des tests pratiques ont montré que notre nettoyeur automatisé a le potentiel de répondre à ces défis et de contribuer à l'optimisation de la production d'électricité solaire.

Bibliographie

- [1] M. AIDJADJ, «Etude expérimentale de l'effet de la poussière et de fientes des oiseaux sur le fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques pour le site de M'sila,» Mémoire de master académique, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2022.
- [2] K. Trad, «Mise en équations des paramètres de la conversion thermique de l'énergie solaire,» MÉMOIRE DE MASTER, Université Mohamed Khider de Biskra, 2020.
- [3] F. MERAD, «Conception d'un programme de calcul du rayonnement solaire, cas particulier de la région de Mostaganem.,» Magister en Physique, Université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem, 2013.
- [4] R. Belkacemi et M. Benmeziane, «Conception et réalisation d'un robot nettoyeur de panneaux solaire commandé par Bluetooth,» Mémoire de fin d'études de Master, UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA, 2021.
- [5] S. Dr. BELAID LALOUNI, «Cours Energie Solaire Photovoltaïque,» Université A.MIRA de BEJAIA, 2015.
- [6] I. Fodil et A. Herous, «Etude et simulation d'une cellule solaire CH₃NH₃SnI₃,» MÉMOIRE DE MASTER, Université Mohamed Khider de Biskra, 2022.
- [7] «mordorIntelligence,» 22 06 23. [En ligne]. Available: <https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/polymer-solar-cells-market>.
- [8] H. AZIZ et S. SADDEK, «Modélisation et simulation d'une cellule photovoltaïque organique inversée,» MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER EN PHYSIQUE ENERGETIQUE, UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR, 2017.
- [9] «dsnsolar,» 26 06 2023. [En ligne]. Available: <https://www.dsnsolar.com/info/introduction-to-perovskite-solar-cell-63411583.html>.

- [10] «cap-nature,» 22 06 2023. [En ligne]. Available: <https://cap-nature.ch/blogs/energie-solaire/le-fonctionnement-dun-panneau-solaire-comment-ca-marche>.
- [11] «ecosources,» 22 06 2023. [En ligne]. Available: <https://www.ecosources.org/panneau-solaire-photovoltaique>.
- [12] R. Roshanak, «Réalisation et caractérisation de cellules solaires organiques à couches composites polymères incluant des nanotubes de carbones,» Thèse Docteur de l'Université de Limoges, Ecole Doctorale Sciences – Technologie – Santé Faculté des Sciences et Techniques de Limoges, 2008.
- [13] T. DJELLOUT et S. MAKOUR, «Etude de l'effet de la température et de l'éclairement sur les performances des modules photovoltaïques à base de silicium amorphe.,» Mémoire MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2017.
- [14] M. Djedid, «Etude expérimentale de l'influence de la température et l'éclairement sur le rendement d'une cellule PV,» MASTER EN PHYSIQUE DES MATERIAUX, UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI -OUM EL BOUAGHI-, 2019.
- [15] M. ATEK, «Effets du taux d'ombrage sur les performances des cellules solaires à base de CIGS,» MEMOIRE DE Magistère, Université Ferhat Abbas de SÉTIF, 2013.
- [16] Z. IDIR et A. ADRAR, «Etude et simulation du comportement d'un générateur photovoltaïque en présence de problème de désadaptation,» Mémoire de MASTER, Université A.MIRA-BEJAIA, 2016.
- [17] «PANELWASH,» 23 06 2023. [En ligne]. Available: <https://www.panelwash.com/fr/blogs/news/hoer-vermeid-je-hotspots-op-je-zonnepaneel-installaties>.
- [18] «sma-france,» 23 06 2023. [En ligne]. Available: <https://www.sma-france.com/centre-de-connaissances/conseils-techniques-avant-linstallation/gestion-de-lombrage>.

- [19] «energieplus,» 23 06 2023. [En ligne]. Available: <https://energieplus-lesite.be/concevoir/photovoltaique/choisir-l-emplacement-des-capteurs/>.
- [20] H. BENBLIDIA et A. KERKAR, «Etude de l'Effet de l'Ombrage Sur un Système Photovoltaïque,» Mémoire de Master, Université SAAD DAHLAB de BLIDA, 2015.
- [21] S. Santiago , B. Alfredo et A. Chouder, «Study of bypass diodes configuration on PV modules,» 20 01 2009.
- [22] A. DJOUDI et A. MECHATIA, «Conception Mécanique D'un Système De Nettoyage Des Panneaux Solaires,» Mémoire de MASTER, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj, 2022.
- [23] A. GASMI, «L'étude expérimentale de l'influence de l'inclinaison et de vent sur le rendement d'une cellule PV,» MEMOIRE DE MASTER EN PHYSIQUE DES MATERIAUX, UNIVERSITE L'ARBI BEN M'HIDI -Oum El Bouaghi-, 2019.
- [24] «oscaro-power,» 23 06 2023. [En ligne]. Available: https://www.oscaro-power.com/guide/fr_FR/je-realise-l-installation-electrique/installer-des-micro-onduleurs.
- [25] «q-cells,» 23 06 2023. [En ligne]. Available: <https://www.q-cells.fr/produits/technologie/hot-spot-protect.html>.
- [26] «revolution-energetique.,» 23 06 2023. [En ligne]. Available: <https://www.revolution-energetique.com/photovoltaique-un-revetement-autonettoyant-innovant-maintient-intacte-la-surface-des-panneaux/>.
- [27] H. BOUALEM, «Effets de la poussière et les conditions climatiques sur l'efficacité du système photovoltaïque dans les régions à climat semi-aride: Cas de la région de Tlemcen,» MEMOIRE DE MASTER EN PHYSIQUE, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMEN, 2021.

- [28] C. Yingya, L. Yanfeng, T. Zhijun, D. Yu, Z. Yong et W. Xiaowen, «Experimental Study on the effect of dust deposition on photovoltaic,» 22-25 08 2018.
- [29] «valdecherromorantinais,» 23 06 2023. [En ligne]. Available: <https://www.valdecherromorantinais.fr/comment-nettoyer-vos-panneaux-solaires-en-toute-securite/>.
- [30] S. SKITIOUI, «La conception d'un système de nettoyage des panneaux photovoltaïques.,» RAPPORT DE FIN D'ETUDES, UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH, 2018.
- [31] «arduino.cc,» 23 06 2023. [En ligne]. Available: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino>.
- [32] «components101,» 23 06 2023. [En ligne]. Available: <https://components101.com/modules/l293n-motor-driver-module>.
- [33] «enkonn-solar,» 23 06 2023. [En ligne]. Available: <https://enkonn-solar.com/solar-charge-controller/>.
- [34] «dailybusinessgroup,» 23 06 2023. [En ligne]. Available: <https://dailybusinessgroup.co.uk/2023/05/harnessing-power-exploring-the-multifaceted-applications-uses-of-lithium-batteries/>.
- [35] «innovauto,» 24 06 2023. [En ligne]. Available: <https://www.innovauto.org/vehicules-electrique-vehicules-hybrides/les-moteurs-electriques>.

Lien de vidéo montrant comment cela fonctionne

https://drive.google.com/file/d/1Gk6R0bc1Shyh_O10Kt1IwCp7HgQ3bccU/view?usp=sharing