

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn-Khaldoun de Tiaret
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique



PROJET DE FIN D'ETUDES MASTER

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Mécanique

Parcours : Master

Spécialité : Énergétique

Thème

**Contribution à l'étude d'influence des conditions
météorologiques sur le rendement des systèmes
photovoltaïques**

Préparé par :

YAGHNI Nour El Imane GHERAIS Wissam Fatima Zohra

Soutenu publiquement le 23/06/2024

Devant le Jury :

M^r BOUKHALFA Mohamed	Maître Assistant (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M^r ABOSHIGHIBA Hicham	Maître de Conférences B (Univ. Ibn Khaldoun)	Examinateur 1
M^{me} KHALDI Sabrina	Maître Assistante A (Univ. Ibn Khaldoun)	Examinatrice 2
M^{me} BENARBIA Djamilia	Maître de Conférences B (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadrante

PROMOTION 2023 /2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mon père, pour son soutien indéfectible et son amour constant

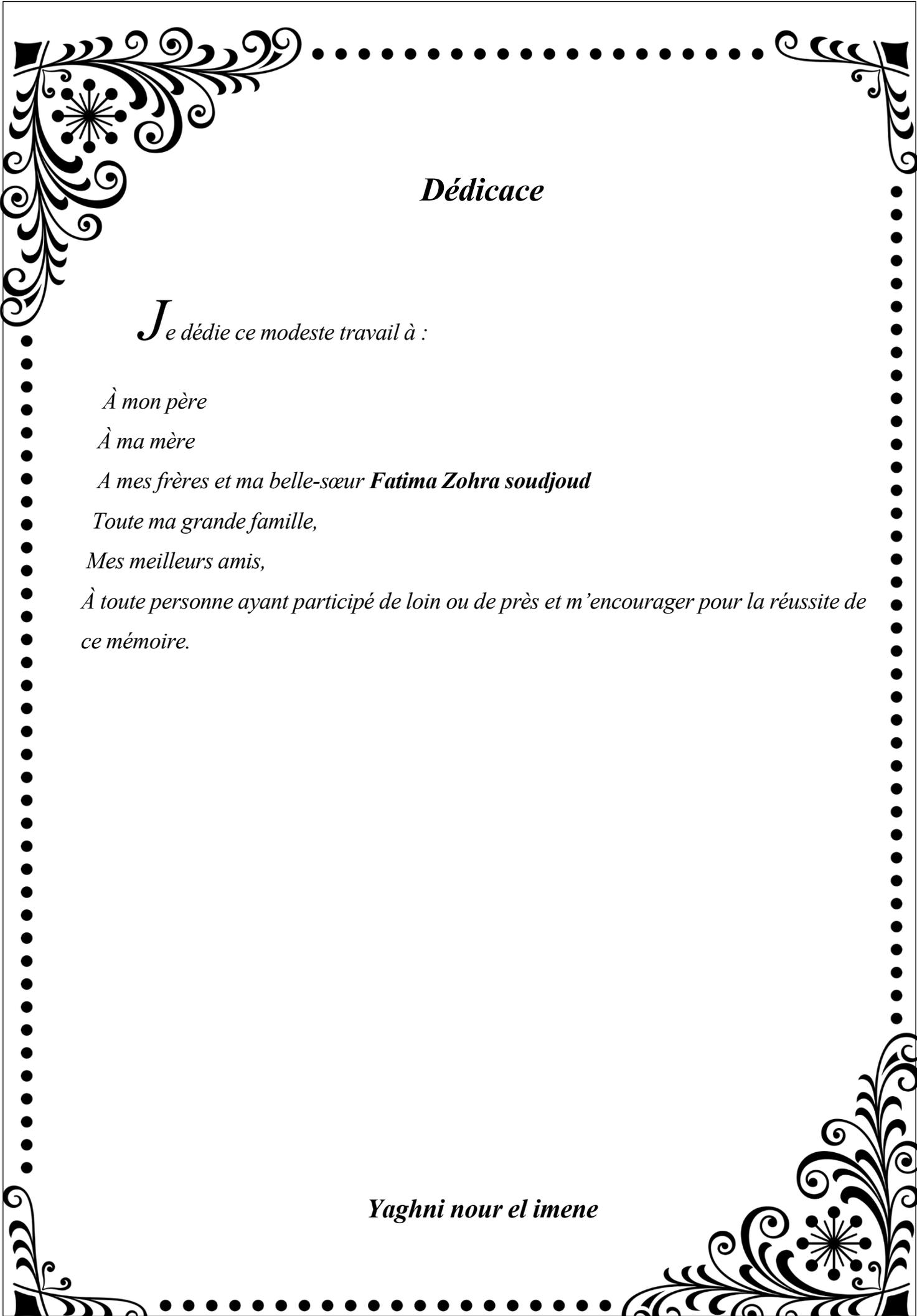
À ma mère, pour son encouragement inlassable et ses précieux conseils,

*À mes chers frères, **Abdel Rahmen, Khalil et Iyad***

À tous mes amis, pour leur amitié et leur soutien continus

*Enfin, à toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, participé et m'ont encouragé
dans la réalisation de ce mémoire.*

Gherais wissam fatima zohra



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

À mon père

À ma mère

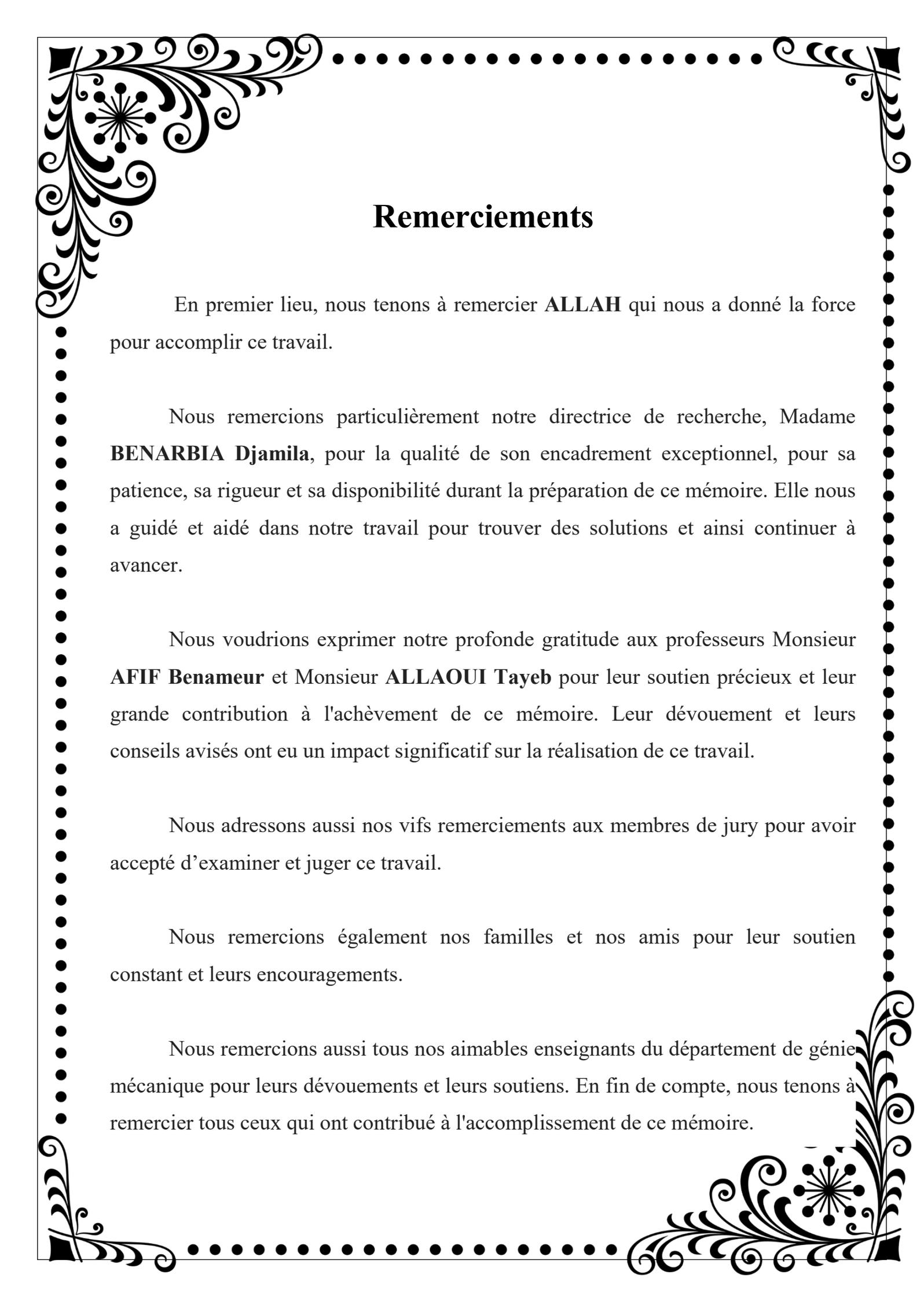
*A mes frères et ma belle-sœur **Fatima Zohra soudjoud***

Toute ma grande famille,

Mes meilleurs amis,

À toute personne ayant participé de loin ou de près et m'encourager pour la réussite de ce mémoire.

Yaghni nour el imene



Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier **ALLAH** qui nous a donné la force pour accomplir ce travail.

Nous remercions particulièrement notre directrice de recherche, Madame **BENARBIA Djamila**, pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant la préparation de ce mémoire. Elle nous a guidé et aidé dans notre travail pour trouver des solutions et ainsi continuer à avancer.

Nous voudrions exprimer notre profonde gratitude aux professeurs Monsieur **AFIF Benameur** et Monsieur **ALLAOUI Tayeb** pour leur soutien précieux et leur grande contribution à l'achèvement de ce mémoire. Leur dévouement et leurs conseils avisés ont eu un impact significatif sur la réalisation de ce travail.

Nous adressons aussi nos vifs remerciements aux membres de jury pour avoir accepté d'examiner et juger ce travail.

Nous remercions également nos familles et nos amis pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Nous remercions aussi tous nos aimables enseignants du département de génie mécanique pour leurs dévouements et leurs soutiens. En fin de compte, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué à l'accomplissement de ce mémoire.

SOMMAIRE

Dédicaces.....	III
Remerciements.....	V
Sommaire.....	VI
Liste des figures.....	IX
Liste des tableaux.....	XI
Nomenclature.....	XII
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire photovoltaïque

I.1 Introduction.....	5
I.2 Énergie solaire.....	5
I.2.1 Différentes technologies solaires.....	5
I.2.2 Rayonnement solaire.....	10
I.2.3 Fonctionnement de l'énergie solaire.....	10
I.2.4 Avantages et Inconvénients.....	11
I.3 Cellules solaires.....	12
I.3.1 Technologies des cellules solaires.....	12
I.3.2 Fabrication des cellules solaires.....	15
I.3.3 Comparaison de différents types de cellules solaires.....	15
I.4 Système photovoltaïque (PV).....	16
I.4.1 Historique.....	16
I.4.2 Définition de système photovoltaïque.....	18
I.4.3 L'effet photovoltaïque.....	18
I.4.4 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	19
I.4.5 Module photovoltaïque.....	20
I.4.6 Panneau photovoltaïque.....	21
I.4.7 Type des PV.....	22
I.5 Conclusion.....	24

Chapitre II : Performances des systèmes PV

II.1 Introduction.....	26
II.2 Efficacité d'un système photovoltaïque.....	26

II.2.1 L'effet de l'efficacité des panneaux.....	26
II.2.2 Rendement d'un PV.....	27
II.2.3 Puissance d'un PV.....	28
II.3 Changement climatique.....	28
II.3.1 Notion de climat.....	28
II.3.2 Définition du changement climatique.....	29
II.3.3 Changement climatique dans le monde.....	29
II.3.4 Changement climatique en Algérie.....	30
II.4 Paramètres extérieures influencent les performances des systèmes PV.....	31
II.4.1 Comportement des modules PV.....	31
II.4.2 Conditions météorologiques.....	31
II.4.2.1 Influence de l'irradiation.....	31
II.4.2.2 Influence de la température.....	31
II.4.2.3 Temps nuageux.....	32
II.4.2.4 Influence de l'humidité.....	32
II.4.2.5 Influence du vent.....	33
II.4.3 Poussière.....	34
II.4.4 Effet de l'orientation des modules pv.....	34
II.4.4.1 Toiture double-pente orientation Nord-sud.....	34
II.4.4.2 Toiture mono-pente orientation sud.....	35
II.4.4.3 Toiture mono-pente orientation Nord.....	35
II.4.4.4 Toiture double-pente orientation est-ouest.....	36
II.4.4.5 Effet de l'inclinaison du champ photovoltaïque.....	36
II.5 Processus éventuels de défauts (dégradation).....	37
II.5.1 Dégradations possibles.....	37
II.5.2 Autres Défauts.....	38
II.6 Conclusion.....	38

Chapitre III : Simulations et Étude du cas

III.1 Introduction.....	40
III.2 Processus de l'étude.....	40
III.2.1 Présentation et identification du site géographique.....	41
III.2.2 Données de base de la zone étudiée.....	42
III.2.3 Présentation de logiciel de simulation.....	44
III.2.4 Description du modèle.....	44

III.3 Etude paramétrique.....	44
III.3.1 Variation des performances.....	45
III.4 Discussion des résultats.....	48
III.5 Conclusion.....	51

Chapitre IV : Optimisation des Performances

IV.1 Introduction.....	53
IV.2 Analyse des données climatiques.....	53
IV.2.1 Variation de la température à Tiaret.....	54
IV.2.2 Variations et écarts à long terme.....	55
IV.3 Optimisation des Performances.....	56
IV.3.1 optimisation du rendement.....	57
IV.4 Conclusion.....	58
Conclusion Générale-----	60
Annexes-----	63
Références bibliographie-----	70
Résumé-----	76

Liste des figures

Figure I.1: Centrale ANDASOL.....	6
Figure I.2: Capteur solaire thermique.....	7
Figure I.3: Capteur solaire photovoltaïque.....	8
Figure I.4: Fonctionnement de l'énergie solaire.....	10
Figure I.5: Matériaux solides cristallisés : Monocristallin.....	13
Figure I.6: Matériaux solides cristallisés : Polycristallin.....	13
Figure I.7: Cellule de silicium amorphe.....	14
Figure I.8: Couches minces avancées.....	15
Figure I.9: Evénements subit par un flux lumineux.....	18
Figure I.10: Diagramme d'énergie d'un SC A : Dans l'obscurité, B :sous illumination.....	19
Figure I.11: Schémas de principe du fonctionnement d'une cellule solaire.....	20
Figure I.12: Module photovoltaïque.....	21
Figure I.13: Panneau photovoltaïque.....	21
Figure I.14: Panneau en silicium monocristallin.....	22
Figure I.15: Panneau en silicium polycristallin.....	23
Figure I.16: Module à couche mince.....	23
Figure II.1: L'effet de l'efficacité des panneaux.....	26
Figure II.2: Installation photovoltaïque double pente.....	34
Figure II.3: Installation photovoltaïque mono pente sud.....	35
Figure II.4: Installation photovoltaïque mono pente nord.....	35
Figure II.5: Installation photovoltaïque double pente est ouest.....	36
Figure II.6: Effet de l'inclinaison du champ photovoltaïque.....	37
Figure III.1: Situation géographique de la région de Tiaret.....	41
Figure III.2: Carte interactive de la wilaya de Tiaret.....	41
Figure III.3: Cordonnée géographique de la région de Tiaret.....	42
Figure III.4: Données météorologiques sont extraites du logiciel PVSyst.....	42
Figure III.5: Trajectoire de soleil a Tiaret.....	43
Figure III.6: l'inclinaison optimale est extraite du logiciel PVSyst.....	43
Figure III.7: Courbe caractéristique puissance- tension pour différentes irradiations d'un module monocristallin à température constante (T=15°C).....	45
Figure III.8: Courbe caractéristique puissance- tension pour différentes irradiations d'un module polycristallin à température constante (T=15°C).....	45

Figure III.9: Courbe caractéristique puissance- tension pour différentes températures d'un module monocristallin à irradiation constante ($E=200 \text{ w/m}^2$).....	46
Figure III.10: Courbe caractéristique puissance- tension pour différentes températures d'un module polycristallin à irradiation constante ($E=200\text{w/m}^2$).....	46
Figure III.11: Courbe caractéristique efficacité-irradiation pour différentes températures d'un module monocristallin.....	47
Figure III.12: Courbe caractéristique efficacité-irradiation pour différentes températures d'un module polycristallin.....	47
Figure III.13: Courbe de rendement en fonction de l'irradiation selon les deux types (Monocristallin, polycristallin).....	48
Figure III.14: Courbe de rendement en fonction de température selon les deux types (monocristallin, polycristallin).....	49
Figure IV.1: Conditions adoptées pour l'étude paramétrique.....	53
Figure IV.2: Les températures mensuelles de la région de Tiaret durant 37ans.....	54
Figure IV.3: Changement annuel des températures de la région de Tiaret durant 44ans.....	54
Figure IV.4: Anomalies de température et des précipitations à Tiaret durant 45ans.....	55
Figure IV.5: Représentation graphique du changement de température.....	55
Figure IV.6: Puissances maximales avant et après prédiction de la température moyenne.....	56
Figure IV.7: Comparaison des performances avant et après prédiction de la température moyenne.....	56
Figure IV.7: Optimisation du rendement.....	57

Liste des tableaux

Tableau I.1: Comparaison de différents types de cellule solaires.....	16
Tableau II.1: Processus éventuels de défauts.....	37
Tableau III.1: Caractéristiques de deux modules (monocristallin, polycristallin).....	44

Nomenclature

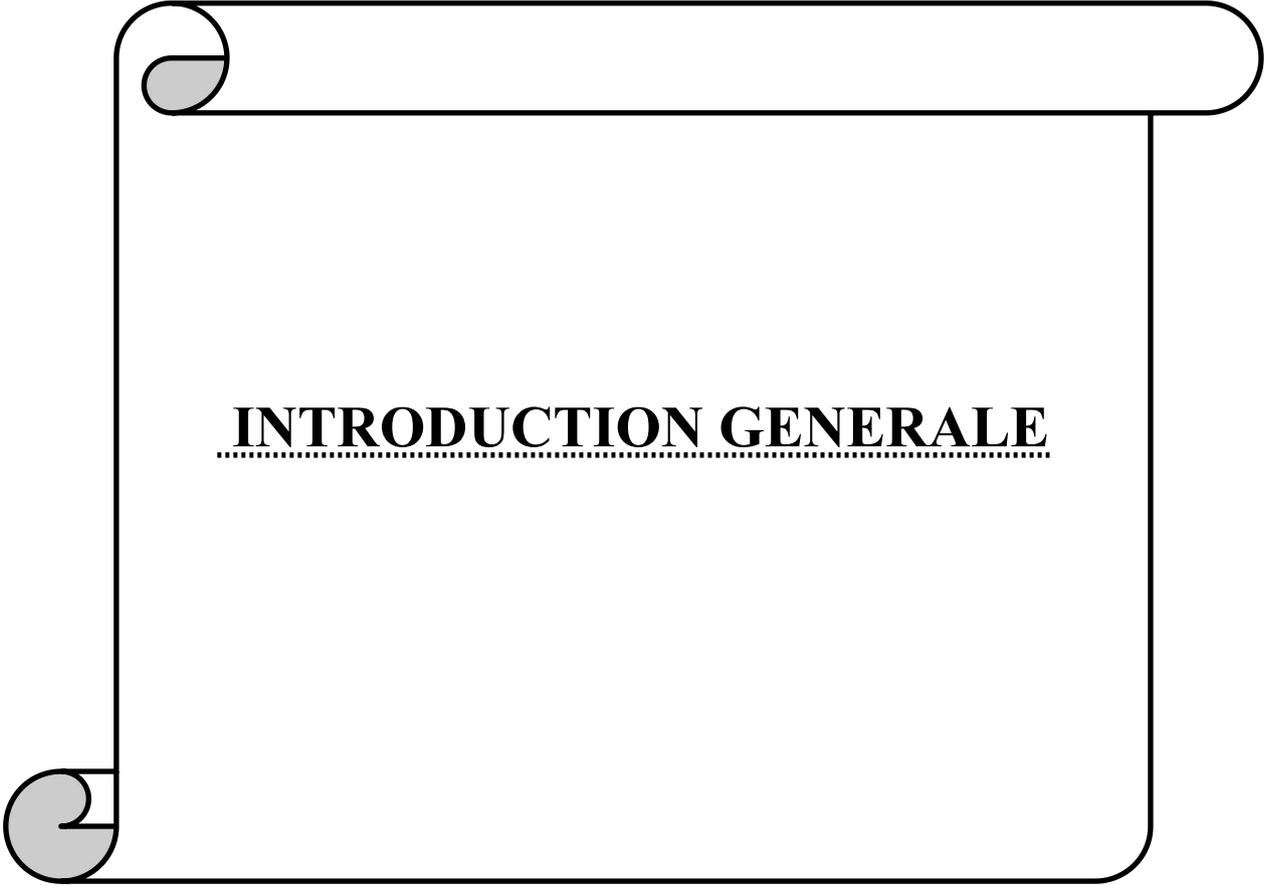
η	Rendement	%
ϵ	Efficacité	%

Indices

E	Eclairement incident	(W/m ²)
S	Surface du module	(m ²)
Pmax	Puissance maximale	Watt

Abréviations

PV	Photovoltaïque
Wc	Watt crête
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur évolution du Climat
MIT	Massachusetts Institute of Technology (Institut de technologie du Massachusetts)
CDTE	Tellure de Cadmium
CIGS	Cuivre Indium/Galium Selenium
STC	Standard Test Conditions
CCNUCC	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatique
SiH4	tétrahydure de silicium
ANDASOL	Centrale solaire d'Andasol



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Depuis quelques décennies, on observe un regain d'intérêt pour le développement de technologies permettant d'utiliser les ressources naturelles pour la production d'énergie. Les efforts se sont intensifiés dans des domaines tels que l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie thermique et l'énergie des océans.

Ces technologies utilisent des ressources naturelles telles que la lumière du soleil, la vitesse du vent, les mouvements de l'eau et la chaleur géothermique pour produire de l'énergie de manière propre et durable, réduisant ainsi notre dépendance à l'égard des sources d'énergie traditionnelles telles que le charbon, le pétrole et le gaz. En convertissant ces ressources naturelles en énergie, nous pouvons réduire les émissions de carbone et la pollution de l'environnement et parvenir à une plus grande indépendance énergétique.

Les études théoriques basées sur des simulations de panneaux solaires font une partie importante de la recherche sur les énergies renouvelables, grâce aux quelles il devient aussi possible de mieux comprendre le comportement et le fonctionnement des panneaux solaires dans les différentes conditions afin d'améliorer leur efficacité et leur durabilité.

L'utilisation du logiciel PVsyst dans ce contexte est un excellent choix, comme cet outil offre des capacités de simulation avancées qui permettent l'analyse de diverses conditions et variables.

La simulation de panneaux solaires prend en compte de nombreux facteurs tels que la température, l'intensité de l'irradiation et d'autres conditions météorologiques susceptibles d'affecter les performances d'une cellule solaire. Grâce à l'analyse précise des données fournies par le logiciel de PVsyst, les chercheurs peuvent comprendre l'impact de ces facteurs et déterminer les meilleures conditions pour un fonctionnement efficace des panneaux solaires.

En outre, ces simulations permettront à concevoir de nouveaux panneaux solaires mieux adaptés aux conditions spécifiques, bien particulièrement, face aux changements sévères du climat au cours du temps et à travers les dizaines d'années, ce qui contribuera ainsi au développement durable de la technologie solaire et à l'augmentation de son efficacité.

Notre étude est scindée en quatre chapitres, présentés comme suit :

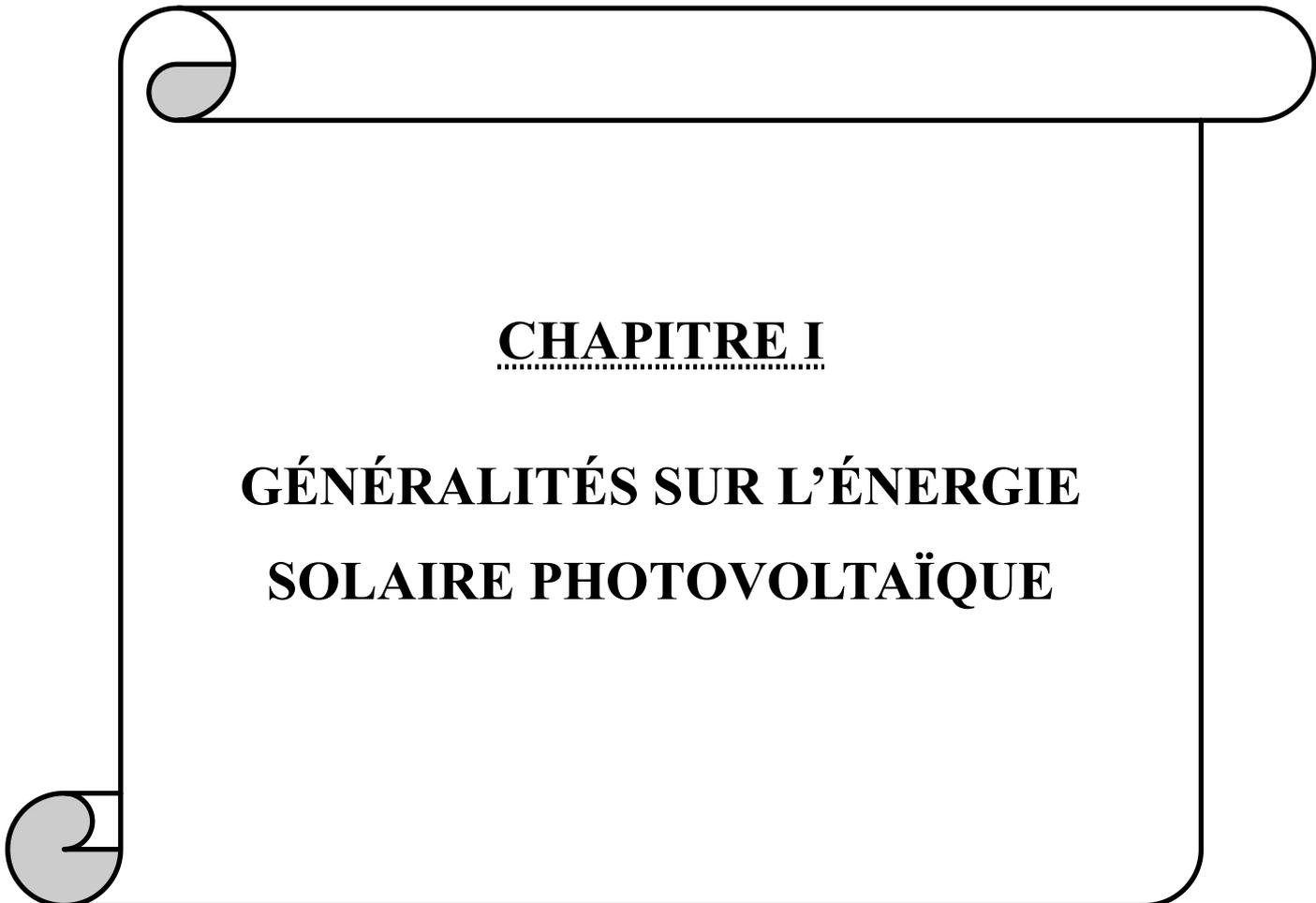
En premier chapitre des généralités sur le photovoltaïque solaire sont abordées, où les différents types de technologies ainsi qu'aux avantages et inconvénients ont été rappelés. Ensuite

en deuxième chapitre, un aperçu sur l'efficacité et l'impact des systèmes photovoltaïques sur les cellules monocristallines et polycristallines a été énuméré en plus de leur comportement face aux changements climatiques locaux et mondiaux et aux différents facteurs affectant ces systèmes.

Dans le troisième chapitre, une étude paramétrique a été élaborée, pour le cas de la région de Tiaret, effectuée à l'aide du logiciel PVSyst, menant à des résultats comparables et convenables.

Afin de bien compléter et accomplir notre recherche, nous proposons un quatrième chapitre qui vise à une initiation à la recherche opérationnelle des conditions d'exploitation favorables afin d'optimiser l'efficacité et la durabilité des systèmes PV dans la région de Tiaret.

Enfin, ce mémoire est clôturé par une conclusion générale du travail élaboré, accompagné des perspectives des recherches pouvant être abordées à l'avenir .

A decorative border resembling a scroll, with a black outline and grey shaded areas at the top-left and bottom-left corners, framing the central text.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

I.1 Introduction

De nos jours, l'énergie solaire est devenue l'une des sources d'énergie les plus prometteuses et les plus cruciales. Les systèmes photovoltaïques se distinguent comme une solution efficace et respectueuse de l'environnement pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux, face aux défis posés par le changement climatique et la transition vers des sources d'énergie plus durables.

Nous examinerons dans ce chapitre les principes essentiels des systèmes photovoltaïques, allant du fonctionnement fondamental des cellules solaires à grande échelle aux applications concrètes dans la vie quotidienne et dans les infrastructures énergétiques.

Ce chapitre étudiera également les progrès technologiques récents, établissant ainsi les fondements essentiels pour appréhender les systèmes photovoltaïques et leur importance capitale dans la création d'un avenir énergétique propre et résistant.

I.2 Énergie solaire

L'énergie solaire représente la forme la plus abondante d'énergie renouvelable disponible sur notre planète, résultant du rayonnement émanant du soleil. Ce flux énergétique solaire est à l'origine de nombreux phénomènes naturels, tels que le vent, le cycle de l'eau et la photosynthèse, qui sont essentiels à la survie des écosystèmes végétaux et animaux.

En somme, l'énergie solaire sous-tend quasiment toutes les autres formes d'énergie présentes sur Terre, à l'exception notable du nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice, qui ne dépendent pas directement du soleil.

Cependant, malgré son abondance, l'énergie solaire ne peut être exploitée directement. Elle nécessite d'être convertie en d'autres formes d'énergie, telles que l'énergie cinétique, thermique ou électrique. Cette conversion revêt une importance croissante dans notre société moderne, offrant des applications de plus en plus variées et utiles [1].

I.2.1 Les différentes technologies solaires

L'exploitation directe de l'énergie solaire repose principalement sur trois méthodes principales : la conversion thermodynamique, thermique et photovoltaïque.

I.2.1.1 Solaire à concentration thermodynamique

La technologie de concentration solaire thermodynamique utilise des miroirs pour concentrer le rayonnement solaire vers un tube contenant un fluide caloporteur, chauffant celui-ci jusqu'à des températures pouvant atteindre 500°C.

Cette chaleur est ensuite transférée à un circuit d'eau, où la vapeur générée fait tourner une turbine connectée à un alternateur pour produire de l'électricité.

Un avantage majeur de cette méthode est la possibilité de stocker la chaleur, permettant ainsi aux centrales solaires de générer de l'électricité même pendant la nuit.

Par exemple, la centrale ANDASOL 1, à Grenade, dispose d'une autonomie de 7 heures, mais des projets en cours visent à étendre cette autonomie jusqu'à 20 heures.

Les miroirs utilisés pour collecter l'énergie solaire, placés à environ 3 ou 4 mètres du sol, projettent une zone d'ombre sur le sol. Cependant, suffisamment de lumière parvient au sol pour permettre la culture de plantes. De plus, une partie de l'eau douce produite sur place par condensation à la sortie de la turbine peut être utilisée pour l'irrigation. En raison de son potentiel considérable, la technologie de concentration solaire est en développement dans plusieurs pays [2].



Figure I.1 : Centrale ANDASOL [3]

I.2.1.2 Solaire thermique

L'énergie solaire thermique fonctionne en transformant la chaleur provenant du soleil en énergie thermique à l'aide d'un fluide circulant à travers des panneaux exposés au soleil. Cette méthode de conversion d'énergie peut être directe si l'objectif est de chauffer uniquement de l'eau pour un usage sanitaire.

En revanche, si l'on souhaite produire de l'électricité, il est nécessaire d'utiliser des générateurs qui convertissent l'énergie thermique générée en électricité, tels que les moteurs à air chaud [1].

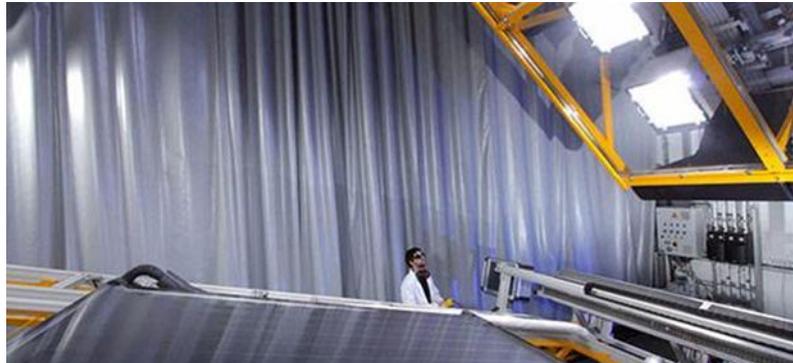


Figure 1.2 : Capteur solaire thermique [4]

I.2.1.2.1 Principe de fonctionnement du capteur solaire thermique

Le processus débute par le passage du rayonnement solaire à travers une plaque de verre transparente. Ensuite, les rayons lumineux sont absorbés par une plaque de métal noir, capable de capter environ 80% à 90% de l'énergie solaire incidente sous forme de chaleur.

Cette chaleur générée est ensuite transmise à un circuit d'eau, qui alimente à son tour un circuit secondaire destiné à fournir de l'eau chaude sanitaire ou du chauffage à une habitation [1].

I.2.1.2.2 Composition d'un panneau solaire thermique

Le capteur solaire thermique comprend plusieurs éléments essentiels; qui sont :

- Un corps opaque, souvent constitué d'une plaque de métal noir, qui absorbe le rayonnement solaire et se chauffe en conséquence.
- Un système de refroidissement par le fluide caloporteur, qui permet de transférer la chaleur absorbée vers un circuit d'eau ou un autre fluide pour une utilisation ultérieure.
- Un isolant thermique placé sur les faces non exposées au rayonnement solaire, afin de minimiser les pertes de chaleur.
- Une couverture transparente sur la face exposée, généralement en verre ou en plastique, qui agit comme un effet de serre en emprisonnant la chaleur à l'intérieur du capteur et en empêchant sa dissipation [1].

L'ensemble de ces composants permettent au capteur solaire thermique de capturer, convertir et utiliser efficacement l'énergie solaire pour le chauffage de l'eau ou d'autres applications thermiques.

L'énergie solaire thermique présente un bon potentiel pour le chauffage des maisons, avec un rendement pouvant atteindre 40%. Cependant, son utilisation est souvent limitée par le décalage entre l'ensoleillement maximal en été et la demande moindre en eau chaude à cette période. Le stockage de l'énergie devient donc un défi majeur, limitant sa disponibilité à grande échelle [1].

Pour les centrales solaires thermiques à grande échelle, elles nécessitent des surfaces au sol considérables et ne peuvent être implantées que dans des régions bénéficiant d'un fort rayonnement solaire. De plus, des infrastructures telles que des moteurs et des lignes à haute tension sont nécessaires pour convertir cette énergie en électricité et la distribuer aux consommateurs.

En termes de coût, le KW installé pour l'énergie solaire thermique est environ deux fois plus élevé que celui de l'énergie éolienne, mais deux fois moins élevé que celui de l'énergie photovoltaïque. Cela souligne à la fois les avantages et les défis associés à cette technologie [1].

I.2.1.3 Solaire photovoltaïque

Effectivement, contrairement à l'énergie solaire thermique qui exploite la chaleur du soleil, l'énergie solaire photovoltaïque se base sur l'utilisation de la lumière solaire pour générer de l'électricité. Ce processus repose sur la conversion directe de l'énergie des photons, les particules de lumière, qui atteignent la surface de la Terre. Une caractéristique importante de cette transformation est qu'elle se fait sans nécessiter d'action mécanique, sans produire de bruit, de pollution ou de consommation de combustible. C'est une méthode propre et silencieuse de production d'électricité, particulièrement appréciée pour son impact environnemental réduit [1].



Figure I.3 : Capteur solaire photovoltaïque [5]

L'effet photovoltaïque repose sur l'absorption de photons par un matériau semi-conducteur, induisant la formation de paires d'électrons et de trous, et ainsi la génération d'un courant électrique. Par conséquent, l'énergie solaire est directement convertie en électricité. Une cellule photovoltaïque typique se compose de deux couches de silicium exposées préalablement à des faisceaux d'ions, l'une dopée au phosphore (-) et l'autre au bore (+), créant ainsi un champ électrique entre les couches dopées. Lorsque les photons solaires atteignent la surface de la cellule, ils excitent les atomes de silicium, produisant des charges positives et négatives. Ces charges sont alors déplacées par le champ électrique créé par la jonction entre la partie dopée négativement du semi-conducteur (phosphore) et la partie dopée positivement (bore), engendrant ainsi un courant électrique. Ce courant est recueilli par deux électrodes, l'une positive et l'autre négative. L'électrode supérieure est une grille permettant le passage des rayons lumineux, tandis qu'une couche antireflet est déposée sur la surface inférieure de cette électrode pour maximiser l'absorption de la lumière [1].

L'énergie photovoltaïque implique la conversion du rayonnement solaire en électricité à l'aide de cellules photovoltaïques. Ces cellules sont assemblées en panneaux solaires, de plus en plus répandus sur les toits, les parkings, les marquises de gare, les lampadaires et autres structures. L'électricité ainsi produite peut servir à la consommation personnelle ou être injectée dans le réseau public. Par exemple, elle peut être utilisée comme source d'appoint pour chauffer un chalet. Dans d'autres cas, l'utilisation du photovoltaïque sur de vastes surfaces peut générer une quantité significative d'énergie, comme dans le cas des centrales photovoltaïques ou des grands parcs solaires. Dans certains cas, cette énergie peut couvrir entièrement les besoins d'un bâtiment et même produire un surplus, qui est alors injecté dans le réseau public ou stocké [1].

Idéalement, les panneaux solaires sont installés sur le toit ou la façade des bâtiments dès leur construction, ce qui réduit les coûts et favorise une meilleure intégration architecturale. Ces dernières années, l'intégration de panneaux solaires sur les surfaces vitrées est devenue possible grâce aux cellules à colorants transparentes.

L'énergie solaire photovoltaïque offre un potentiel de développement considérable. Ses avantages comprennent la gratuité de son carburant, le soleil, ainsi que l'utilisation de matériaux abondants et non toxiques comme le silicium pour la fabrication des cellules photovoltaïques. De plus, les modules photovoltaïques ont une durée de vie élevée d'environ trente ans, et les matériaux utilisés peuvent être recyclés. Enfin, les systèmes photovoltaïques nécessitent peu d'entretien et peuvent être installés par des personnes non spécialisées [1].

I.2.2 Rayonnement solaire

Le rayonnement émis par le soleil est constitué d'ondes électromagnétiques dont une partie parvient constamment à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre. En raison de la température superficielle du soleil (environ 5800 K), ce rayonnement électromagnétique se situe dans la gamme de longueur d'onde de la lumière visible (entre 0,4 et 0,75 μm) et dans le proche infrarouge (au-delà de 0,75 et jusqu'à 4 μm environ). L'énergie véhiculée par ce rayonnement, moyennée sur une année et sur l'ensemble de la limite supérieure de l'atmosphère, correspond à un éclairement de 340 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Un bilan énergétique montre que, sur cette quantité d'éclairement qu'apporte le soleil au système terre et atmosphère, environ 100 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ sont réfléchis vers l'espace ; seul le reste est absorbé, pour un tiers par l'atmosphère et pour les deux tiers par la surface de la terre [2].

I.2.3 Fonctionnement de l'énergie solaire

Une installation solaire nécessite deux éléments principaux :

- Des panneaux solaires
- Un convertisseur d'énergie

Les panneaux solaires captent la lumière du soleil, puis la convertissent en courant électrique continu. Celui-ci est ensuite transformé en courant alternatif par l'onduleur. En effet, seul le courant alternatif est compatible avec le réseau. Ce dernier alimente alors vos appareils, votre système de chauffage, votre chauffe-eau, etc. La quantité de courant injectée au sein du réseau est mesurée par le compteur [5].

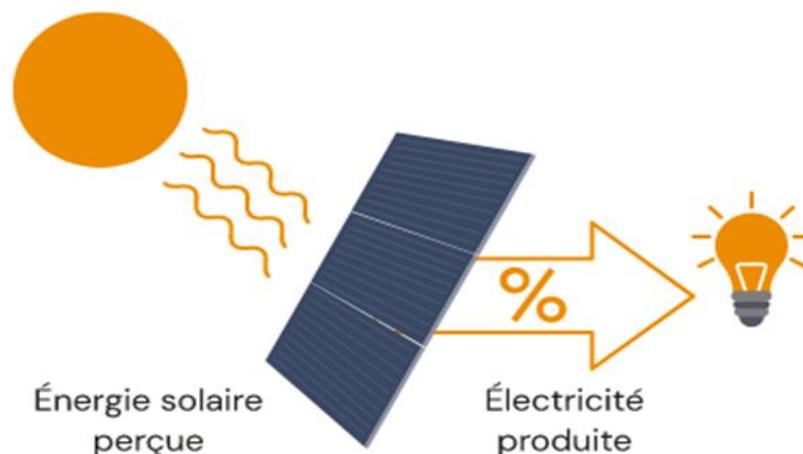


Figure I.4 : Fonctionnement de l'énergie solaire [6]

I.2.4 Avantages et Inconvénients

I.2.4.1 Avantages

- Les systèmes photovoltaïques sont simples et rapides à installer.
- La production électrique photovoltaïque est robuste, tolérante aux pannes et nécessite peu de maintenance.
- La production électrique est réalisée, hors processus de fabrication, sans combustion et à un niveau de température peu élevée. Donc pas d'usure thermique des composants.
- Longue durée des générateurs photovoltaïques.
- Les modules photovoltaïques sont recyclables.
- **Énergie renouvelable** : Malgré sa durée de vie limitée, à l'échelle humaine, le soleil est considéré comme étant une source d'énergie inépuisable.
- **Respect de l'environnement et diminution de la pollution** : L'électricité et l'eau chaude sanitaire produites par l'énergie solaire n'émettent pas de gaz à effet de serre. Par ailleurs, l'énergie solaire permet de réduire l'utilisation des énergies fossiles, qui sont nocives pour l'environnement. C'est pour ces raisons qu'elle est considérée comme étant une énergie propre.
- **Économie** : En comparaison avec l'installation d'une centrale nucléaire, le coût d'une installation solaire est bien plus faible. Il permet également de réaliser des économies et de profiter d'aides financières.
- **Faible coût d'entretien** : En dehors d'un nettoyage des panneaux solaires quelquefois par an, les systèmes d'énergie solaire ne demandent pas beaucoup d'entretien.
- **Idéale pour les sites isolés** : Lorsque l'accès au réseau électrique est compliqué, l'installation de capteurs solaires ou de panneaux photovoltaïques peut s'avérer être une très bonne option.
- **Aucune nuisance sonore** : Par rapport aux éoliennes et à d'autres technologies renouvelables, les installations de panneaux solaires n'émettent aucun bruit comme aucune pièce mobile n'est impliquée.
- **Plusieurs usages possibles** : Production d'électricité, distillation de l'eau, alimentation des satellites dans l'espace. Autant d'usages possibles offerts par l'énergie solaire. De plus, elle permet aux endroits non connectés au réseau de profiter de ces mêmes avantages. L'énergie solaire thermique offre même la possibilité d'obtenir de l'eau chaude sanitaire.

- **Disponible aux marchés** : L'énergie solaire est la seule source renouvelable disponible dans le monde entier [5].

I.2.4.2 Inconvénients

- **Une moins bonne efficacité énergétique** : En comparaison avec d'autres sources d'énergie, telles que le nucléaire, il y a une certaine faiblesse entre l'apport en énergie reçue et le volume d'énergie électrique obtenue. Néanmoins, ce dernier vous permet de faire de belles économies, ce qui reste un atout non négligeable.
- **Un rendement et une performance limités** : La performance d'un panneau solaire dépend de l'ensoleillement, du type de panneau et de l'orientation. Au maximum, il permet un rendement de 80 % à 90 %. En conséquence, la solution idéale est d'opter pour une solution qui puisse stocker l'énergie avant de la redistribuer quand vous le souhaitez.
- **Une installation plutôt lourde** : Pour une installation de 3KWc, qui équivaut à une consommation électrique moyenne d'un ménage modeste, il faut compter 8 panneaux solaires. Cette installation pèse au total 163 kg. Ainsi, selon la toiture, il sera parfois nécessaire d'effectuer un renfort de charpente afin que cette dernière puisse supporter ce poids. Cela rend l'investissement plus onéreux.
- **Une fabrication pas très écologique** : Aujourd'hui, la fabrication des panneaux solaires nécessite l'utilisation d'une énergie grise. Toutefois, le bilan écologique global, lorsque les composants et matériaux sont démontés et recyclés en fin de vie, est totalement positif [5].

I.3 Cellules solaires

I.3.1 Technologies des cellules solaires

I.3.1.1 Matériaux solides cristallisés à base de silicium

Les matériaux solides cristallisés sont massifs et épais de 0.15 - 0.4 mm. Ils couvrent la majorité de la production mondiale. Les cellules au silicium se trouvent sous forme de plaquettes rondes, carrés ou pseudo carrées. Le matériau qui les constitue est ordonné avec un arrangement parfait des atomes, selon une structure atomique ordonnée de type tétraédrique.

On a deux types le mono et le poly cristallin [8]:

I.3.1.1.1 Monocristallin

Le monocristallin est constitué d'un seul cristal, avec un aspect uniforme et gris bleuté et parfois noir. Il est élaboré à partir d'un bloc de silicium très pur, formé d'un seul cristal. Le procédé industriel pour l'obtenir est lourd et coûteux, mais il permet d'obtenir des cellules aux environ de 20 % de rendement [8].



Figure I.5 : Matériaux solides cristallisés : Monocristallin [8]

I.3.1.1.2 Polycristallin

Le polycristallin est constitué de plusieurs cristaux assemblés et présente l'aspect d'une mosaïque compacte de fragments cristallins bleutés de quelques millimètres à quelques centimètres appelés grains. C'est un matériau moins pur et meilleur marché, mais le rendement tourne autour de 15 % [8].



Figure I.6 : Matériaux solides cristallisés : Polycristallin [8]

I.3.1.2 Couches minces ((2ème génération)

Les couches minces, dite amorphe, sont également solides mais d'épaisseur nettement plus faibles de l'ordre du micron. Les matériaux les plus répandus dans la construction des photopiles sont le silicium (semi-conducteur de type IV).

On trouve aussi des III-V (trois cinq) comme l'arséniure (5) de gallium (3) et des couches minces comme de Cd Te (tellure de cadmium).

Dans ce type la structure est désordonnée, de type vitreuse. L'organisation des atomes n'est plus régulière comme dans un cristal, elle est déformée. Le matériau est caractérisé par des déformations, de petites cavités et les atomes ne sont pas tous liés aux quatre autres atomes, ce qui crée des liaisons pendantes et lui donne le nom d'un mauvais semi-conducteur plein de défauts ; ce qui accélère sa dégradation et réduit sa durée de vie. Pour le silicium fabriqué à partir du silane (SiH_4), ce qui est le cas général, les atomes d'hydrogène vont occuper ces liaisons pendantes. Le matériau obtenu permet la collecte des charges et le dopage avec réduction de la densité de défauts. Ce matériau est un alliage amorphe de silicium et d'hydrogène. Cet alliage présente un gap plus élevé que le silicium cristallin et absorbe la lumière beaucoup plus fortement ; il a un gap de 1.77eV. Cette deuxième génération est développée pour réduire la masse du matériau utilisé pour la fabrication des cellules de la première génération et en conséquence la réduction de leur cout sans améliorer beaucoup le rendement de conversion. Les matériaux les plus réussies sont tellure de cadmium (CdTe), Cellules cuivre indium gallium sélénium (CIGS), silicium amorphe et siliconmicromorphe.

Ces matériaux sont appliqués dans des couches minces sur des substrats de support tels que le verre ou la céramique [8].



Figure I.7 : Cellule de silicium amorphe [8]

I.3.1.3 Couches minces avancées (3ème génération)

Les travaux de recherche sur les couches minces ont conduit à des cellules de la troisième génération de hautes performances tout en maintenant des coûts réduits. Les modules fabriqués à partir des cellules photovoltaïques de troisième génération sont surtout connus pour leur souplesse et flexibilité, ce qui a permis d'élargir leur domaine d'utilisation dans les différentes conditions naturelles et climatiques.

Ces cellules peuvent être installées facilement dans différents types de surfaces : les toitures, les plateaux de véhicules, les façades extérieures des tentes, voire même dans certains habits [8].

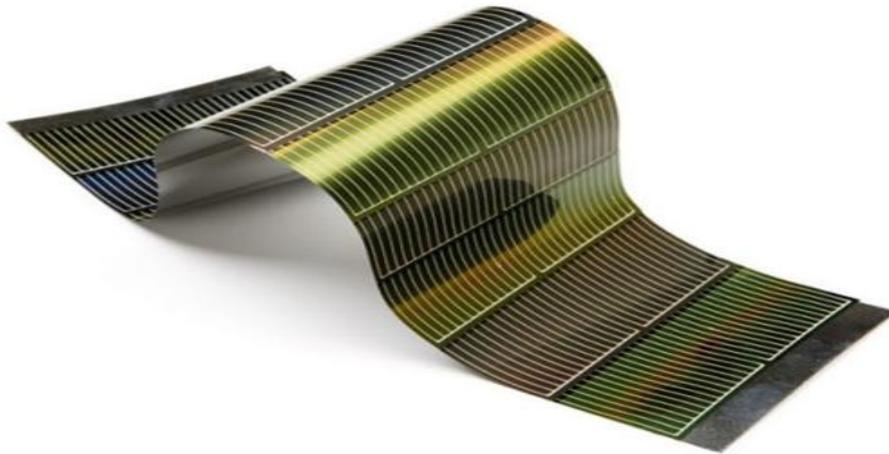


Figure I.8 : Couches minces avancées [8]

I.3.2 Fabrication des cellules solaires

La fabrication des cellules photovoltaïques passe par 4 étapes [9] :

1. Extraction et purification du silicium photovoltaïque à partir de la silice
2. Obtention des lingots de silicium
3. Obtention des wafers photovoltaïques
4. Dopage et jonction P-N

I.3.3 Comparaison de différents types de cellules solaires

Les cellules à base de silicium, sous ses deux formes cristallin et amorphe, sont à l'échelle de production industrielle, par contre les autres sont au niveau du laboratoire [6].

Type de cellule	Rendement		Avantages	Inconvénients
	Laboratoire	Commercialisé		
Silicium monocristallin	25%	12 à 20%	Très bon rendement. -Durée de vie importante (+/-30ans).	-Coût élevé. -Rendement faible sous un faible éclairage.
Silicium polycristallin	20%	11 à 15%	- Bon rendement. - Durée de vie importante (+/- 30 ans). - Meilleur marché que le monocristallin.	- Rendement faible sous un faible éclairage.
Silicium amorphe	13,4%	5 à 9%	- Fonctionnent avec un éclairage faible. - Bon marché par rapport aux autres types de cellules. - Moins sensible aux températures élevées.	- Rendement faible en plein soleil. - Durée de vie courte (+/-10 ans), - performances qui diminuent sensiblement avec le temps
Cellule sans silicium en couche mince : Cuivre-indium selenium (cis)	19,3%	9 à 11%	- Meilleurs rendements par rapport aux autres cellules photovoltaïques en couche mince. - Les matériaux utilisés ne causent pas de problème de toxicité. - La cellule peut être construite sur un substrat flexible	- Rendement faible par rapport aux cellules cristallin

Tableau I.1 : Comparaison de différents types de cellule solaires [6]

I.4 Système photovoltaïque (PV)

I.4.1 Historique

Le mot photovoltaïque vient du Grec « photôs » qui signifie lumière et de « Volta » du nom physicien italien qui, en 1800, découvrit la pile électrique. Son historique est comme suit [6]:

- L'effet photoélectrique

1839: Découvert par Antoine César Becquerel et son fils Edmond, France

1875: Werner Von Siemens (1816-1892) expose devant l'académie des sciences de Berlin un article sur l'effet PV dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la seconde guerre mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

1886: Étudié par Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894, Allemagne)

1905: Expliqué par Albert Einstein (1879-1955), Il a découvert, en travaillant sur l'effet photoélectrique, que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie était portée par des particules : les photons.

1954: Trois chercheurs américains (Chapin, Pearson et Prince) mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement (9 %) et les Laboratoires Bell construisent le premier module solaire mais il était trop coûteux pour être produit en série (application pour les satellites).

1958: Premier satellite artificiel équipé de cellules solaires (Vanguard I), suivi du lancement de plusieurs satellites équipés de systèmes photovoltaïques. Le rendement a connu un progrès très rapide de 8% en 1957 à 14% en 1960.

1960: Les années 60 voient un ralentissement de l'évolution du rendement des cellules au silicium. A cause du prix élevé des cellules solaires, la seule application a été dans le domaine spatial et cela jusqu'aux années 70.

1973: Crise pétrolière. Développement des systèmes solaires (la première maison alimentée par des cellules PV, construite à l'Université de Delaware, aux États-Unis).

1983: La première voiture alimentée par l'énergie solaire PV a parcouru une distance de 4000Km en Australie.

1985: Université de Nouvelle-Galles du Sud (Australie): Piles de rendement 20%

1994: National Renewable Energy Laboratory (NREL): pile de rendement 30%.

Fin 2014 Empire Valley Project, avec une puissance de 890 mégawatts (Amérique).

Aujourd'hui

- Gros travail de recherche partout dans le monde.
- Plusieurs stations solaires PV (1MWc et plus) à injection au réseau sont implantées à l'échelle nationale.
- Technologie qui commence à approcher de la viabilité économique.
- Les prix en descente pour le Watt produit par l'énergie photovoltaïque [6].

I.4.2 Définition de système photovoltaïque

Un système (photovoltaïque) PV est un ensemble d'éléments (constituants) de production d'électricité, en utilisant une source solaire. Ces constituants sont essentiellement le champ PV, le conditionnement de puissance, le système de stockage (dans un certain cas), et la charge [6].

I.4.3 L'effet photovoltaïque

La conversion photovoltaïque est l'opération que subit certain matériau quand ils sont soumis au rayonnement solaire pour produire de l'électricité [6].

Dans la conversion photovoltaïque trois phénomènes physiques sont mis en jeu :

- L'Absorption de la lumière dans le matériau
- le Transfert d'énergie des photons aux charges électriques
- la collecte des charges.

1. Absorption de la lumière dans le matériau

La lumière se compose de photons « grains de lumière » chacun porteur d'une énergie dépendant de sa longueur d'onde (couleur du rayon ». Ces photons peuvent pénétrer dans certains matériaux. Par exemple les objets transparents pour notre œil laissent passer la lumière visible. Quand la lumière atteint la surface d'un matériau, elle va subir trois événements optiques. Ce sont les propriétés optiques des matériaux rencontrés qui conditionnent la répartition de ces diverses contributions [6].

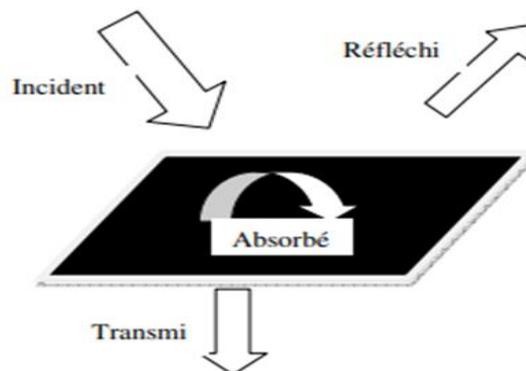


Figure I.9 : Événements subit par un flux lumineux [6]

2. Transfert d'énergie des photons aux charges électriques

Les photons absorbés vont transférer leurs énergies aux électrons périphériques (les plus éloignés du noyau). Ce qui les permet de se libérer de l'attraction de leur noyau. Ces électrons libérés sont susceptibles de produire un courant électrique si on les attire ensuite vers l'extérieur.

le comportement du matériau semi-conducteur pour les deux cas : cas d'obscurité et le cas de l'exposition à la lumière. Dans le premier cas la bande de conduction est vide. Par contre dans le deuxième cas où le matériau est exposé à la lumière, les électrons vont être libérés grâce aux photons d'énergie supérieure à la bande interdite du matériau. L'excès d'énergie est dissipé sous forme de chaleur dans le matériau. Cette propriété dite photoconductivité est spécifique aux semi-conducteurs ; ils comportent des électrons libérables ; contrairement aux isolants où tous les électrons sont fortement liés et aux conducteurs électriques dans lesquels il y a une forte densité d'électrons totalement libres [6].

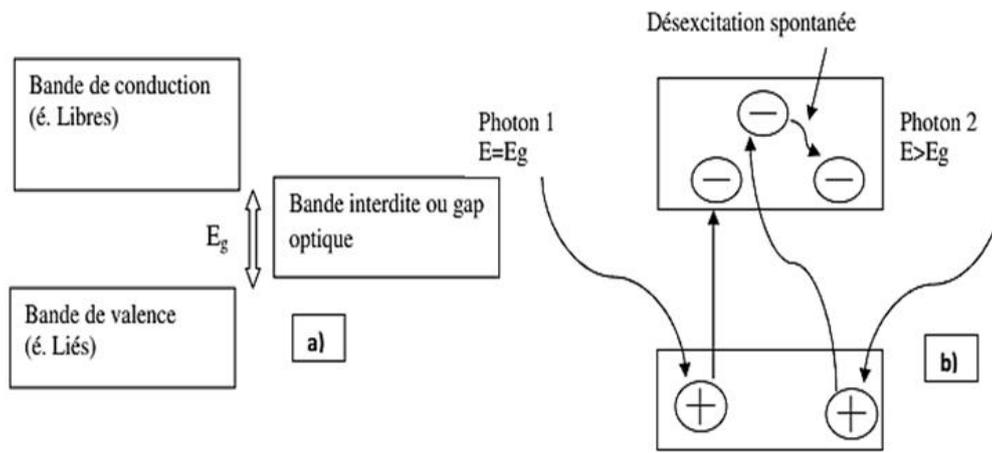


Figure I.10 : Diagramme d'énergie d'un SC A : Dans l'obscurité, B : sous illumination [6]

3. Collecte des charges

La collecte des charges nécessite la création d'un champ intérieur du matériau. Pour que les charges libérées par l'illumination soient génératrices d'énergie, il faut qu'elles circulent. Il faut donc les attirer hors du matériau semi-conducteur dans un circuit électrique sinon elles se recombinent. Alors d'où la création d'une Jonction volontairement dans le semi-conducteur pour engendrer un champ électrique à l'intérieur du matériau qui va entraîner les charges négatives d'un côté et les charges positives d'autre côté [6].

I.4.4 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque est fondé sur les propriétés de semi-conducteurs qui, percutés par les photons, mettent en mouvement un flux d'électrons. Les photons sont des particules élémentaires qui transportent l'énergie solaire à 300 000 km/s et qu'Albert Einstein appelait dans les années 1920 les « grains de lumière ». Lorsqu'ils frappent un élément comme le silicium, ils arrachent des électrons à ses atomes.

Ces électrons se mettent en mouvement, de façon désordonnée, à la recherche d'autres « trous » où se repositionner. Mais pour qu'il y ait un courant électrique, il faut que ces mouvements d'électrons soient tous dans le même sens. Pour les y aider, on doit les associer deux types de silicium. La facette exposée au soleil est « dopée » avec des atomes de phosphore qui comportent plus d'électrons que le silicium, l'autre face est dopée avec des atomes de bore qui comportent moins d'électrons. Cette double face devient une sorte de pile : le côté très chargé en électrons devient la borne négative (N), le côté avec moins d'électrons devient la borne positive (P). Entre les deux il se crée un champ électrique.

Quand les photons viennent exciter les électrons, ceux-ci vont migrer vers la zone N grâce au champ électrique, tandis que les « trous » vont vers la zone P. Ils sont récupérés par des contacts électriques déposés à la surface des deux zones avant d'aller dans le circuit extérieur sous forme d'énergie électrique. Un courant continu se crée. Une couche anti-reflet permet d'éviter que trop de photons se perdent en étant réfléchis par la surface [7].

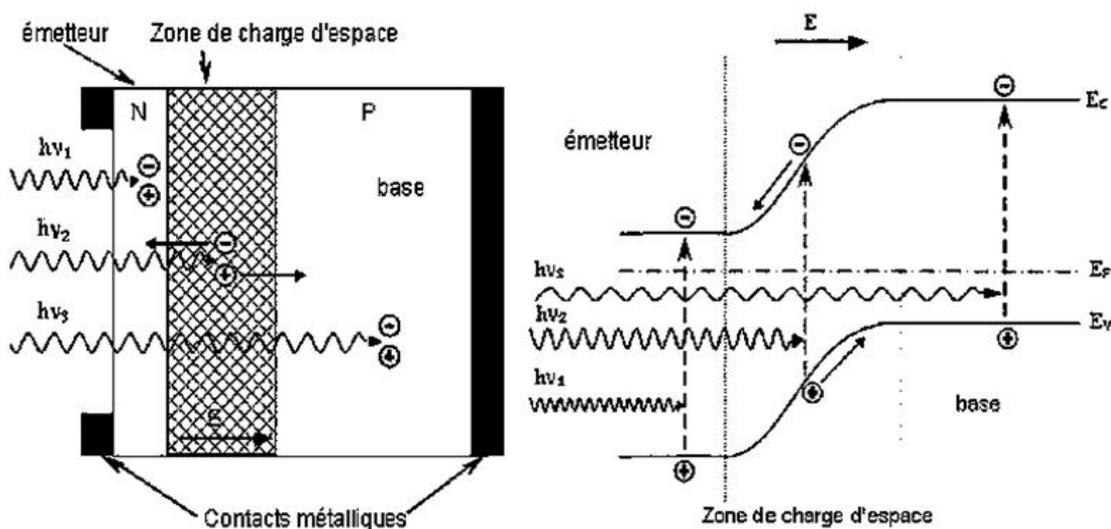


Figure I.11 : Schémas de principe du fonctionnement d'une cellule solaire [7]

I.4.5 Module photovoltaïque

La cellule photovoltaïque de base génère une puissance très faible par rapport aux besoins typiques des applications domestiques ou industrielles. Une cellule de quelques dizaines de centimètres carrés produit au maximum quelques watts sous une tension inférieure à un volt. Pour augmenter la puissance, plusieurs cellules sont assemblées pour former un module ou un panneau photovoltaïque. Ces modules sont composés de cellules connectées en

série pour convertir la lumière solaire en électricité. Ils sont ensuite associés en série et en parallèle pour former un champ photovoltaïque ayant une puissance crête déterminée par les conditions d'éclairement, de température et de spectre solaire spécifiques. La plupart des modules disponibles sur le marché sont constitués de deux à quatre réseaux de cellules en silicium cristallin [10].

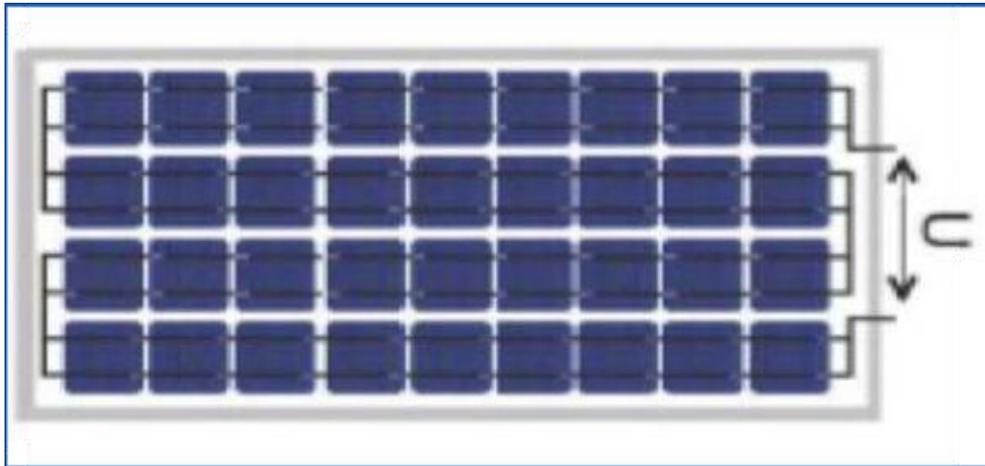


Figure I.12 : Module photovoltaïque [10]

I.4.6 Panneau photovoltaïque

Le panneau photovoltaïque, également appelé champ solaire, est constitué de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle pour générer la puissance nécessaire. Ces modules sont installés sur une structure métallique qui soutient le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique [11].



Figure I.13 : Panneau photovoltaïque [11]

I.4.7 Type des PV

I.4.7.1 Panneaux en silicium cristallin

Actuellement, les panneaux en silicium cristallin sont les plus utilisés et sont divisés en deux catégories :

I.4.7.1.1 Panneau photovoltaïque Monocristallin

Les panneaux monocristallins sont composés de cristaux de silicium de grande pureté. Le lingot de silicium monocristallin a une forme cylindrique, un diamètre de 13-20 cm et une longueur de 200 cm, et est obtenu par la croissance d'un cristal filiforme en lente rotation. Ce cylindre est ensuite coupé en plaquettes de 200-500 μm d'épaisseur et la surface est traitée pour obtenir des « micro-rainures » visant à minimiser les pertes par réflexion. Le principal avantage de ces cellules est leur efficacité (14 à 17%), leur longue durée de vie et la conservation des caractéristiques avec le temps. Les panneaux élaborés avec cette technologie sont généralement caractérisés par une couleur bleu foncé [12].



Figure I.14 : Panneau en silicium monocristallin [12]

I.4.7.1.2 Panneau photovoltaïque Polycristallin

Les cristaux constituant les cellules s'agrègent en prenant différentes formes et divers sens. En fait, les irisations typiques des cellules en silicium polycristallin sont causées par les différents sens des cristaux et donc par le comportement différent par rapport à la lumière. Le lingot de silicium polycristallin est obtenu en faisant fondre et en coulant le silicium dans un moule en forme de parallélépipède. Les plaquettes ainsi obtenues ont une forme carrée et des stries caractéristiques de 180-300 μm d'épaisseur. L'efficacité est inférieure à celle du silicium monocristallin (12 à 14%), toutefois le coût est plus avantageux. La durée de vie est

élevée (comparable à celle du silicium monocristallin) de même que la conservation des performances avec le temps (85% de l'efficacité initiale après 20 ans). Les cellules élaborées à partir de cette technologie peuvent être reconnues à leur surface présentant des grains de cristaux assez visibles [12].

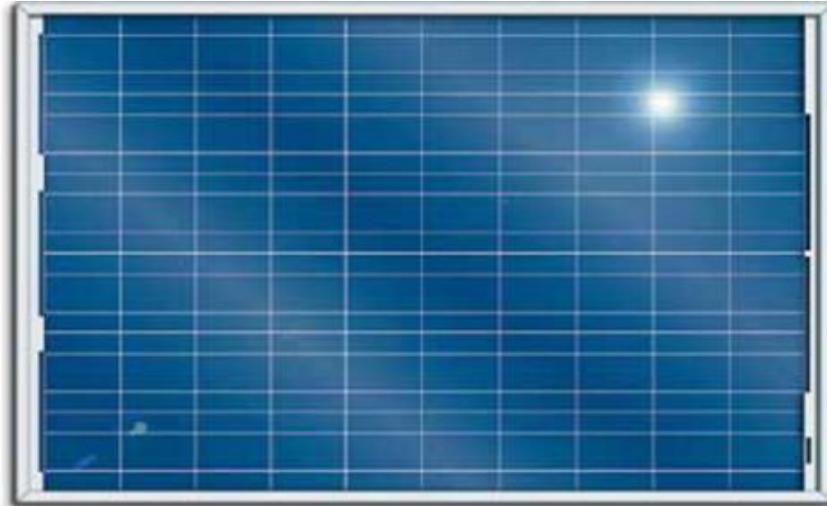


Figure I.15 : Panneau en silicium polycristallin [12]

I.4.7.2 Panneaux à couche mince

Les cellules à couche mince sont composées de matériau semi-conducteur déposé, généralement sous forme de mélanges gazeux, sur des supports tels que le verre, les polymères, l'aluminium, qui donnent une cohérence physique au mélange. La couche mince de semi-conducteur a quelques μm d'épaisseur par rapport aux cellules en silicium cristallin qui en comptent des centaines. Par conséquent, l'économie de matériau est remarquable et la possibilité d'avoir un support flexible augmente le champ d'application des cellules à couche mince [12].

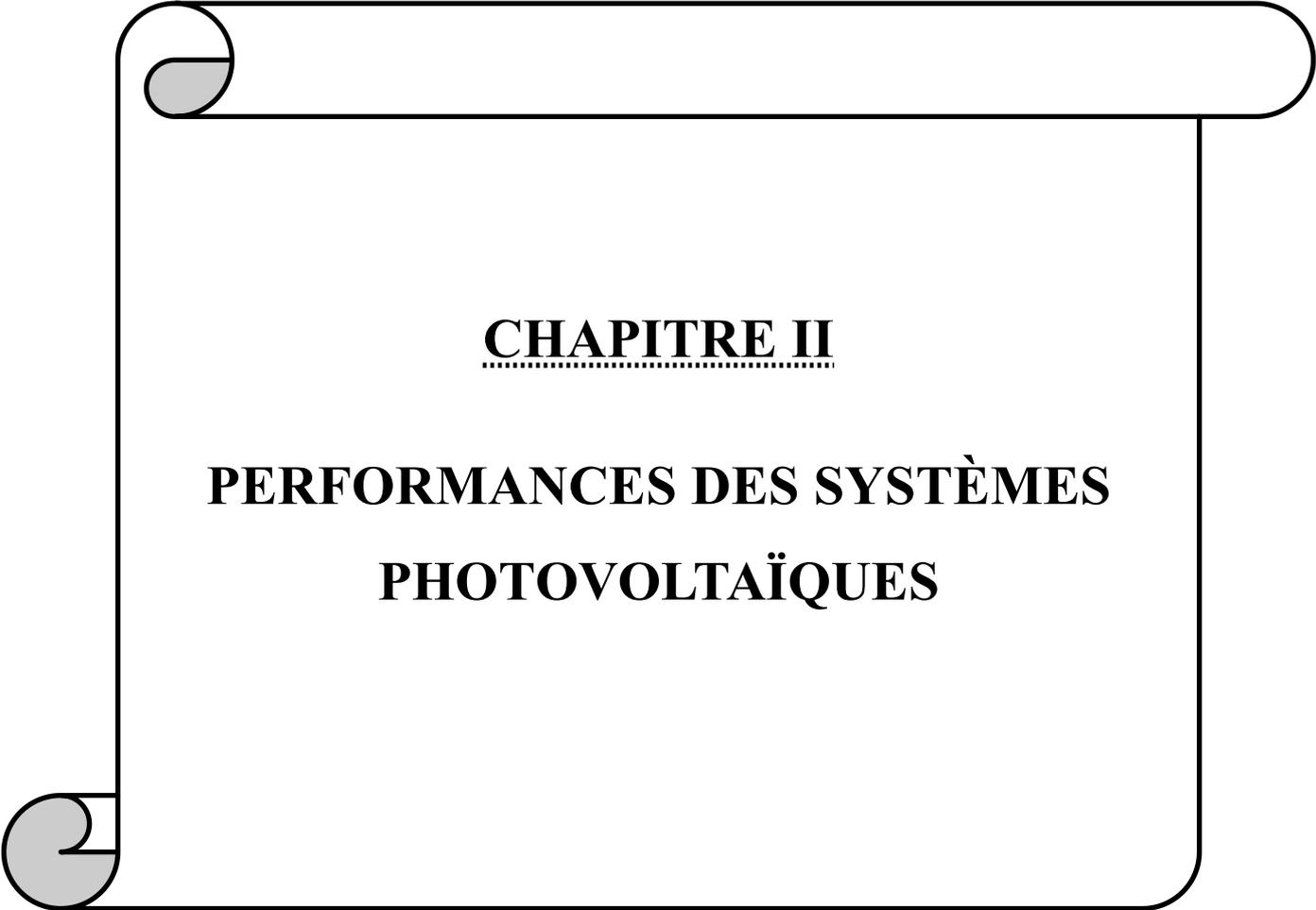


Figure I.16 : Module à couche mince [12]

I.5 Conclusion

Les systèmes photovoltaïques représentent une solution cruciale dans la transition vers un avenir énergétique durable. Dans ce chapitre, nous avons essayé d'explorer en profondeur les principes fondamentaux, les applications pratiques et les implications des systèmes photovoltaïques dans la technologie mondiale.

Cet aperçu général a permis aussi notre idée sur le fonctionnement de ces systèmes en exploitent l'énergie solaire produisant de l'électricité propre et renouvelable, en contribuant ainsi à limiter la pollution dans l'atmosphère du fait de la réduction des émissions des gaz toxiques dégagés des sources traditionnelles.



CHAPITRE II

**PERFORMANCES DES SYSTÈMES
PHOTOVOLTAÏQUES**

II.1 Introduction

L'efficacité des systèmes photovoltaïques (PV) est étroitement liée à une série de paramètres extérieurs. Ces facteurs externes jouent un rôle essentiel dans la génération d'électricité solaire. Les conditions météorologiques liées aux caractéristiques environnementales, où chaque élément influence directement les performances des installations solaires.

Dans ce chapitre, nous explorerons ces paramètres environnementaux et leur impact sur le fonctionnement des systèmes PV, mettant en lumière l'importance de comprendre et de gérer ces variables afin d'optimiser la production d'énergie solaire.

II.2 Efficacité et performances d'un système photovoltaïque

L'efficacité d'un panneau photovoltaïque est le rapport entre le rayonnement solaire tombant sur le panneau et converti en électricité par rapport au rayonnement total tombant sur le même panneau. Par exemple, si vous possédez un panneau photovoltaïque de 1 mètre de long et 1 mètre de large, si la quantité d'électricité produite est de 100 watts et que la quantité de rayonnement solaire tombant sur le panneau photovoltaïque est de 1000 Watts par mètre carré, dans ce cas le rendement du panneau photovoltaïque sera de 10%. À mesure que l'efficacité des panneaux augmente, nous avons besoin de moins de panneaux dans le projet pour atteindre la même capacité ou productivité du projet [13].

II.2.1 L'effet de l'efficacité des panneaux

À droite se trouvent deux panneaux de même surface mais de capacités différentes.

À gauche se trouvent deux panneaux de même capacité mais de capacités différentes.

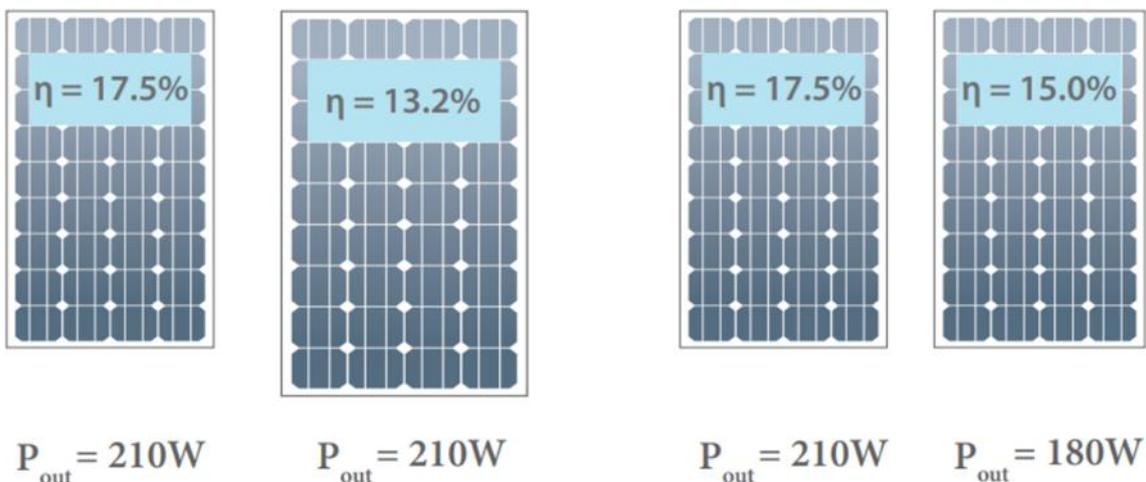


Figure II.1 : L'effet de l'efficacité des panneaux [14]

L'efficacité des panneaux est calculée par l'équation ci-dessous :

$$\text{L'efficacité des panneaux} = \frac{\text{Puissance produite}}{\text{Longueur du panneau} \times \text{largeur du panneau} \times \left(\frac{W}{m^2} \times 1000\right)} \dots (1)$$

II.2.2 Rendement d'un PV

II.2.2.1 Définition de rendement

Le rendement est le rapport entre la quantité d'énergie transformée en électricité et la quantité d'énergie entrée en contact avec l'installation. Il s'agit donc d'une notion qui fait l'état de la performance et du niveau d'efficacité de l'équipement. En clair, plus les panneaux transforment l'énergie en électricité et plus le rendement est important. Si on suit cette logique, plus le rendement est élevé et plus l'installation sera rapidement rentable. Quelle que soit l'utilisation que vous souhaitez faire de l'électricité produite (autoconsommation, autoconsommation avec revente de surplus ou revente totale du surplus), l'objectif est toujours d'obtenir le meilleur rendement possible [13].

Le rendement selon les deux types:

- Pour un panneau photovoltaïque polycristallin, on constate généralement un rendement moyen de 15 à 17 %.
- Pour un panneau photovoltaïque monocristallin, le rendement va quant à lui de 18 à 22 %.

Ainsi, à surface égale et conditions identiques, un panneau monocristallin qui reçoit la même quantité d'énergie solaire qu'un polycristallin peut produire jusqu'à 5 % d'électricité en plus. Il est donc capable de mieux capter la lumière du soleil et les cellules montent plus rapidement en tension. Cela se révèle notamment avantageux dans les régions dans lesquelles l'ensoleillement n'est pas toujours très important [13].

II.2.2.2 L'équation de rendement

Le rendement de la cellule photovoltaïque est le rapport de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Il est défini par la relation suivante [15]

$$\eta = \frac{P_{max}}{E * S} = \frac{I_p * V_p}{E * S} \dots\dots (2)$$

E : éclairement incident (W/m²)

S : surface du module (m²)

II.2.3 Puissance d'un PV

II.2.3.1 Définition de la puissance

La puissance d'un panneau solaire s'exprime en W_c (Watt crête). Les panneaux photovoltaïques monocristallins sont globalement plus puissants que les polycristallins. De ce fait, dans certains cas, il peut être nécessaire d'installer un plus grand nombre de panneaux polycristallins pour un projet ayant une puissance identique. Cela peut s'avérer avantageux si vous disposez d'une surface limitée sur votre toit [13].

II.2.3.2 Puissance de l'installation

La puissance crête détermine la capacité de production électrique de votre installation photovoltaïque. Elle va donc de pair avec son rendement. Toujours sur les recommandations de votre installateur, la puissance de votre installation solaire est définie en fonction de vos objectifs, de vos besoins, des caractéristiques de votre lieu de vie et de votre consommation personnelle (dans le cas d'une autoconsommation) [13].

Des différents niveaux de puissance et de modules sont disponibles sur le marché, allant pour la plupart de 100 W à 400 W. Il est d'ailleurs à noter que, grâce au développement de la filière photovoltaïque, les panneaux solaires disponibles sur le marché sont de plus en plus puissants. L'installateur pourra ainsi vous proposer le nombre adéquat de panneaux à une certaine puissance afin de favoriser le rendement global de votre installation [13].

II.2.3.3 Puissance crête ou puissance réelle

La puissance crête est mesurée dans la condition standard d'essai du module (à savoir les conditions les plus optimales au niveau de la température, de l'inclinaison, de l'ensoleillement etc.). On parle d'ailleurs de puissance maximale (P_{max}) et de STC (Standard Test Conditions) sur les fiches techniques des produits. En réalité, la puissance de vos panneaux ne pourra que très rarement bénéficier de telles conditions [13].

II.3 Les changements climatiques

II.3.1 Notion de climat

Dans une acception étroite, le climat se réfère à une description statistique de la variation d'un ensemble de paramètres pertinents sur des périodes variables, allant de quelques mois à des milliers d'années. Ces grandeurs, mesurées en moyenne, sont généralement des variables de surface telles que la température, les précipitations et le vent.

Dans une acception plus large, le climat représente la description statistique de l'état du système climatique [16].

II.3.2 Définition du changement climatique

Le terme "changement climatique" englobe tout changement dans le climat, qu'il soit d'origine naturelle ou causé par les activités humaines [17].

Selon la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), les variations climatiques attribuées directement ou indirectement à l'activité humaine, qui modifient la composition de l'atmosphère mondiale, s'ajoutent à la variabilité naturelle du climat observée sur des périodes comparables.

Au cours du dernier siècle, le changement climatique se manifeste par des altérations dans les paramètres statistiques du climat, tels que les moyennes et la variabilité. Ces changements peuvent être causés par des modifications de la composition de l'atmosphère résultant des émissions de gaz à effet de serre provenant des activités humaines [18].

II.3.3 Changement climatique dans le monde

Les actions entreprises par l'homme ont entraîné un réchauffement climatique à un rythme sans précédent depuis au moins 2000 ans. Depuis les années 1950, une augmentation de la température de 1,1°C a été enregistrée [19].

À l'heure actuelle, le monde fait face à des changements climatiques anormaux, se produisant à un rythme alarmant et avec une ampleur considérable. Les projections indiquent que d'ici 2100, l'augmentation des températures aura des répercussions majeures sur le climat de tous les continents. Les phénomènes tels que les inondations, les cyclones et les pénuries d'eau deviendront plus fréquents, touchant particulièrement les continents africain et asiatique [20]. Il est prévu que les objectifs de réchauffement planétaire de 1,5°C et 2°C seront dépassés à moins que des mesures significatives de réduction des émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre ne soient mises en œuvre au cours des prochaines décennies [19].

Avec un réchauffement de 1,5°C, nous prévoyons une augmentation du nombre de vagues de chaleur, des saisons chaudes prolongées et des saisons froides raccourcies. Si la température augmente de 2°C, les épisodes de chaleur extrême dépasseront plus fréquemment les seuils critiques pour l'agriculture et la santé publique [21].

D'après le rapport du GIEC sur le changement climatique publié en août 2021, il est suggéré que les schémas de vents pourraient représenter un indicateur négligé dans la prévision des crises climatiques. Habituellement, les discussions sur le changement climatique se concentrent davantage sur les températures que sur les caractéristiques des vents.

Cependant, la direction et la vitesse du vent sont fortement influencées par ce phénomène. On anticipe une réduction significative de la vitesse du vent dans les années à venir en raison du changement climatique, bien que cette tendance puisse varier selon les régions du monde. Par ailleurs, entre 1979 et 2018, la vitesse moyenne du vent terrestre dans le monde (à l'exception de l'Australie) a déjà connu une diminution de 0,063 mètre par seconde chaque décennie [22].

Selon d'autres prévisions, il est également prévu que le taux d'humidité subisse des fluctuations. L'atmosphère, les terres et les océans se réchauffent tous. Cela implique qu'une quantité accrue d'eau s'évapore de la surface de la terre et qu'une plus grande quantité d'eau peut être retenue dans l'air sous forme de vapeur, entraînant ainsi une augmentation des taux d'humidité [23].

II.3.4 Changement climatique en Algérie

L'Algérie, le plus grand pays d'Afrique, situé au Sud de la Méditerranée, présente une diversité géographique contrastée et, est soumis à une double influence climatique des systèmes tempérés et tropicaux. Cette situation particulière la rend extrêmement vulnérable aux impacts du changement climatique mondial. Au cours du 20^{ème} siècle, le climat a connu des variations et les signes du changement climatique se manifestent par des perturbations dans les séries de précipitations. Les projections climatiques pour ce siècle suggèrent un risque de réduction des précipitations pouvant aller jusqu'à 20% [24].

Depuis 1970, les températures moyennes minimales et maximales ont augmenté dans tout le pays, et cette tendance se poursuit. Au cours des deux dernières décennies, les températures maximales augmentent plus rapidement que les températures minimales, avec une augmentation de la température d'environ 2°C. Entre 1923 et 1938, l'Algérie a connu un excès de précipitations. Cet excès s'élevait à environ 17,6% dans l'est. À partir de 1939, une période de sécheresse a débuté et s'est étendue jusqu'en 1946, entraînant un déficit de 10,2% dans le Centre et de 14,5% dans l'ouest. Cependant, un excédent de 6,7% a été enregistré dans l'est. La période de 1947 à 1973 a été caractérisée par une période humide, avec un excédent de 13,1% au centre. Les périodes les plus sèches ont été observées pendant les années 1949-1956 et en 1960. À partir de 1974, on observe une diminution des précipitations, soit environ 13% dans l'est, 13,6% dans le Centre et 16,1% dans l'ouest. Depuis 2000, les précipitations sont restées déficitaires dans toutes les régions [25].

II.4 Paramètres extérieures influençant les performances des systèmes PV

II.4.1 Comportement des modules PV

Les performances des systèmes photovoltaïques (PV) sont significativement influencées par divers facteurs, à la fois internes et externes, dont beaucoup sont liés à l'emplacement géographique. Parmi ces paramètres figurent le rayonnement solaire, la température, la vitesse du vent et la pollution atmosphérique. Toute variation climatique entraîne des fluctuations dans le rayonnement solaire et la température environnante, ce qui se traduit par des variations dans l'efficacité de la production d'énergie solaire des installations PV [27, 28, 29].

De nombreuses études ont été menées pour évaluer comment ces facteurs affectent l'efficacité des panneaux solaires photovoltaïques (PV), et elles ont abouti à des conclusions variées.

II.4.2 Conditions météorologiques

II.4.2.1 Influence de l'irradiation

L'étude d'influence de la température et de l'irradiation sur les paramètres photovoltaïques dans des conditions réelles de fonctionnement révèle que, pour des panneaux photovoltaïques de technologie monocristalline et polycristalline, la puissance maximale augmente avec l'augmentation de l'irradiation solaire sur le site [29]. ainsi le rendement énergétique du panneau PV diminue avec la diminution du taux d'irradiation.

Effectivement, un panneau solaire capture le maximum d'énergie lumineuse lorsqu'il est perpendiculaire aux rayons solaires. Cependant, l'angle d'incidence de ces rayons varie tout au long de la journée et au fil des saisons. De plus, une plus grande quantité d'ensoleillement se traduit par une production d'énergie plus élevée dans les cellules solaires, ce qui augmente la performance de l'installation photovoltaïque [30].

II.4.2.2 Influence de la température

L'efficacité des modules photovoltaïques diminue d'environ 0,5% pour chaque augmentation de température de 1°C. Cela signifie que des températures élevées de l'air ambiant, surtout en présence d'une irradiation solaire directe importante, peuvent avoir un impact significatif sur la puissance de sortie maximale des panneaux solaires. Cette augmentation de température affecte négativement les panneaux solaires en couches minces ainsi que ceux en silicium cristallin, entraînant une diminution de leur performance. En effet,

plus la température augmente, plus le rendement des panneaux diminuent. Ainsi, la température a un impact négatif sur l'efficacité des panneaux photovoltaïques.

Effectivement, pour optimiser l'efficacité des panneaux solaires, il est nécessaire d'envisager des systèmes de refroidissement afin de maintenir une température plus basse. Différentes méthodes de refroidissement sont disponibles, telles que le refroidissement par air forcé et le refroidissement par eau. Ces systèmes permettent de dissiper la chaleur générée par les panneaux solaires, ce qui contribue à maintenir leur rendement à des niveaux optimaux, surtout dans des conditions d'irradiation solaire élevée [31].

II.4.2.3 Temps nuageux

Un ciel nuageux diminue l'efficacité des panneaux solaires en réduisant à la fois la quantité de rayonnement solaire atteignant la surface et la température de l'air ambiant [32]. Contrairement à l'effet de la poussière qui influe à long terme, la couverture nuageuse peut entraîner des variations significatives de la production photovoltaïque sur une échelle de temps de quelques minutes, car elle a un impact immédiat [33].

Ainsi, les nuages ont une relation inverse avec la production d'énergie solaire. Celle-ci diminue lorsque l'épaisseur de la couverture nuageuse augmente. Dans un même lieu géographique, le pourcentage de perte de puissance de sortie en raison d'une couverture nuageuse légère sur un module photovoltaïque est estimé à 23,80%. De même, le pourcentage de perte de puissance de sortie en raison d'une forte couverture nuageuse sur un module photovoltaïque est estimé à 66,75%. [34].

II.4.2.4 Influence de l'humidité

L'influence de l'humidité varie de différentes manières en fonction de son augmentation ou de sa diminution dans l'atmosphère.

Gwandu a indiqué que l'humidité influence le niveau d'irradiation de la lumière solaire, ce qui a pour conséquence de réduire les radiations soumises au panneau PV en raison de la réflexion causée par les particules de vapeur d'eau [35].

De plus, l'accumulation de poussière est plus problématique avec une humidité plus élevée, car des dépôts solides se forment sur la surface du panneau photovoltaïque, ce qui réduit ses performances [32, 28]. mais, l'effet le plus significatif de l'humidité, qui affecte les cellules solaires à long terme, est la corrosion des cellules et des joints métalliques, ainsi que la détérioration des polymères utilisés. Ces phénomènes se produisent lors de l'exposition prolongée des modules photovoltaïques à l'humidité, ce qui entraîne la pénétration d'eau dans le module [36].

Cependant, l'humidité peut également avoir un impact positif, car l'humidité et les vents combinés peuvent augmenter l'efficacité des panneaux solaires photovoltaïques (PV) dans les climats chauds. Ensemble, ils jouent un rôle crucial dans le refroidissement des surfaces des panneaux solaires [27].

II.4.2.5 Influence du vent

La puissance et le rendement des panneaux photovoltaïques augmentent avec l'augmentation de la vitesse du vent, ce qui témoigne de l'effet bénéfique du vent en tant que facteur de ventilation pour les cellules du capteur photovoltaïque. Le vent agit comme un refroidisseur des cellules, ce qui réduit la température du module et augmente son efficacité [37]. Cela présente ainsi un effet compensatoire pour contrer l'impact négatif de la surchauffe des panneaux solaires lors des journées chaudes [38].

Après l'éclairement et la température ambiante, le vent est le paramètre ayant le plus d'influence sur la température de fonctionnement du système PV [26]. Mekhilef, durant son étude, a observé que l'augmentation de la vitesse du vent a provoqué une réduction de l'humidité de l'air atmosphérique, ce qui entraîne un meilleur rendement du panneau. Cependant, une vitesse de vent élevée peut entraîner une augmentation de la poussière et la disperser autour des modules PV, entraînant une baisse de la performance des cellules, plus particulièrement dans la région du Sahara où les vents forts sont souvent associés à des tempêtes de sable [32].

Il a donc été clairement démontré qu'un nombre important de paramètres climatiques, plus particulièrement l'humidité, la température et le vent, influent considérablement sur l'efficacité des panneaux solaires PV [31, 37, 39]. Dans les prochaines années, l'ensemble des paramètres climatiques cités varieront fortement en raison d'un changement climatique inévitable. Les prévisions climatiques dans la région du bassin méditerranéen et du Maghreb le confirment, il y aura une nette hausse dans les températures influant directement sur le taux d'humidité relative dans l'atmosphère qui ira à décroître [19].

Selon une étude effectuée au Massachusetts Institute of Technology (MIT), il y a une réduction du rendement énergétique des installations photovoltaïques au silicium due à l'augmentation des températures en raison du réchauffement de la planète en 2100.

D'après cette étude, le réchauffement de la planète n'est pas le seul aspect pertinent du changement climatique qui affectera le rendement énergétique. Les modifications de l'ensoleillement et de l'humidité affecteront la quantité de lumière qui atteint un panneau, puisque les variations de l'ensoleillement auront un effet immédiat qui pourrait bien être plus

perceptible que celui de la température [39]. Nous tenterons nous aussi, à travers notre étude expérimentale, d'identifier l'impact de certains paramètres climatiques pour pouvoir cerner par la suite celui du changement climatique sur le rendement énergétique des panneaux PV.

II.4.3 Poussière

La présence de saleté et de poussière sur la surface des panneaux solaires peut entraîner une réduction significative de l'intensité du rayonnement solaire atteignant la surface du module photovoltaïque, ce qui provoque une détérioration notable de la conversion de l'énergie solaire en électricité. Cela se traduit par une diminution de l'efficacité. Bien qu'il existe actuellement diverses méthodes de nettoyage des systèmes photovoltaïques, il est plus réaliste d'estimer le rendement du système en prenant en compte la réduction due à l'accumulation de poussière pendant la saison sèche [28, 40].

II.4.4 Effet de l'orientation des modules PV

Dans tout l'hémisphère nord, l'orientation plein sud est la meilleure orientation possible pour un module PV.

II.4.4.1 Toiture double-pente orientation Nord-Sud

L'exemple ci-dessous est une maison disposant d'un toit double-pente classique. Un pent du toit est orienté plein sud, l'autre est orientée vers le nord [41].

La face SUD de la toiture est la plus soumise au rayonnement solaire au cours de l'année. Il paraît évident de l'équiper en modules photovoltaïques [41].

La pose de modules sur la face NORD de la toiture est moins évident. Sur l'exemple ci-dessous, compte-tenu de l'inclinaison de la toiture, la pose de modules photovoltaïques sur la face NORD n'est pas pertinent. Dans d'autres circonstances (inclinaison de la toiture moins importante), une étude de faisabilité par un bureau d'études serait nécessaire [41].

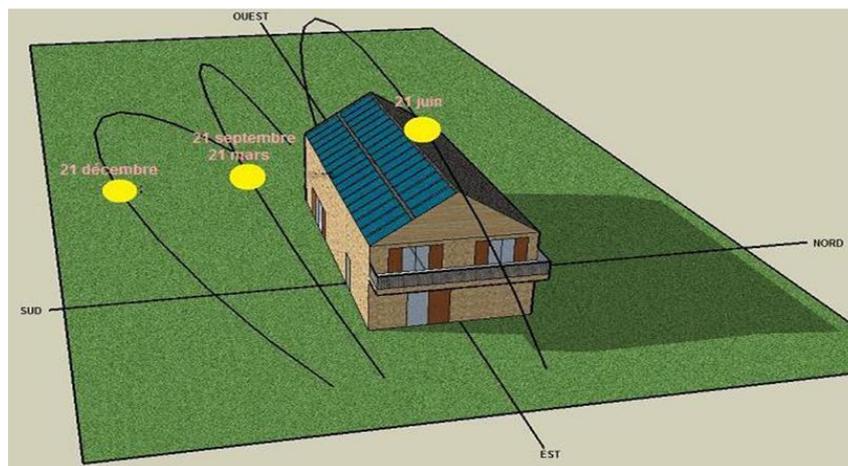


Figure II.2 : Installation photovoltaïque double pente [41]

II.4.4.2 Toiture mono-pente orientation Sud

L'exemple ci-dessous est une maison disposant d'un toit mono-pente orienté plein sud :
Il s'agit du cas idéal car toute la surface du toit est exploitable [41].

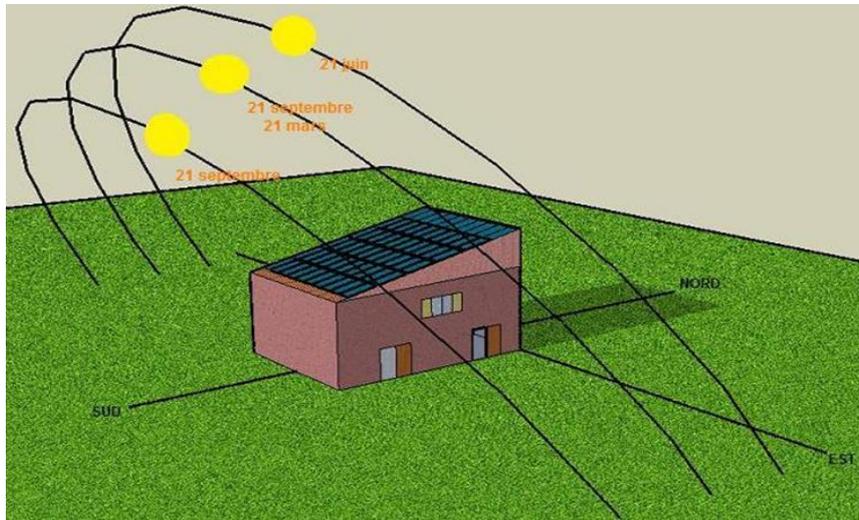


Figure II.3 : Installation photovoltaïque mono pente sud [41]

II.4.4.3 Toiture mono-pente orientation Nord

L'exemple ci-dessous est une maison disposant d'un toit mono-pente orienté vers le Nord :

Dans une installation photovoltaïque sur toit mono pente orienté vers le Nord, la production électrique serait trop faible pour rentabiliser l'installation. Une étude de faisabilité par un bureau d'études serait nécessaire [41].

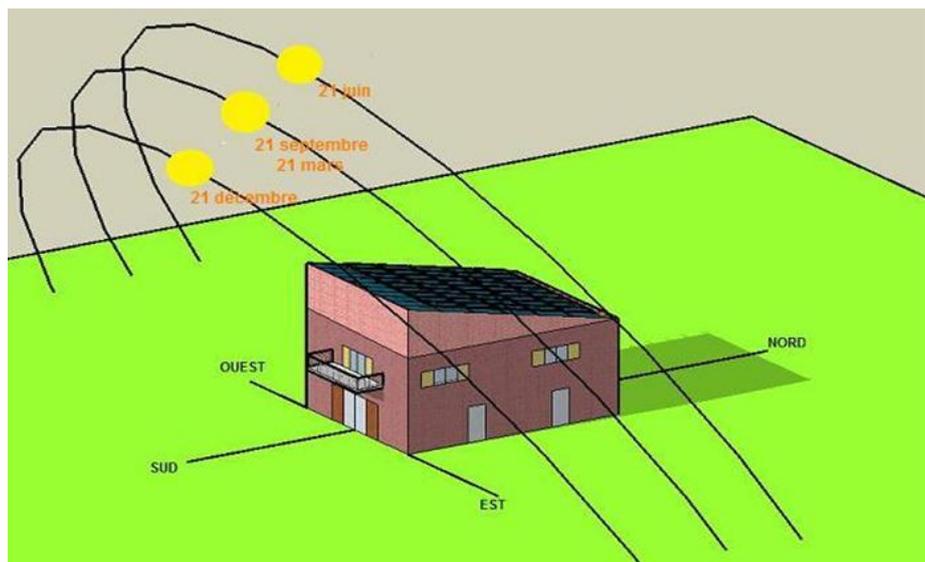


Figure II.4 : Installation photovoltaïque mono pente nord [41]

II.4.4.4 Toiture double-pente orientation Est-Ouest

L'exemple ci-dessous est une maison disposant d'un toit double-pente classique. Il s'agit d'une orientation dite EST-OUEST :

L'intégralité des deux toitures est exploitable [41].

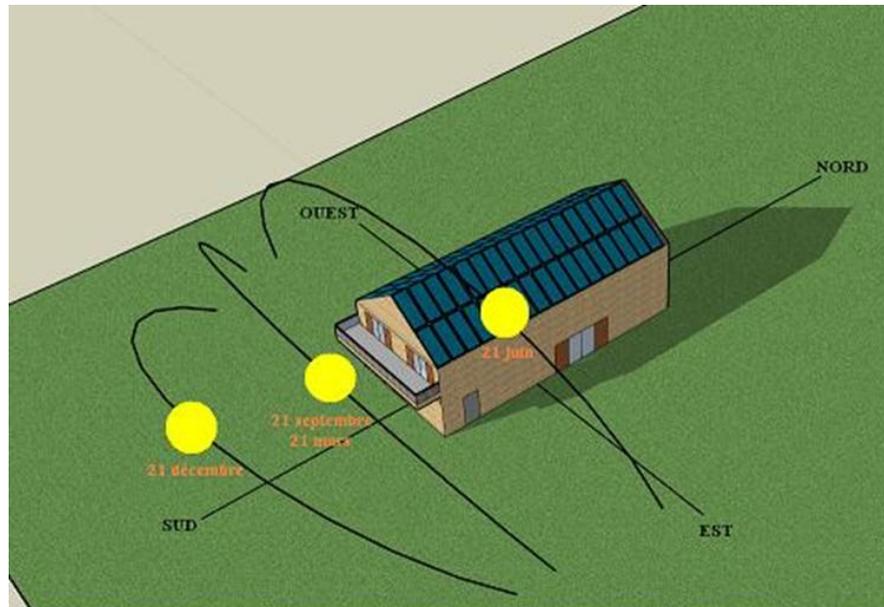


Figure II.5 : Installation photovoltaïque double pente est ouest [41]

II.4.5 Effet de l'inclinaison du champ photovoltaïque

L'inclinaison a un impact limité par rapport à l'orientation, mais elle reste un critère à considérer pour optimiser votre production solaire.

En effet, les panneaux solaires reçoivent davantage d'énergie solaire lorsqu'ils sont placés perpendiculairement au rayonnement.

L'inclinaison correspond à la pente du module par rapport à l'horizontale.

L'inclinaison des capteurs photovoltaïques a une incidence sur la capacité de production annuelle, la quantité d'énergie reçue est maximale lorsque le rayonnement est perpendiculaire à la surface des cellules et lorsque le soleil est au plus haut dans le ciel. Or, les panneaux sont fixes et l'angle d'incidence des rayons lumineux n'est pas immuable au fil des heures et saisons, une inclinaison comprise entre 30 et 35° serait ainsi idéale et la plus adaptée pour maximiser le potentiel de production sur l'ensemble de l'année.

Toutefois, dans la pratique, la meilleure inclinaison n'est ni plus ni moins celle de votre toiture. Objectivement, l'inclinaison d'une toiture est difficilement modifiable, et c'est elle qui dicte l'inclinaison des panneaux puisqu'ils sont fixés en parallèle au-dessus de la couverture.

Selon toute vraisemblance, les pentes des toitures en autre region excèdent rarement 45° d'inclinaison, ainsi dans la grande majorité des cas l'inclinaison sera de toute façon adaptée et permettra une capacité de production rentable. Comme évoqué précédemment, il faut toutefois exclure les installations « à plat » qui ne permettent pas le nettoyage naturel des panneaux.

Elle se mesure en ° : Une inclinaison de 0° signifie que le module est à plat.

L'inclinaison ne constitue pas réellement une problématique de choix, ce dernier étant imposé par la pente de la toiture. Bien entendu, si plusieurs pans peuvent être envisagés pour la pose des panneaux photovoltaïques, il faudra privilégier l'inclinaison la plus favorable [41].

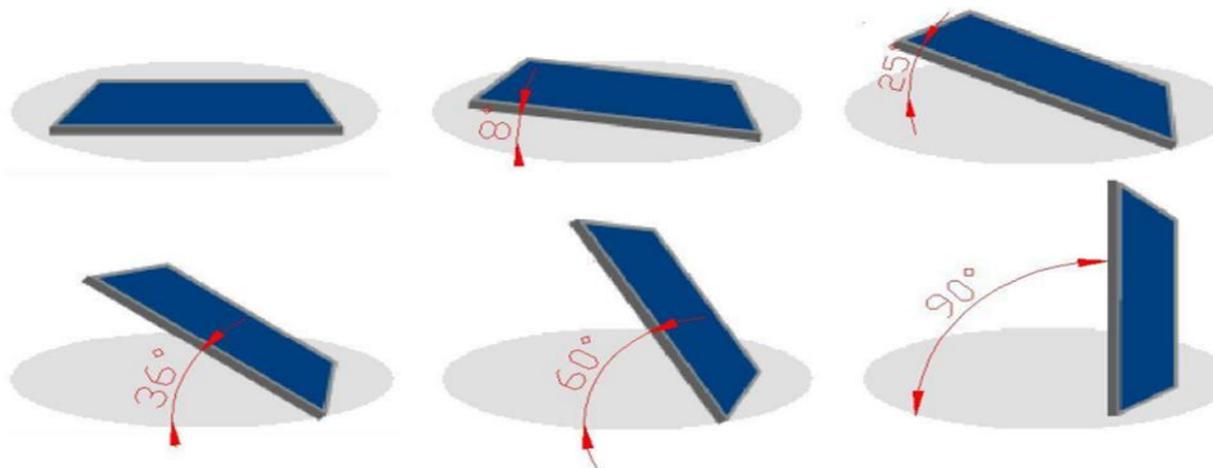


Figure II.6 : Effet de l'inclinaison du champ photovoltaïque [41]

II.5 Processus éventuels de défauts

II.5.1 Dégradations possibles

Composant du champ	Nature des défauts	Dénomination de défauts
Cellules	Module arraché ou cassé Pylônes, cheminée, sable, neige etc. Échauffement des cellules Dégradation des interconnexions Fissure	Défaut de mismatch et l'effet d'ombrage
Groupes de cellules	Absence de diodes Inversion de la polarité des Diodes Diode mal connectée Diode court-circuitée	Défaut de diode de by-pass
Module	Modules court-circuités Modules shuntés	Défaut de module

Tableau II.1 : Processus éventuels de défauts

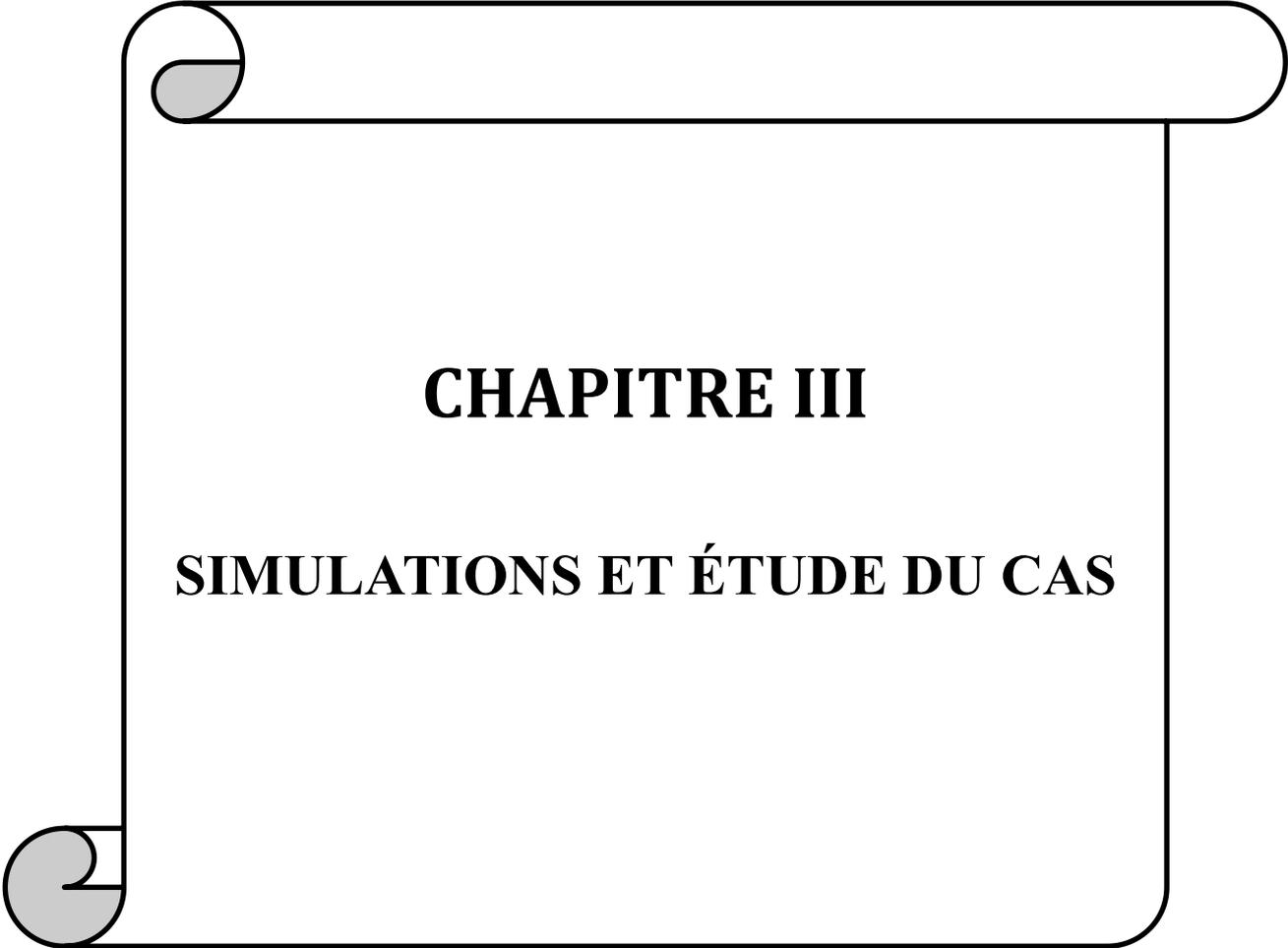
II.5.2 Autres Défaits

Défaut de connexion du module : module court-circuité, module connecté en parallèle avec une impédance et inversion de la polarité du module, ou module arraché.

Défauts dans la boîte de jonction PV : rupture du circuit électrique, court-circuit du circuit électrique, destruction de la liaison, corrosion des connexions. Les insectes, la poussière et/ou l'humidité à l'intérieur des boîtes [42,43].

II.6 Conclusion

De ce qui précède, le bon fonctionnement et la durée de vie d'un module photovoltaïque sont considérés comme étant des principaux avantages souhaitables. Il y a lieu de noter que les systèmes PV peuvent être sujets à diverses formes de dégradation au fil du temps si les conditions d'exploitation n'étaient pas favorables dont certains phénomènes du milieu extérieur peuvent réduire l'efficacité et la durabilité des installations solaires.



CHAPITRE III

SIMULATIONS ET ÉTUDE DU CAS

III.1 Introduction

Les travaux de recherches théoriques basées sur les simulations des systèmes composés en panneaux solaires, ont fait un essor très remarquable dans le domaine d'investigation sur les énergies renouvelables, grâce aux commodités offertes, qui permettent la caractérisation du comportement des panneaux solaires et de mieux comprendre le principe de leurs fonctionnement.

Le présent chapitre a pour objectif d'élaborer une analyse paramétrique permettant d'identifier les facteurs météorologiques majeurs qui affectent le fonctionnement des système photovoltaïques dans la wilaya de Tiaret. Cette étude, est basée l'analyse des performances de deux modules photovoltaïques disponibles aux marchés et fréquemment utilisés dans les installations photovoltaïques, monocristallin et polycristallins, tout en s'appuyant sur les résultats des simulations effectuées à l'aide du logiciel PVsyst; conduisant à poursuivre leurs réponses en terme de puissances maximales et efficacité vis-à-vis de la variation d'éclairement énergétique et de la température.

III.2 Processus de l'étude

Afin de faire des déclarations fiables concernant le rendement énergétique attendu des systèmes photovoltaïques (PV) sur la base des données météorologiques disponibles, il est nécessaire de savoir dans quelle mesure les performances des modules composant ces systèmes ont été affectées dans les deux conditions environnementales les plus importantes : l'irradiation et la température.

Dans cette simulation, nous allons faire une comparaison entre le rendement et l'efficacité de deux panneaux photovoltaïque (monocristallin et polycristallin), portant les mêmes caractéristiques (Puissance, Tension, Longueur, Largeur, Épaisseur, Poids, et Surface). La simulation du modèle étudié doit être passée par plusieurs étapes dans logiciel PVsyst pour faire cette comparaison.

En premier stade, il faut tout d'abord cerner la localisation de la zone d'installation considérée et par conséquent les données météorologiques. L'identification du site géographique à travers une carte interactive de la région permet de préciser les coordonnées géographiques nécessaire à savoir la Latitude, la Longitude et l'Altitude de cette position. Ensuite il y a lieu de mentionner la trajectoire du soleil et remplir les données météorologiques, dont il est nécessaire de préciser les différentes orientations.

En deuxième étape, on procède aux observations pour liées aux variations des performances, notamment aux effets de l'irradiation et de température, en prenant compte des valeurs caractéristiques puissance - tension pour des différentes irradiations et la température du module monocristallin et polycristallin. L'efficacité et le rendement seront calculés à la fin sur la base des résultats observés à l'aide des formules empiriques précédemment citées.

III.2.1 Présentation et identification du site géographique

III.2.1.1 Localisation de la zone d'étude

L'Algérie se trouve, au Nord-Ouest de l'Afrique, en bordure de la méditerranée, et du désert le plus chaud du monde ; là où elle ne bénéficie du climat méditerranéen que sur une étroite frange littorale dont les deux-tiers du territoire est exposé aux climats semi-aride et aride. En vertu de cette position géographique, il devient impossible d'éviter les effets négatifs des changements climatiques, notamment les inondations, la sécheresse et les températures élevées de fait du réchauffement climatique mondial.

La wilaya de Tiaret située à 1080 m d'altitude sur le mont du Gezoul, qui fait partie de la chaîne de l'Atlas tellien, est affectée en effet, par les changements climatiques et la température qui s'accroît de plus en plus aux cours des années.



Figure III.1 : Situation géographique de la région de Tiaret

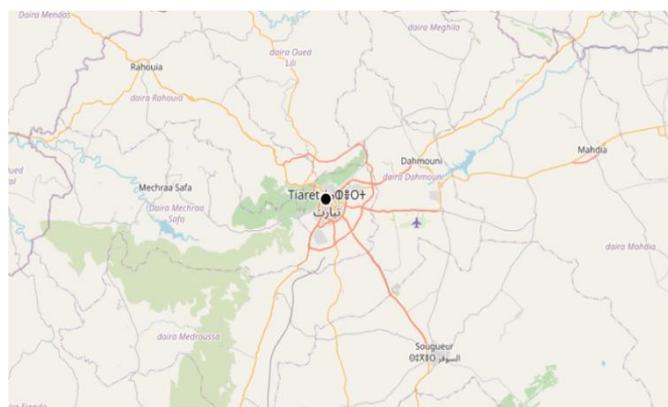


Figure III.2 : Carte interactive la wilaya de Tiaret

III.2.1.2 Coordonnées géographiques

Pour la simulation de notre projet de système photovoltaïque; le site et les données géographiques de la région de Tiaret sont déjà introduites dans la base des données trouvées sur le logiciel de PVSystem.

	Décimale	Deg. Min. Sec.	
Latitude	<input type="text" value="35.3710"/> [°]	<input type="text" value="35"/> <input type="text" value="22"/> <input type="text" value="15"/>	(+ = Nord, - = Hémisph. Sud)
Longitude	<input type="text" value="1.3170"/> [°]	<input type="text" value="1"/> <input type="text" value="19"/> <input type="text" value="1"/>	(+ = Est, - = Ouest de Greenwich)
Altitude	<input type="text" value="1049"/>	M au-dessus du niv. de la mer	
Fus. horaire	<input type="text" value="1.0"/> ^ v	Correspondant à une différence moyenne Temps Légal - Temps Solaire = 0h 55m	

Figure III.3 : Cordonnée géographique de la région de Tiaret

III.2.2 Données de base de la zone étudiée

III.2.2.1 Données météorologiques

Les données météorologiques sont des informations quantitatives et qualitatives collectées à partir des mesures et observations effectuées dans l'atmosphère terrestre. Ces données incluent généralement la température, le rayonnement, la vitesse du vent, l'humidité relative, etc. Les données illustrées dans le schéma ci-dessous sont extraites du logiciel PVsystem.

	Irradiation globale horizontale W/m ²	Irradiation diffuse horizontale W/m ²	Température °C	Vitesse du vent m/s	Humidité relative %
Janvier	116.2	42.3	5.2	4.21	78.9
Février	148.5	52.5	6.7	4.10	74.2
Mars	209.1	69.4	10.1	4.30	69.0
Avril	245.7	91.7	12.2	4.30	65.9
Mai	284.2	103.9	17.5	3.89	56.6
Juin	332.7	87.5	23.8	3.60	41.8
Juillet	333.2	78.7	27.9	3.59	34.3
Août	303.3	71.1	26.7	3.50	39.5
Septembre	233.8	76.7	20.9	3.29	56.0
Octobre	186.1	47.3	17.0	3.80	63.2
Novembre	132.0	43.6	9.7	4.59	74.7
Décembre	100.5	41.3	6.7	4.60	81.2
Année	219.1	67.2	15.4	4.0	61.3

Figure III.4 : Données météorologiques sont extraites du logiciel PVSystem

III.2.2.2 Trajectoire de soleil

Pour toute application solaire, il est essentiel de comprendre le mouvement apparent du soleil pour un emplacement spécifique sur la surface terrestre. La position du soleil est déterminée par deux angles : sa hauteur (HS), qui représente l'angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu, et son azimut (AZ), qui mesure l'angle entre la direction du Sud et la projection du soleil sur l'horizon, avec des valeurs négatives vers l'Est.

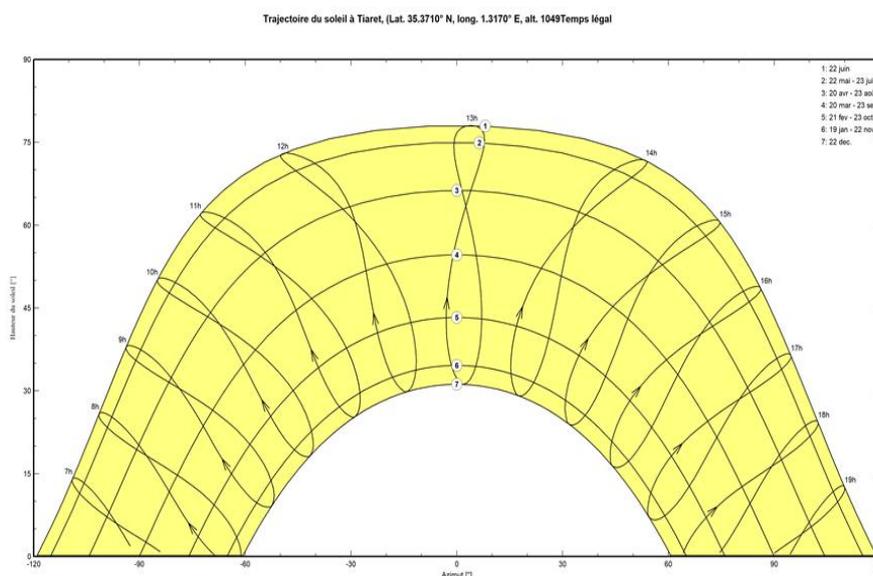


Figure III.5 : Trajectoire de soleil a Tiaret

III.2.2.3 Orientation

Il est nécessaire de choisir des orientations et inclinaisons favorables à la production d'énergie on peut observer les angles d'inclinaison de nos panneaux nécessaires pour que le soleil tombe sur la surface réceptrice de façon à rester en haut plus de temps et donner en conséquence une production optimale d, nous permettant de tirer un profit maximal de l'ensoleillement durant le jour. Ces valeurs ont été déterminées pour une optimisation annuelle et en négligeant toutes les pertes. Pour notre système, Nous avons choisi un plan Incliné fixe par rapport à l'horizontale comme illustre la figure (III.10) c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVsyst.

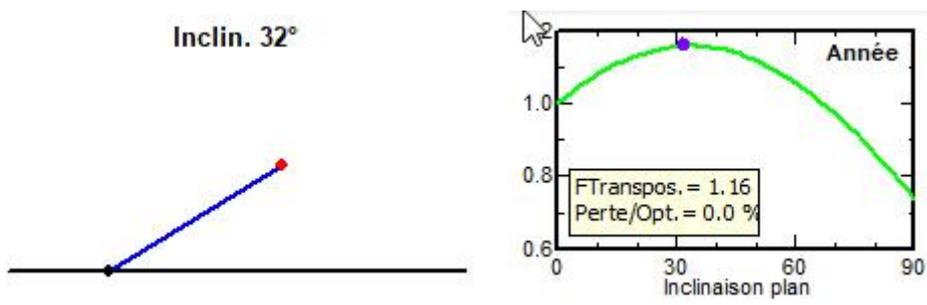


Figure III.6 : l'inclinaison optimale est extraite du logiciel PVsyst

III.2.3 Présentation de logiciel de simulation

Le PVsyst est un logiciel de simulation de systèmes photovoltaïques, développé initialement par le Groupe de Physique Appliquée (GAP) de l'Université de Genève.

Ce projet associant le GAP et le Laboratoire d'Énergie Solaire de l'EPFL (LESO-PB) a eu pour but de rendre ce logiciel, dont les qualités scientifiques sont largement reconnues, plus aisé à utiliser. Ce logiciel est principalement utilisé par les acteurs du domaine des énergies renouvelables plus précisément de l'énergie solaire photovoltaïque. Il s'avère également être un outil d'apprentissage très utile. PVSyst est une aide au dimensionnement des différents types de système solaire photovoltaïque existant. Le projet de logiciel a débuté en 1991 et a connu plusieurs évolutions au fil du temps. Pour la présente simulation, la version 7.1 du logiciel est utilisée (PVsyst v7.1).

III.2.4 Description du modèle

Caractéristiques	
Puissance	250 Watt
Tension	26 Volt
Longueur	1640 mm
Largeur	990 mm
L'épaisseur	35 mm
Poids	20 Kg
Surface	1.624 m ²

Tableau III.1: Caractéristiques de deux modules (monocristallin, polycristallin)

III.3 Étude paramétrique

La température et l'irradiation sont deux principaux facteurs qui influent l'efficacité des panneaux solaires. Nous avons pris la température moyenne de 15 degrés, représentative de la ville de Tiaret. En considérant une fourchette de température de 5 à 25 degrés, nous tenons compte des variations saisonnières qui peuvent affecter la performance des panneaux solaires.

En ce qui concerne l'irradiation, nous faisons référence à une plage de 100 à 500, avec une médiane de 200. Cela signifie la quantité d'énergie solaire atteignant la Terre dans une unité de temps donnée et constitue une mesure importante pour comprendre l'efficacité solaire. Plus de l'irradiation est important, plus la quantité d'énergie pouvant être extraite des panneaux solaires est importante.

III.3.1 Variation des performances

III.3.1.1 Effet de l'irradiation

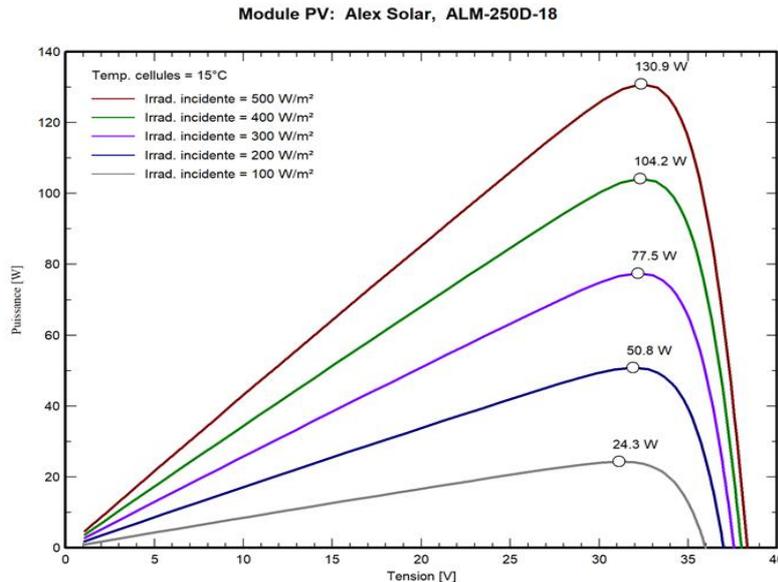


Figure III.7 : Courbe caractéristique puissance - tension pour différentes irradiances d'un module **monocristallin** à température constante (T=15°C)

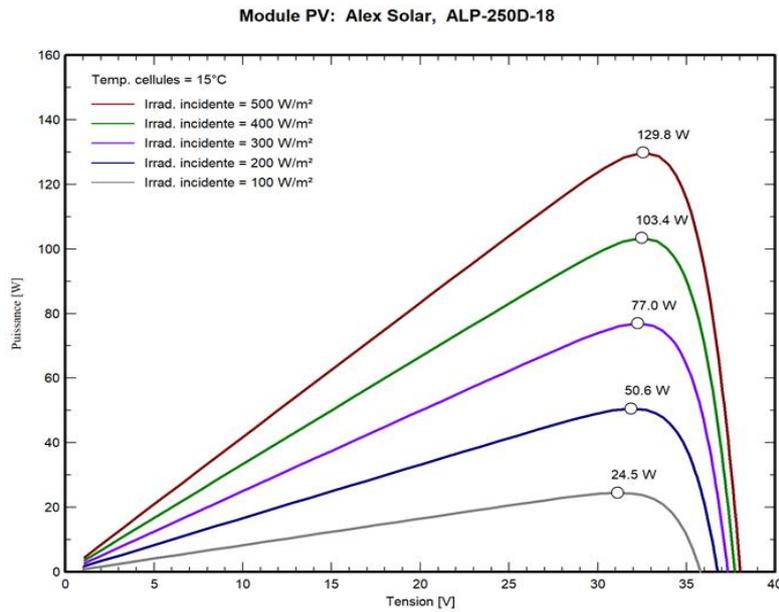


Figure III.8 : Courbe caractéristique puissance - tension pour différentes irradiances d'un module **polycristallin** à température constante (T=15°C)

L'irradiation représente un facteur très important lors de la conception des systèmes photovoltaïques dont son impact paraît significatif surtout sur la tension et la puissance maximale de ces dispositifs. Selon les deux dernières figures montrées, plus la valeur du rayonnement augmente, plus la valeur de la tension et de la puissance augmente, donc il y a

une relation directe entre eux, comme le montre la courbe dans les deux figures ci-dessus, qui représente l'effet de l'irradiation sur la puissance et la tension du module photovoltaïque.

La valeur maximale de la puissance pour chaque irradiation dans le cas d'un module monocristallin est plus élevée par rapport celles observées pour le module polycristallin.

III.3.1.2 Effet de température

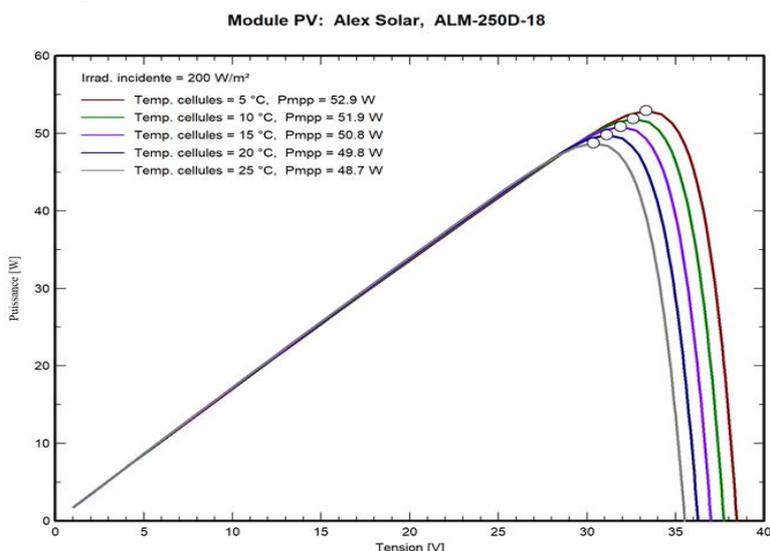


Figure III.9: Courbe caractéristique puissance - tension pour différentes températures d'un module **monocristallin** à irradiation constante ($E=200 \text{ w/m}^2$)

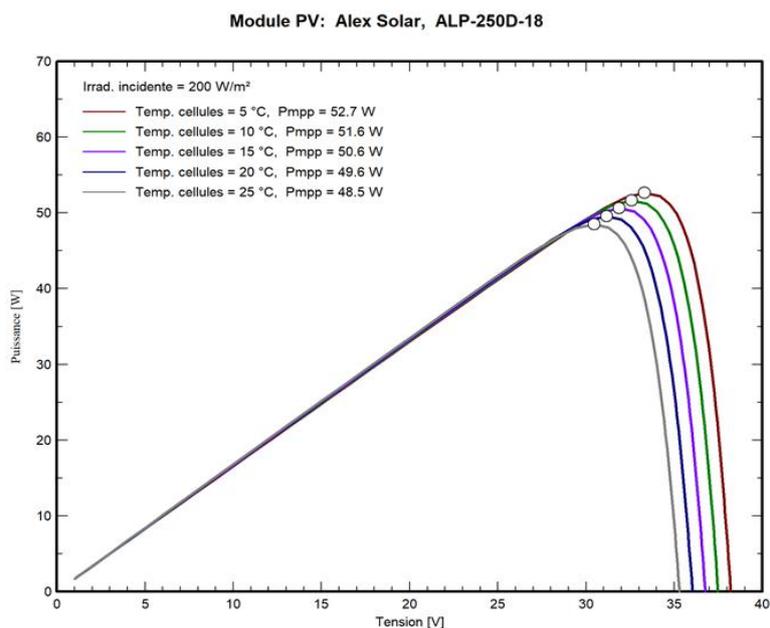


Figure III.10 : Courbe caractéristique puissance - tension pour différentes températures d'un **module polycristallin** à irradiation constante ($E=200\text{w/m}^2$)

La température est un paramètre très important où son effet sur la tension et la puissance de ces appareils parait ainsi significatif. Plus la température est élevée, plus la tension et la puissance sont faibles et vice versa, c'est ce qu'on peut observer à travers la

courbe graphique représentée dans la figure ci-dessus, qui représente l'impact de la température sur la tension et la capacité du dispositif photovoltaïque. Pour ce cas, on remarque aussi dans la figure 1 la valeur maximale de la puissance pour chaque température elle est plus élevée par rapport à la figure 2, donc on dit que le module monocristallin par rapport à le module polycristallin.

III.3.1.3 L'efficacité d'un PV

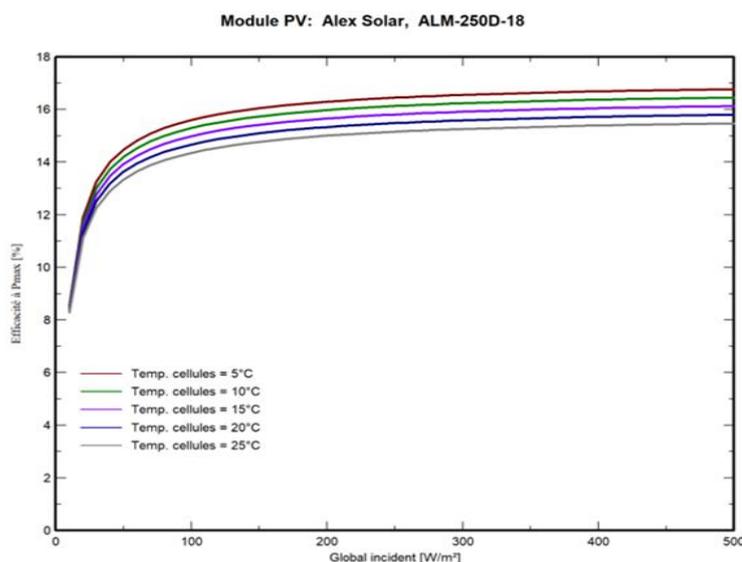


Figure III.11 : Courbe caractéristique efficacité-irradiation pour différentes températures d'un module monocristallin.

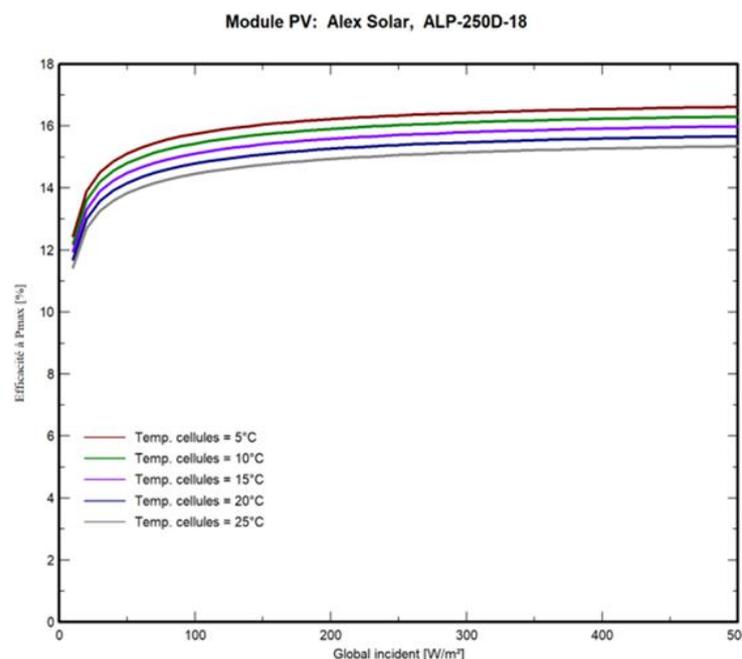


Figure III.12 : Courbe caractéristique efficacité-irradiation pour différentes températures d'un module polycristallin

L'efficacité des panneaux photovoltaïques dépend de plusieurs facteurs, tels que la température et l'irradiation. En effet, lorsque la température augmente, l'efficacité du panneau solaire diminue, et inversement pour l'irradiation plus sa valeur augmente, plus l'efficacité du panneau solaire augmente. Ceci est expliqué dans la figure ci-dessus.

III.4 Discussion des résultats

Après l'observation des résultats de l'étude paramétrique menant vers la détermination de la puissance affectée, on peut calculer le rendement du système PV en utilisant la relation mathématique suivante:

$$\eta = \frac{P_{\max}}{E * S} = \frac{I_p * V_p}{E * S}$$

E : éclairement incident (W/m²)

S : surface du module (m²)

Le calcul du rendement (voir l'annexe B), nous a permis de tracer les courbes suivantes :

- ◆ Courbe de rendement en fonction de l'irradiation selon les deux types (monocristallin, polycristallin).
- ◆ Courbe de rendement en fonction de température selon les deux types (monocristallin, polycristallin).

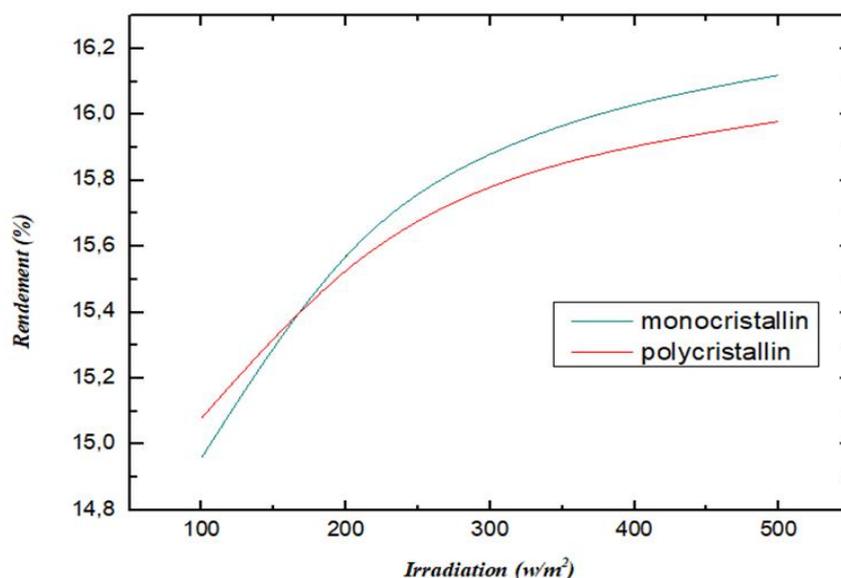


Figure III.13 : Courbe de rendement en fonction de l'irradiation selon les deux types (Monocristallin V/S Polycristallin)

Le rendement d'un système photovoltaïque dépend également de plusieurs facteurs, tels que l'irradiation, et la température moyenne.

En général, le rendement du système augmente lorsque la valeur de l'irradiation augmente. On peut observer aussi à travers la courbe graphique présentée dans la figure ci-dessus, qui représente la variation du rendement en fonction de l'irradiation pour chacun des panneaux photovoltaïques monocristallin et polycristallin, que le rendement du panneau monocristallin est meilleur que celui du panneau polycristallin.

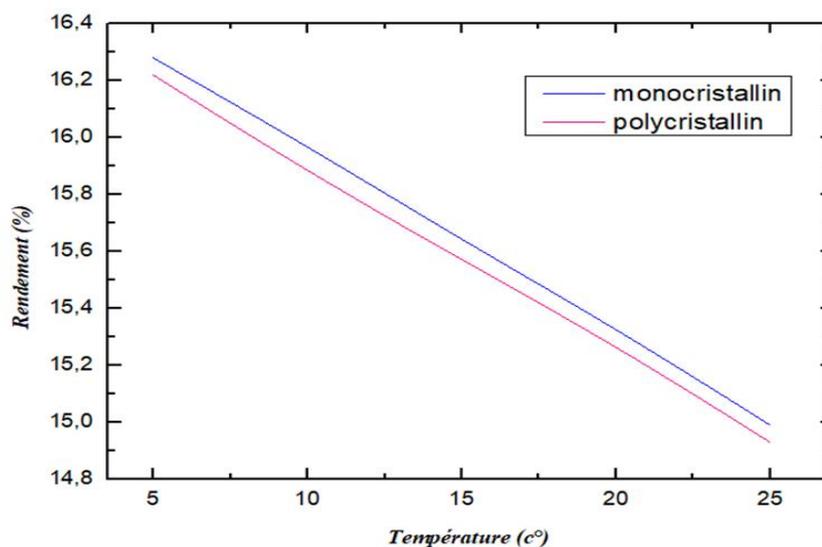


Figure III.14 : Courbe de rendement en fonction de température selon les deux types (monocristallin, polycristallin)

Les panneaux solaires monocristallins et polycristallins sont deux types courants de panneaux photovoltaïques avec des performances et des efficacités légèrement différentes, même si elles sont souvent assez proches.

L'analyse comparative de leurs performances sous les différentes conditions météorologiques, températures et niveaux d'irradiation par exemple, montre les observations suivantes :

- ✓ Le module solaire monocristallin fournit une puissance de sortie (W) supérieure à celle du module polycristallin pour une faible irradiation solaire à température constante ($T=15^{\circ}\text{C}$), qui est de 100 W/m^2 . Cependant, pour un rayonnement solaire supérieur à 200 W/m^2 (300 W/m^2 , 400 W/m^2 et 500 W/m^2), le module solaire monocristallin fournit une puissance de sortie (W) supérieure à celle du module polycristallin.
- ✓ On voit clairement que la puissance de sortie diminue lorsque la température du module augmente plus 5°C à une irradiation constante ($E=200 \text{ w/m}^2$).
- ✓ On constate que la diminution de la puissance de sortie est plus considérable pour les modules solaires polycristallins que pour les modules solaires monocristallins,

- ✓ Les modules solaires polycristallin ont un coefficient de température plus élevé que les modules solaires monocristallin. Ce qui explique pourquoi la technologie polycristallin connaît une perte d'efficacité plus élevée à mesure que la température augmente.
- ✓ Les panneaux photovoltaïques monocristallins ont généralement un rendement légèrement plus élevé que les panneaux photovoltaïques polycristallin. Leur structure cristalline unique leur permet de convertir plus efficacement la lumière solaire en électricité, c'est aussi les panneaux photovoltaïques polycristallin ont un rendement légèrement inférieur à celui des panneaux photovoltaïques monocristallins en raison de leur structure cristalline moins uniforme. Cependant, la différence de rendement peut être minime dans de nombreuses conditions.
- ✓ La valeur de rendement augmente rapidement en valeur 16.12% aux monocristallins par rapport au polycristallin au 15.98% en fonction de l'irradiation sur l'intervalle [100,500].
- ✓ Quant à efficacité dans des conditions météorologiques variables donc si Les panneaux photovoltaïques monocristallins ont tendance à mieux performer par temps nuageux ou faiblement ensoleillé en raison de leur meilleure capacité à absorber la lumière diffuse. Bien que légèrement moins efficaces que les panneaux photovoltaïques monocristallins par temps nuageux, les panneaux photovoltaïques polycristallin peuvent quand même produire de l'électricité de manière significative même dans des conditions moins favorables. La production d'énergie la plus efficace par panneau photovoltaïque était de 16,8% lorsque la température du panneau photovoltaïque était de 5 °C. Toutes ces valeurs étaient similaires aux conditions de test standard (STC) du panneau photovoltaïque. Malheureusement, l'efficacité du panneau photovoltaïque diminuait lorsqu'il était exposé à une température élevée du panneau photovoltaïque. L'efficacité a été constatée dans les pires conditions, soit 15,5 % lorsque la température du panneau photovoltaïque était de 10 °C. Pendant ce temps, le rendement est passé à 15,8 %, 16 % et 16,2 % lorsque les températures des panneaux photovoltaïques étaient respectivement de 25°C, 20 °C et 15°C.
- ✓ Pour l'effet de la température, quant aux performances des deux types de panneaux diminuent lorsque la température augmente à partir de 5°C jusqu'à 25°C dont le rendement diminue de 16.2 % jusqu'à 15% lorsque les températures seraient supérieures à 10°C.

- ✓ Cependant, les panneaux photovoltaïques monocristallins peuvent être légèrement moins affectés par la chaleur que les panneaux photovoltaïques polycristallins, ce qui leur donne un léger avantage en termes de rendement à des températures élevées.
- ✓ En terme d'irradiation les deux types de panneaux réagissent de manière similaire aux effets du rayonnement solaire.

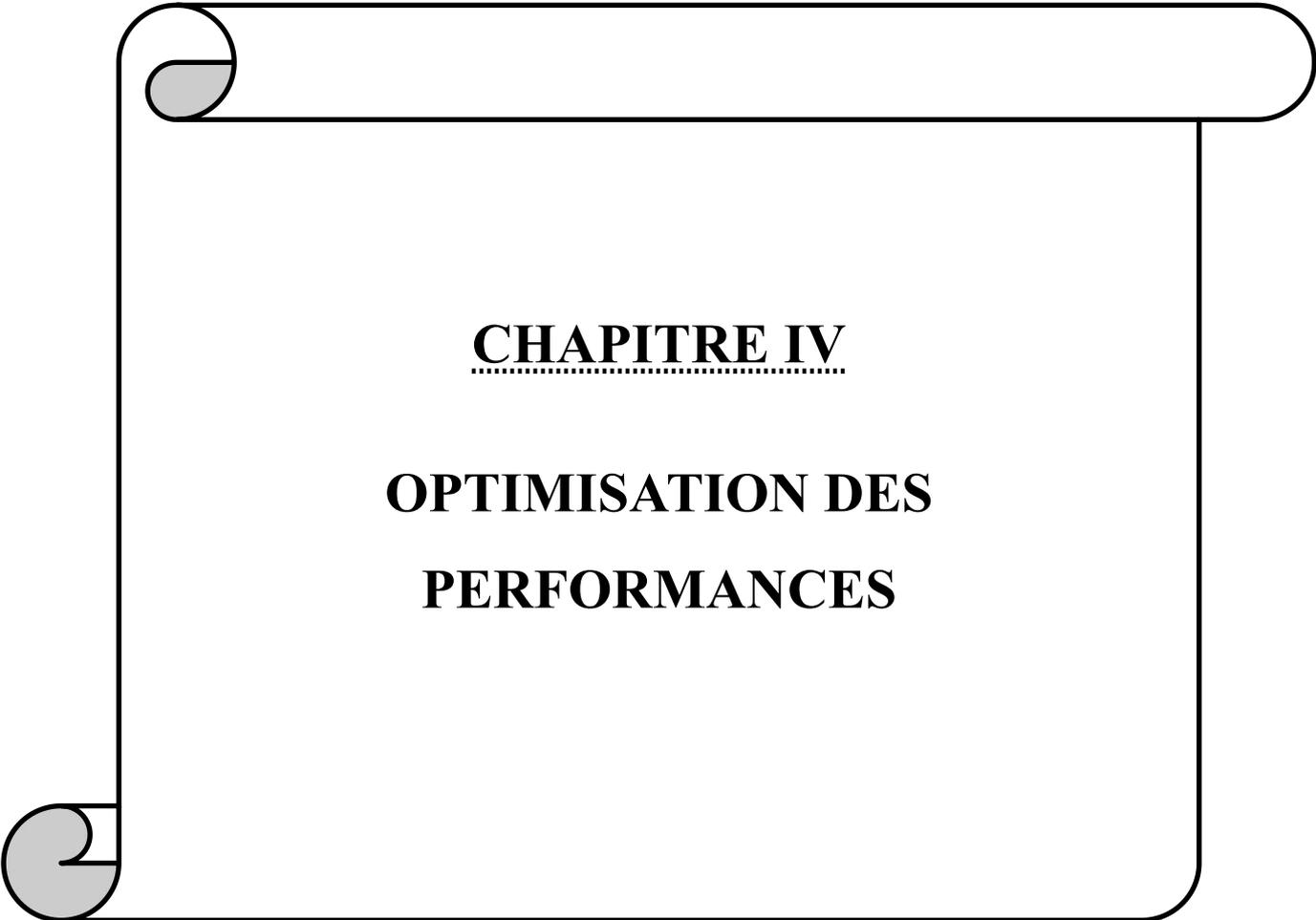
III.5 Conclusion

En conclusion, la simulation des panneaux solaires monocristallins et polycristallins sous des conditions de température et d'irradiation imposées, à l'aide du logiciel PVsyst est fondée essentiellement afin de poursuivre et évaluer l'efficacité et les diverses performances des cellules solaires. En observant la puissance (énergie générée) et la fréquence (efficacité de conversion de puissance) des panneaux solaires, les ingénieurs et les chercheurs peuvent estimer l'impact des conditions environnementales variables sur leur fonctionnement.

Cette analyse a contribué à mieux approfondir les connaissances des différents facteurs à rendre en considération lors d'une conception et/ou d'installation des systèmes photovoltaïques, tout en comprenant comment les variations de température et d'irradiation affectent la production d'énergie des panneaux solaires.

L'utilisation des résultats de la simulation rendra plus possible d'améliorer le comportement de ce types des systèmes, en pensant à optimiser les performances en question (efficacité, rendement énergétique global..).

En fin de compte, la simulation avec PVsyst offre aux concepteurs et aux utilisateurs un outil précieux pour prendre des décisions éclairées concernant la mise en œuvre et l'exploitation des systèmes solaires, contribuant ainsi à promouvoir l'adoption continue des énergies renouvelables.



CHAPITRE IV

**OPTIMISATION DES
PERFORMANCES**

IV.1 Introduction

Les performances des panneaux solaires sont fortement affectées par les paramètres climatologiques (Rayonnement solaire, Température, Humidité, Vitesse du vent, Pluviométrie...).

L'observation des résultats aperçus en chapitre III, issus des simulations effectuées, à l'aide du logiciel PVSyst, vient de confirmer l'impact significatif de la variation de la température sur le fonctionnement de ce type de systèmes. En effet ; une recherche opérationnelle qui vise la prédiction du rendement et de la réponse optimale au cours du temps s'avère nécessaire dans ce cas.

Le présent chapitre a pour objectif de parachever le travail abordé de notre étude du cas, en considérant l'importance du facteur chronologique des changements météorologiques dans la wilaya de Tiaret, en particulièrement le gradient thermique mis en jeu.

IV.2 Analyse des données climatiques

Les résultats de notre étude paramétrique, sont basés sur l'influence des conditions modérées du climat réel ; dont les températures moyennes sont pondérées ; à partir de l'extrait du bulletin indiqué ci-après (figure IV.1) pour la période et la zone d'étude du cas considéré, sans avoir enregistré des anomalies, à savoir ; la température moyenne T_{moy} était aux environs de 15 et 16°C.

35.37°N, 1.32°E (1031 m snm)
Modèle: NEMSGLOBAL, 2024-01-01 / 2024-04-29 (120 jours)

Température (°C) / Hum. rel. (%)

Précipitations (mm) / Couverture du nuage (%)

Vitesse du vent (km/h) / Direction du vent

Figure IV.1 : Conditions adoptées pour l'étude paramétrique [44]

IV-53

IV.2.1 Variation de la température à Tiaret

Le suivi annuel des bilans météorologiques indique que l’augmentation critique de la température saisonnière atteint ses maximums durant la période d’été en Juillet et Août.

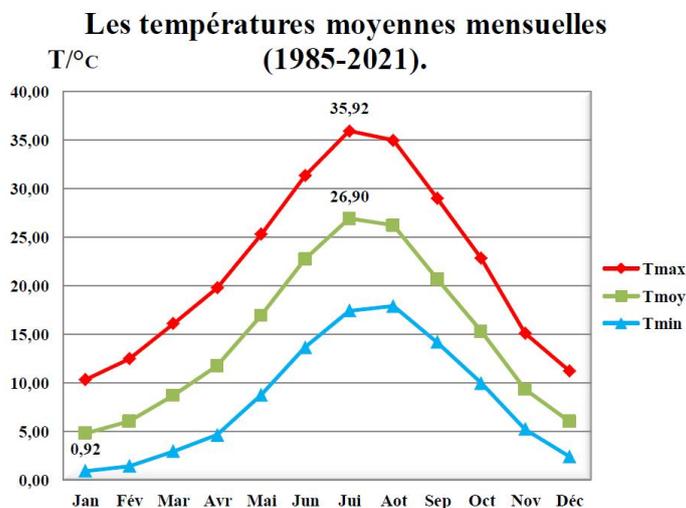


Figure IV.2 : Les températures mensuelles de la région de Tiaret durant 37ans

Parmi les conséquences du réchauffement climatique dans le globe terrestre, l’accroissement continu de la température dans les différentes parties du monde. Des données statistiques sur le changement annuel des températures de la région de Tiaret durant une période de 44ans.

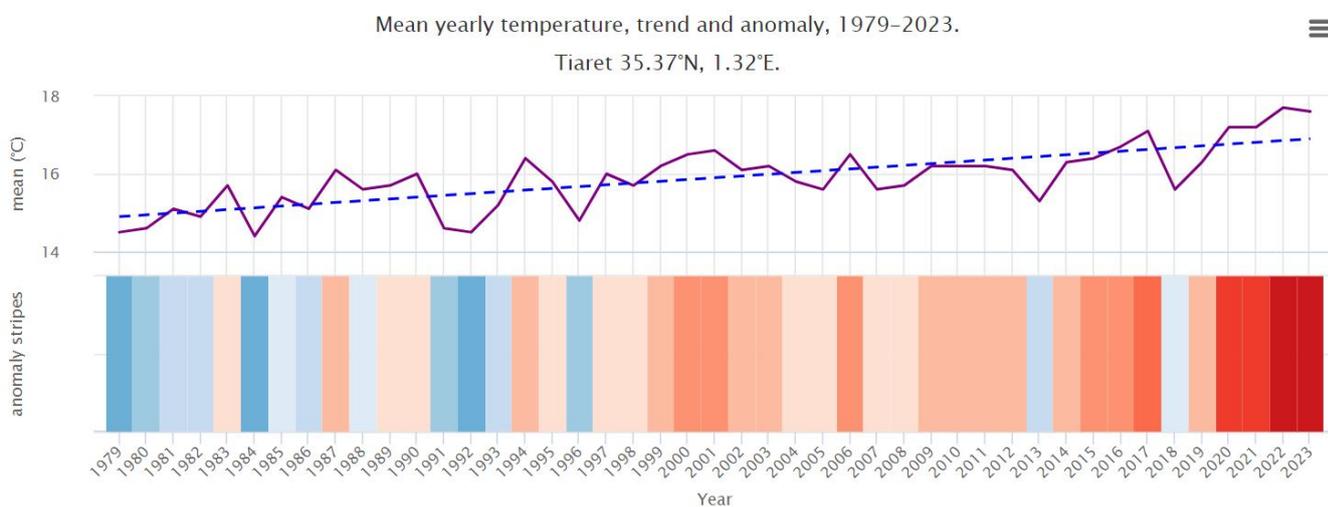


Figure IV.3 : Changement annuel des températures de la région de Tiaret durant 44ans

Le graphique supérieur montre une variation de la température annuelle moyenne pour la région de Tiaret. La ligne bleue en pointillés représente la tendance linéaire du changement climatique au fil du temps.

Dans la partie inférieure du graphique figurent les "bandes de réchauffement". Chaque bande de couleur représente la température moyenne d'une année - bleu pour les années plus froides et rouge pour les années plus chaudes.

Du fait de ces changements ; certaines anomalies et singularités sont aussi enregistrées durant ces périodes.

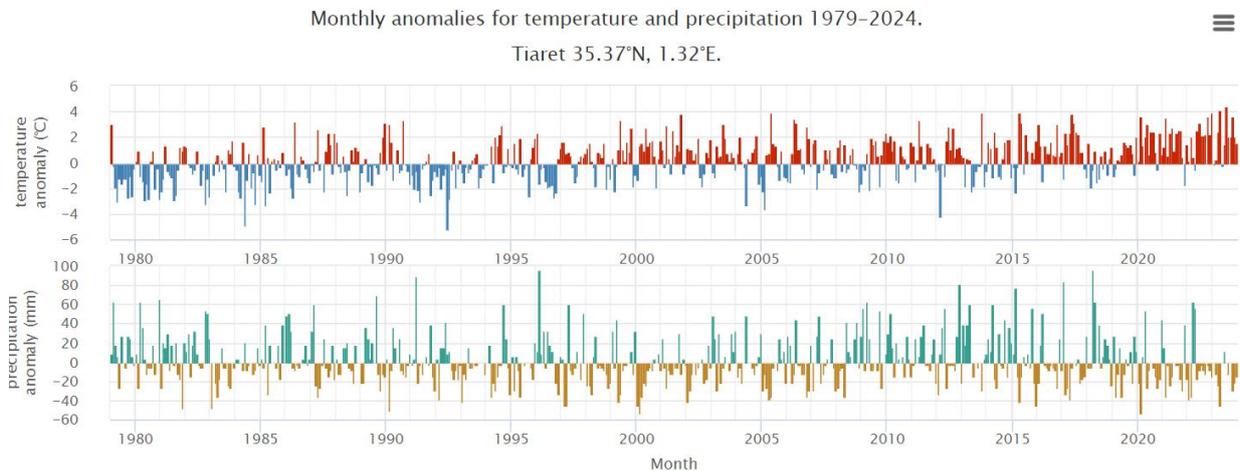


Figure IV.4 : Anomalies de température et des précipitations à Tiaret durant 45ans

IV.2.2 Variations et écarts à long terme

L'analyse des données statistiques des recensements annuels contribue à mieux comprendre l'évolution de certains paramètres au cours du temps voire une estimation du climat prévisionnel à travers le calcul des écarts types des variations des années précédentes.

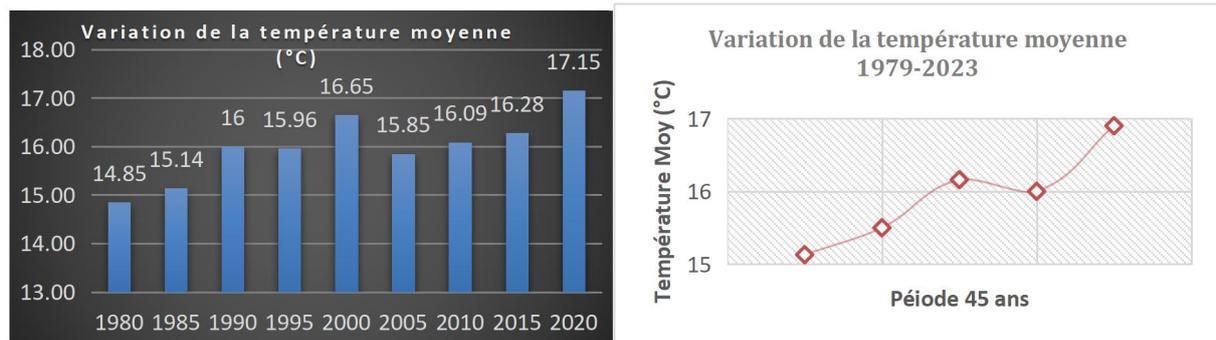


Figure IV.5 : Représentation graphique du changement de température

En partant des graphes précédents, on peut approximativement déduire la variation probabiliste de la température moyenne à l'échelle minimale $|\Delta T_{min}| \cong 0,04^{\circ}C$ et à l'échelle maximale $|\Delta T_{max}| \cong 2,30^{\circ}C$.

IV.3 Optimisation des Performances

IV.3.1 Estimation de la puissance maximale

La prédiction des conditions météorologiques sur les plans théoriques prévisionnels, est fondée principalement sur l'analyse de l'historique climatique de la zone de l'étude durant les dernières décennies.

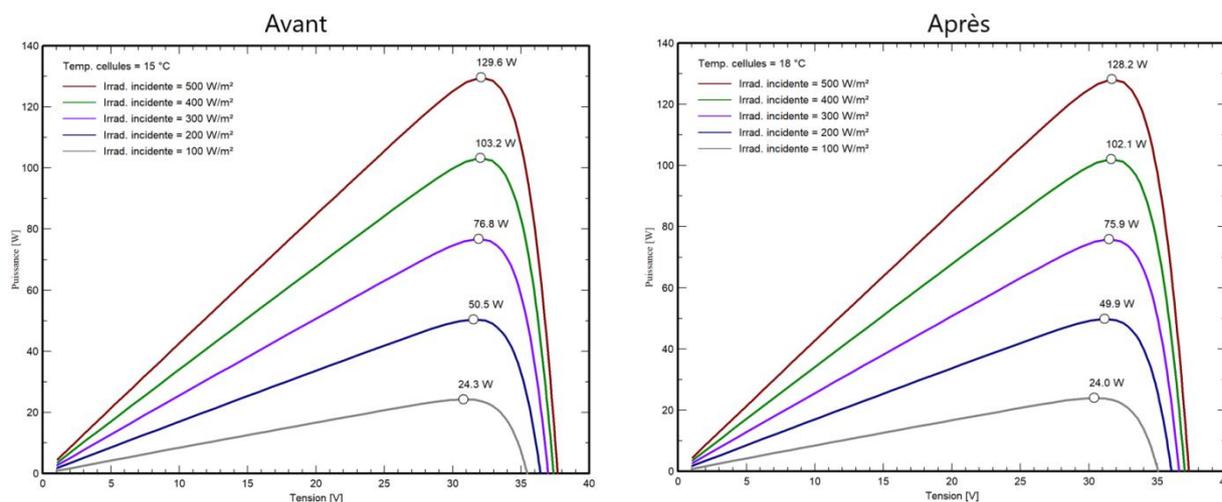


Figure IV.6 : Puissances maximales avant et après prédiction de la température moyenne

La recherche opérationnelle d'un rapport approximatif accordé à l'accroissement de la température moyenne à long et/ou moyen terme; permet d'admettre un coefficient de majoration thermique $\alpha=1,2$.

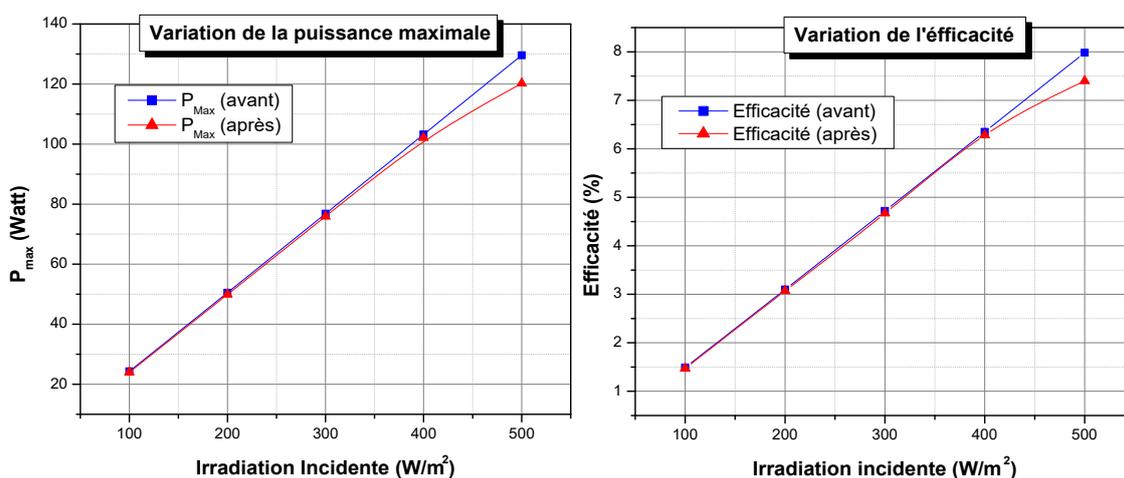


Figure IV.7 : Comparaison des performances avant et après prédiction de la température moyenne

Selon la figure IV.7 l'écart entre les puissances maximales, et entre l'efficacité, réelle et celle prévue; devient plus remarquable pour des irradiances supérieures à 300W/m². La comparaison des résultats conduit à déduire que les valeurs de la puissance maximale du système photovoltaïque et son efficacité sont considérablement baissées du fait de

l'augmentation de la température moyenne. En effet; le rendement et le fonctionnement de l'ensemble des performances du système y afférent en général sera dégradé.

IV.3.2 Optimisation du rendement

Afin de confronter le problème d'augmentation de la température moyenne dans les sites d'installation et par conséquent la température élevée du système; plusieurs études et recherches expérimentales et théoriques ont été abordées où les solutions les plus efficaces préconisaient le refroidissement de la cellule photovoltaïque.

Mains chercheurs ont envisagé cette solution dont, par exemple, les moyens adoptés par [45], permettent une augmentation du rendement de la cellule photovoltaïque qui a subi une hausse de 13% à 17% et dont le rendement global est allé à 53,4% car la grande partie est thermalisée après le refroidissement de la cellule par l'eau froide qui chaque fois recyclée.

Notre étude contribue à une recherche d'une solution théorique pour des conditions optimales d'exploitation afin d'aboutir des systèmes ayant des performances prévisionnelles maximales.

La prise en compte d'un procédé de refroidissement dans le système étudié a conduit à opter dans nos calculs un quotient de correction ou d'amélioration thermique face aux diminutions engendrées.

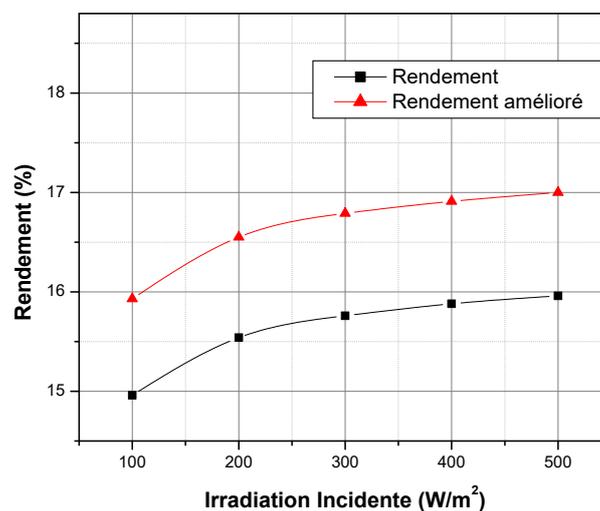


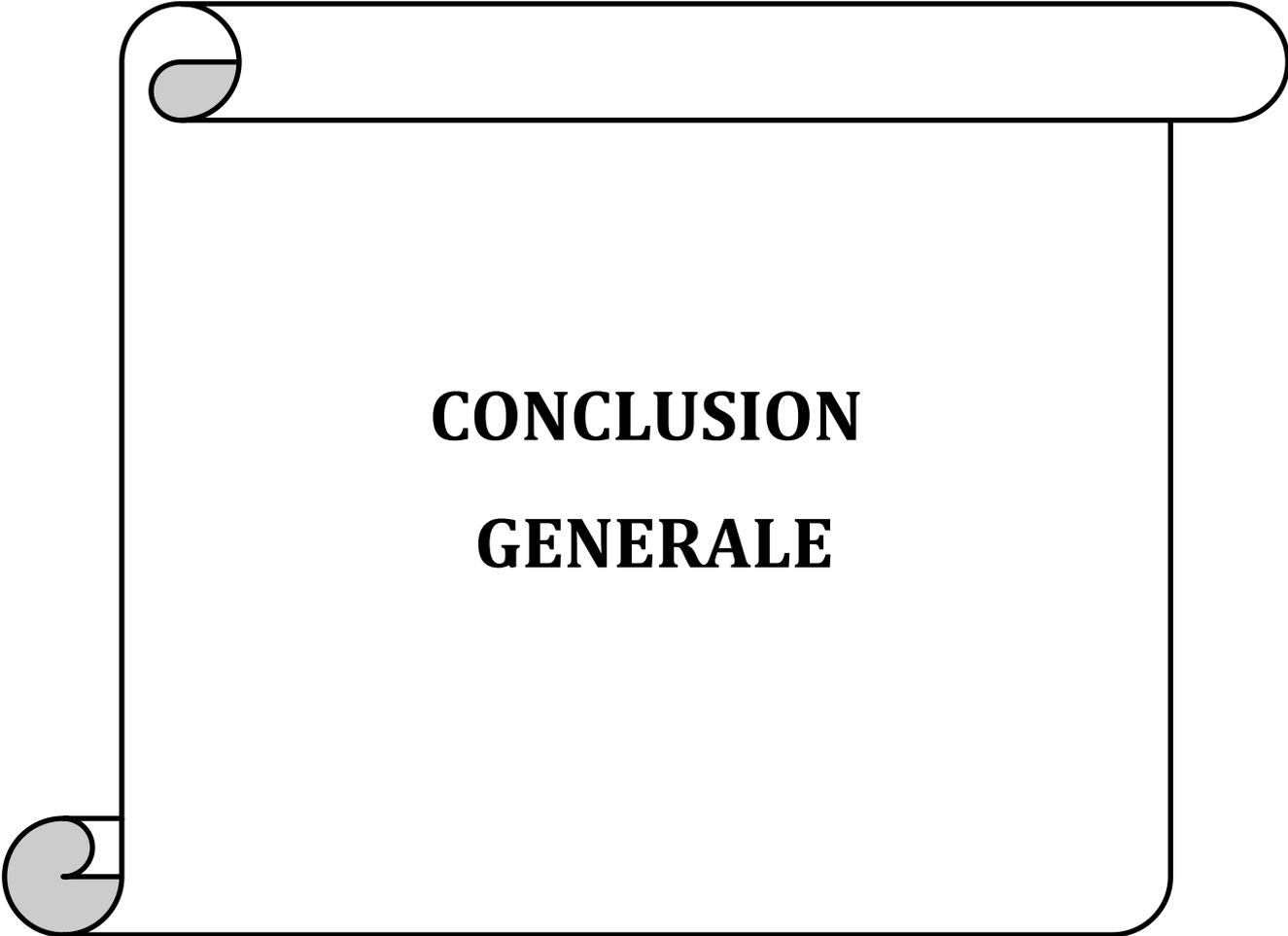
Figure IV.8 : Optimisation du rendement

Cette dernière figure représente la variation du rendement pour les températures moyennes pondérées dans les deux cas avec et sans procédé de refroidissement.

IV.4 Conclusion

A l'issue de l'analyse des données, nous sommes arrivés aux résultats selon lesquels qu'il existe une relation très importante entre la variation du temps et les changements climatiques; dont il faudrait en y associer à la recherche d'optimisation du rendement d'une cellule photovoltaïque. Quant aux facteurs qui influencent la production de l'énergie dans une cellule photovoltaïque il a été démontré que la température et la quantité de lumière sont parmi les facteurs majeurs devant être poursuivis.

Au terme de notre étude axée sur l'analyse des puissances maximales et l'optimisation du rendement du système photovoltaïque, il était essentiel de prévoir les moyens pouvant augmenter la production et l'exploitation d'une cellule photovoltaïque tout en essayant de faire diminuer les températures moyennes, en effet, la considération d'un dispositif de refroidissement dans le système étudié s'avère très convenable.



CONCLUSION
GENERALE

CONCLUSION GENERALE

- **Conclusion**

La plupart des habitants du tiers monde considèrent que la technologie des panneaux solaires consiste simplement à connecter un panneau photovoltaïque à une batterie et à produire de l'énergie sans tenir compte des différentes conditions.

Les résultats observés, issus de notre étude, viennent de confirmer impérativement que les paramètres de température et d'irradiation affectent l'efficacité du système projeté soumis à des conditions météorologiques sévères. L'étude a mis l'accent aussi sur la sélection appropriée du type du panneau ayant la capacité la plus élevée afin d'aboutir une production maximale d'énergie. Il y a lieu d'indiquer que nos résultats ont aussi soulevé que les panneaux monocristallins sont plus efficaces et plus performants que ceux polycristallins.

Au terme de notre étude basée sur l'analyse des puissances maximales et de l'efficacité, l'optimisation du rendement du système photovoltaïque ferait un point essentiel afin de prévoir les moyens pouvant augmenter la production et l'exploitation d'une cellule photovoltaïque dont le but primordial est de chercher comment faire diminuer les températures moyennes.

- **Perspectives à la recherche**

Le travail présenté dans ce manuscrit n'est qu'une contribution théorique très modeste qui peut faire partie d'une large recherche à propos de l'influence des conditions météorologiques sur le rendement énergétique des panneaux solaires. Plusieurs axes et études peuvent être abordées et élaborées dans ce même contexte; et qui peuvent améliorer et compléter la vision actuelle de notre investigation. Comme perspectives à la recherche on peut proposer quelques points à développer:

1. **Vitesse du vent** : On peut étudier l'impact de la vitesse du vent sur le refroidissement des panneaux solaires et déterminer la vitesse optimale qui favorise le refroidissement sans causer de dommages mécaniques aux panneaux.
2. **Taux nuageux** : On peut analyser l'effet du taux de nuages sur le rayonnement solaire reçu par les panneaux solaires.

3. Poussière : On peut étudier l'impact de l'accumulation de poussière sur la surface des panneaux solaires et développer des stratégies de nettoyage efficaces.

4. Humidité : On peut analyser l'effet de l'humidité sur la conductivité électrique et la corrosion des matériaux utilisés dans les panneaux.

Le domaine d'études de l'efficacité des panneaux solaire est très immenses et la recherche des meilleures solutions restera toujours un souci primordial afin d'assurer un développement énergétique fiable et durable.

ANNEXE A

1 Définition de logiciel PV système

PVsystem est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais c'est aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche ergonomique avec guide dans le développement d'un projet. PVsystem permet d'importer des données météorologiques d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles.

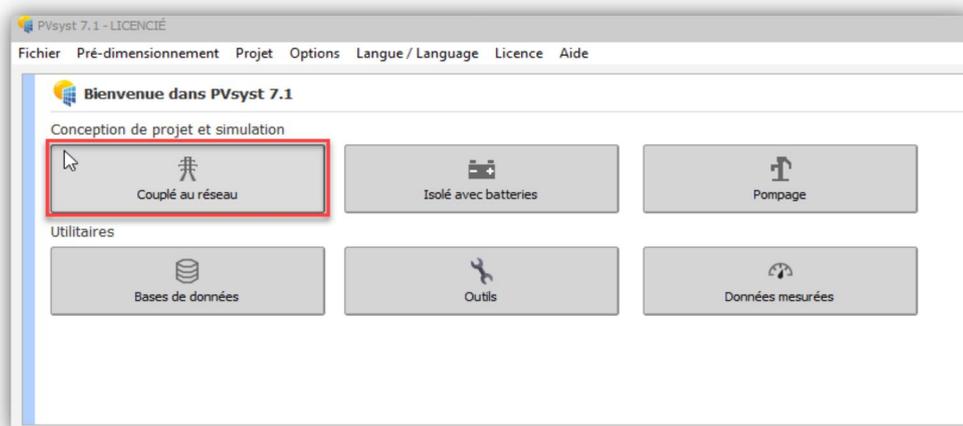


Figure A.1: Interface du PVsystem

2 Projets du logiciel PV système

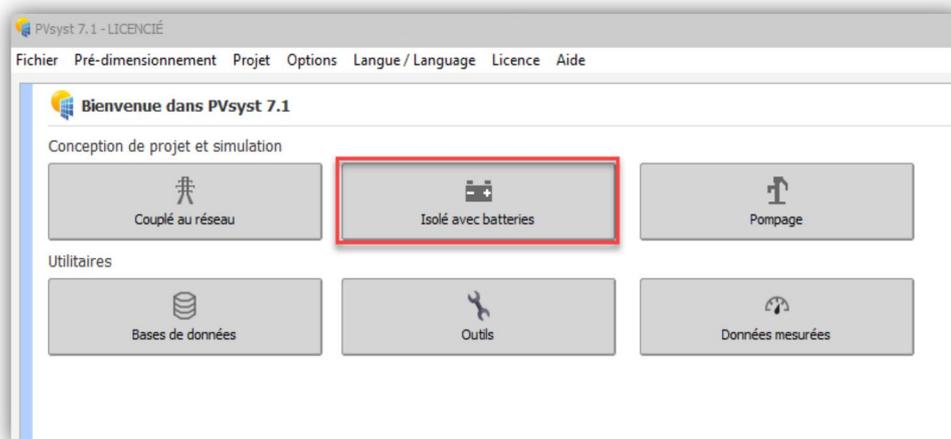
2.1 Projet connecté au réseau

Un projet connecté au réseau dans le logiciel de système photovoltaïque (PV) se réfère à un système solaire qui est interconnecté au réseau électrique public. Ces systèmes permettent aux propriétaires de vendre l'électricité produite par leurs panneaux solaires au réseau électrique, généralement sous forme de crédits d'électricité ou de compensation financière. Les logiciels de système PV connecté au réseau sont conçus pour aider à concevoir, simuler, surveiller et gérer ces installations, en assurant une intégration efficace avec le réseau électrique et en optimisant la production et la consommation d'énergie.



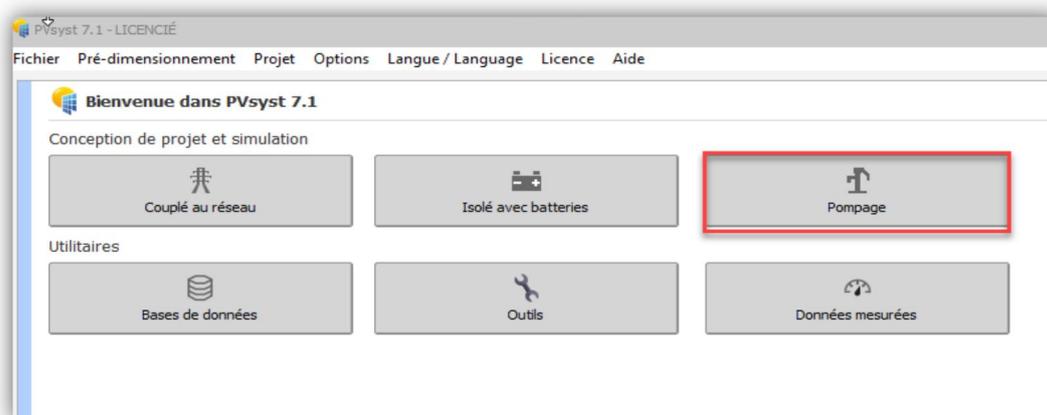
2.2 Projet de système autonome

Un projet de système autonome dans le logiciel de système photovoltaïque (PV) fait référence à un système solaire qui fonctionne de manière indépendante et n'est pas connecté au réseau électrique public. Ces systèmes sont généralement utilisés dans des endroits éloignés où il n'y a pas d'accès au réseau électrique, ou lorsqu'une source d'énergie autonome est préférée pour des raisons de fiabilité ou de coût. Les logiciels de système PV autonomes sont conçus pour aider à concevoir, simuler, dimensionner et surveiller ces installations, en tenant compte des besoins énergétiques spécifiques du site, de la disponibilité solaire et de la capacité de stockage de l'énergie.



2.3 Projet de pompage

Un projet de pompage dans le logiciel de système photovoltaïque (PV) se réfère à un système utilisant l'énergie solaire pour alimenter une pompe à eau. Ces systèmes sont souvent utilisés dans les zones où l'accès à l'électricité est limité ou coûteux, mais où l'eau est nécessaire pour l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable, ou d'autres besoins similaires. Les logiciels de système PV pour le pompage sont conçus pour aider à concevoir, simuler et dimensionner ces installations en fonction des besoins en eau spécifiques, de la disponibilité solaire et des caractéristiques du site, afin d'assurer un fonctionnement efficace et fiable du système de pompage solaire.



3 Domaine d'application de logiciel PV système

3.1 Conception et simulation

Les logiciels permettent de concevoir et simuler des systèmes PV, en aidant les installateurs à dimensionner correctement les installations, à estimer la production d'électricité et à optimiser leur disposition.

3.2 Surveillance et gestion

Les logiciels de surveillance permettent de suivre en temps réel la performance des systèmes PV, de détecter les pannes et les problèmes de performance, et de gérer la production d'électricité.

3.3 Optimisation de l'autoconsommation

Certains logiciels permettent d'optimiser l'autoconsommation de l'électricité solaire produite en fonction des habitudes de consommation du foyer ou de l'entreprise, en contrôlant les charges électriques.

3.4 Intégration avec le réseau électrique

Les logiciels peuvent faciliter l'intégration des systèmes PV avec le réseau électrique, en permettant le contrôle à distance, la gestion des contrats d'achat et de vente d'électricité, et la participation aux marchés de l'énergie.

3.5 Analyse financière

Certains logiciels fournissent des outils d'analyse financière pour évaluer la rentabilité des investissements dans les systèmes PV, en prenant en compte les coûts d'installation, les économies d'énergie et les incitations financières.

3.6 Formation et éducation

Les logiciels peuvent être utilisés à des fins de formation et d'éducation pour familiariser les professionnels et les étudiants avec les technologies solaires et les meilleures pratiques en matière de conception et d'exploitation des systèmes PV.

3.7 Gestion de flottes

Pour les grandes entreprises ou les fournisseurs de services, les logiciels peuvent permettre la gestion centralisée de plusieurs installations PV réparties sur un vaste territoire, en fournissant des données agrégées et des outils de gestion des performances.

Ces applications montrent comment les logiciels peuvent contribuer à tous les aspects du cycle de vie des systèmes photovoltaïques, de la conception à l'exploitation en passant par la surveillance et la gestion.

ANNEXE B

Module monocristallin

- Puissance = 250 watt
- Tension = 26 volt
- Surface = 1.624 m²

Effet de l'irradiation

- A température constante = 15°C

Irradiation (w/m ²)	100	200	300	400	500
Puissance (w)	24.3	50.8	77.5	104.2	130.9
Rendement (%)	14.96	15.64	15.90	16.04	16.12

Effet de température

- A irradiation constante = 200 w/m²

Température (c°)	5	10	15	20	25
Puissance (w)	52.9	51.9	50.8	49.8	48.7
Rendement (%)	16.28	15.97	15.64	15.33	14.99

Module polycristallin

- Puissance = 250 watt
- Tension = 26 volt
- Surface = 1.624 m²

Effet de l'irradiation

- A température constante = 15°C

Irradiation (w/m ²)	100	200	300	400	500
Puissance (w)	24.5	50.6	77	103.4	129.8
Rendement (%)	15.08	15.57	15.80	15.91	15.98

Effet de température

- A irradiation constante = 200 w/m²

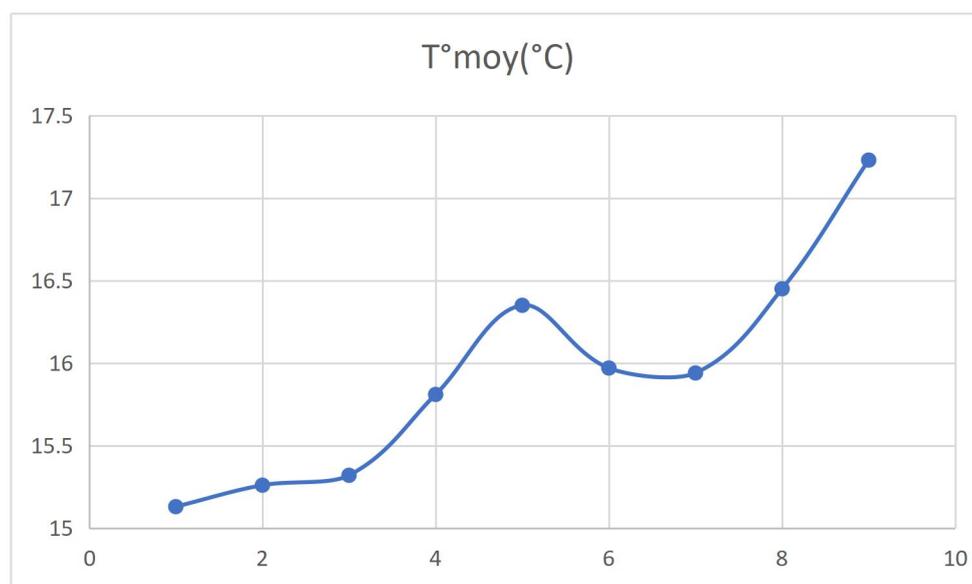
Température (c°)	5	10	15	20	25
Puissance (w)	52.7	51.6	50.6	49.6	48.5
Rendement (%)	16.22	15.88	15.57	15.27	14.93

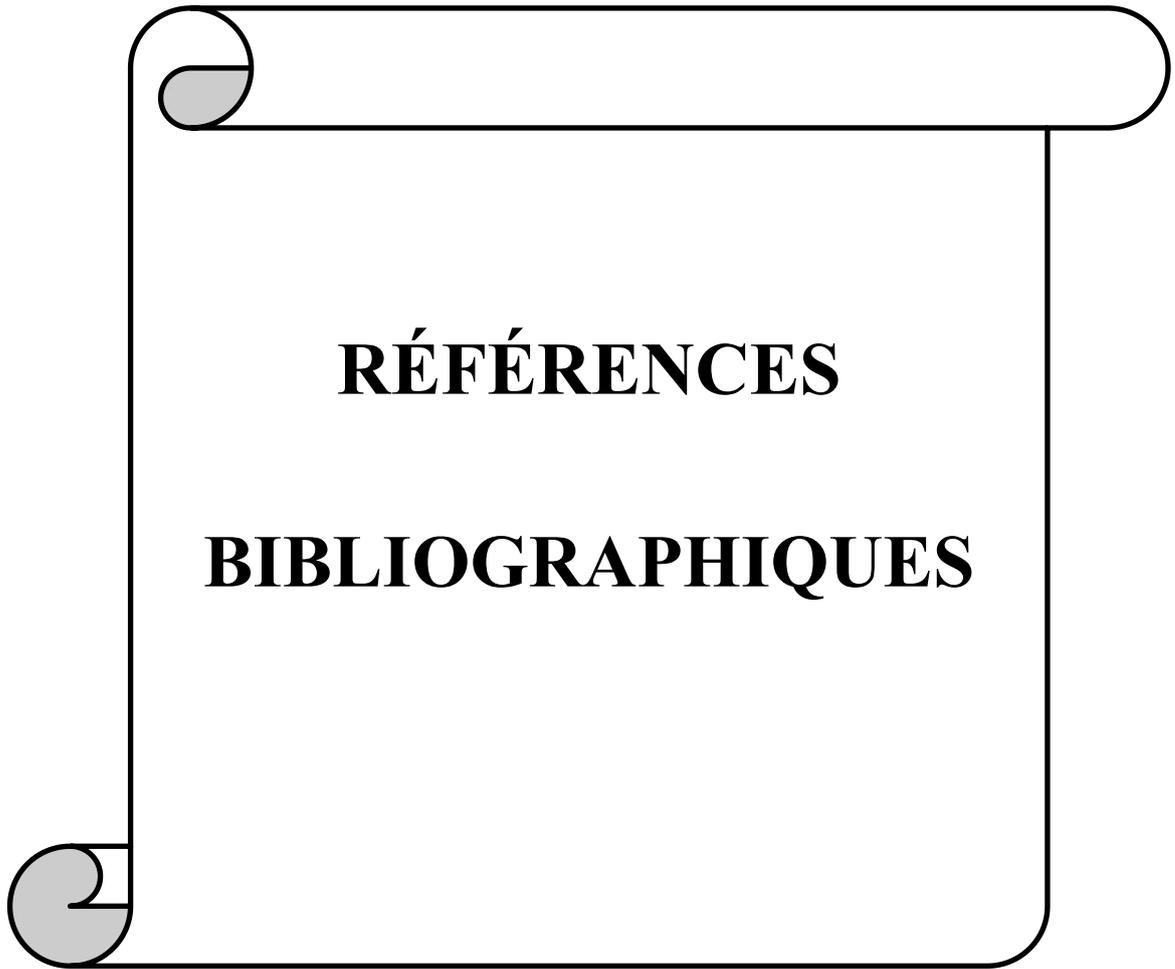
Températures moyennes durant 45ans

Période 1			Période 2			Période 3		
1979-1983	Année	T°moy(°C)	1984-1988	Année	T°moy(°C)	1989-1993	Année	T°moy(°C)
	1979	14,80		1984	14,30		1989	15,83
	1980	14,85		1985	15,14		1990	16
	1981	15,08		1986	15,09		1991	14,85
	1982	15,00		1987	16,02		1992	14,75
	1983	15,90		1988	15,75		1993	15,15
Moy 1	15,13		Moy 2	15,26		Moy 3	15,32	

Période 4			Période 5			Période 6		
1994-1998	Année	T°moy(°C)	1999-2003	Année	T°moy(°C)	2004-2008	Année	T°moy(°C)
	1994	16,22		1999	16,18		2004	15,93
	1995	15,96		2000	16,65		2005	15,85
	1996	14,98		2001	16,78		2006	16,42
	1997	16		2002	16,04		2007	15,8
	1998	15,9		2003	16,1		2008	15,85
Moy 4	15,81		Moy 5	16,35		Moy 6	15,97	

Période 7			Période 8			Période 9		
2009-2013	Année	T°moy(°C)	2014-2018	Année	T°moy(°C)	2019-2023	Année	T°moy(°C)
	2009	16,12		2014	16,25		2019	16,2
	2010	16,09		2015	16,28		2020	17,15
	2011	16,1		2016	16,8		2021	17,18
	2012	15,2		2017	17,05		2022	17,82
	2013	16,2		2018	15,87		2023	17,79
Moy 7	15,94		Moy 8	16,45		Moy 9	17,23	





RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1] **ALEXANDRA CATANA**, L. de Schoulepnikoff Gymnase Auguste Piccard, Quelle source d'énergie pour les vingt prochaines années , Novembre 2009.
- [2] **JOSE MIGUEL NAVARRO** , Cellules photovoltaïques organiques transparentes dans le visible, Thèse de doctorat, Université de Toulouse III - Paul Sabatier, France, octobre 2008.
- [3] **ANDASOL** Centrale solaire thermique avec TES 50 MW [en ligne], Villeurbanne : Granada, 2008. [consulté le 15.03.2024]. Disponible sur :
<https://www.grupotsk.com/fr/proyecto/andasol-i-centrale-solaire-thermique-avec-tes-50-mw/>
- [4] Connaissance des énergies, Solaire thermique [en ligne]. [consulté le 15.03.2024]. Disponible sur :
<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-thermique>
- [5] les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire [en ligne]. [Consulté le 15.03.2024]. Disponible sur :
<https://blog.ecoflow.com/fr/energie-solaire-avantages-et-inconvenients/>
- [6] **AZOU**I, Notes de cours Energies renouvelables conversion photovoltaïque, université Batna, Septembre, 2020.
- [7] **PLANETE ENERGIES**, La cellule photovoltaïque [en ligne]. [Consulté le 15.03.2024]. Disponible sur
<https://www.planete-energies.com/fr/media/article/cellule-photovoltaique-comment-ca-marche>
- [8] **DUC TUONG NGUYEN**, Utilisation d'un oxyde comme couche tampon à l'interface électrode/semi-conducteur organique dans une cellule photovoltaïque, Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2013
- [9] La fabrication des cellules photovoltaïques [en ligne]. [Consulté le 15.03.2024]. Disponible sur : http://sti2d.patguc.com/SitePV/Ressource_PV
- [10] **S. PETIBON**, Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques, université de Toulouse, 2009

[11] **BELHADJ MOHAMMED**, Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome, Mémoire de Magister, université de Bechar, 2008

[12] Panneau solaire photovoltaïque [en ligne]. [Consulté le 15.03.2024]. Disponible sur :

<https://www.ecolodis-solaire.com/conseils>

[13] **TUCOENERGIE**, Panneau solaire monocristallin ou polycristallin, [en ligne]. [Consulté le 14/04/2024]. Disponible sur l'adresse : <https://www.tucoenergie.fr/guides/panneau-solaire-monocristallin-ou-polycristallin>

[14] L'effet de l'efficacité des panneaux , [en ligne]. [Consulté le 14/04/2024]. Disponible sur l'adresse : <https://thesolarest.com/>

[15] **HADJAB MOUFDI**. Développement des Performances d'un Système Photovoltaïque, Mémoire : Electronique. SIDI BEL ABBES : UNIVERSITE DJILLALI LIABES SIDI BEL ABBES, 2011.

[16] **TAHAR CHAUCHE I**. Etude de l'impact des changements climatique sur la variabilité spatio temporelle des précipitations dans les massifs de Belezma, les Aurès, les Nememchas et leurs bordures. Approche géomatique et géostatistique, Université de Batna 2,2019.

[17] **GITAY H, SUAREZ A, WATSON R, DOKKEN DJ**. Les changements climatiques et la biodiversité, Document technique V du GIEC, 2002.

[18] GIEC. 2007. Rapport d'évaluation du GIEC sur le changement climatique. GIEC, Genève, Suisse.

[19] **VALERIE MASSON DELMOTTE, PANMAO ZHAI**, Climate change 2021: the physical science basis, 4 November 2021.

[20] **CHEMS EDDINE CHITOUR**, Projet de Livre blanc sur l'impact des Changements climatiques en Algérie, Edition Sonatrach / Ministère de l'Energie / Ministère de la Transition Energétique et des Energies Renouvelables, Algerie. 2020.

[21] **UN NEWS**. Le réchauffement de la planète s'accélère à un rythme sans précédent et il est bien dû à l'activité humaine (GIEC), 9 août 2021. [en ligne]. [Consulté le 14/04/2024]. Disponible sur l'adresse : <https://www.un.org/africarenewal/fr/derniere-heure/le-rechauffement-de-la-planete-s'accelere-a-un-rythme-sans-precedent-et-il-est-bien>

- [22] ANNA GARRISON, The IPCC Climate Change Report Sheds Light on How Wind Patterns Could Change Drastically [en ligne]. [Consulté le 14/04/2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.greenmatters.com/p/climate-change-wind-patterns>
- [23] MET OFFICE, Humidity [en ligne]. [Consulté le 14/04/2024]. Disponible sur l'adresse : <https://climate.metoffice.cloud/humidity.html>
- [24] GIORGI F, LIONELLO P, Climate change projections for the Mediterranean region, Global Planet. Change 63, 90–104
- [25] ELMEDDAHI Y. Les changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau, cas du bassin du Cheliff, Thèse de doctorat. Univ Hassiba Ben Bouli-Chlef, 2016, 199p.
- [26] EMMANUEL AMY DE LA BRETEQUE, Etude du Comportement Thermique de Modules Photovoltaïques en Vue de la Prédiction de leur Production Electrique, Thèse de doctorat de Physique, Modélisation et Sciences pour l'Ingénieur. PROVENCE : Institut des Systèmes Thermiques Industriels, 20 octobre 2006.
- [27] A.AL BASHIR, M.AL DWERI, A.AL GHANDOOR, B.HAMMAD, W.AL KOUZ. Analysis of Effects of Solar Irradiance, Cell Temperature and Wind Speed on Photovoltaic Systems Performance. International Journal of Energy Economics and Policy, 2020, 10(1), 353-359.
- [28] H.ATHAR, B.ANKIT, P.RUPENDRA. An experimental study on effect of dust on power loss in solar photovoltaic modul. Hussain et al. Renewables (2017).
- [29] IBRAHIM NEYA. Etude de l'influence de la température sur les paramètres photovoltaïques dans les conditions réelles de fonctionnement. Master en Genie électrique énergétique et énergie. Burkina Faso : Laboratoire Energie Solaire et Economies d'Énergie (LESEE), 2015.
- [30] SABAH FETAH, MOHAMED SALMI, OUARDA ASSAS, HASSEN BOUZGOU , ABDELHAKIM BOURSAS, L'influence des paramètres climatiques en Algérie sur les performances des systèmes photovoltaïques, Laboratoire de Physique et Chimie des Matériaux, Université de M'sila.
- [31] ABU BAKAR KHAN. Effect of Temperature and Wind Speed on Efficiency of PV Module, University of Engineering and Technology, Lahore, March 2020.

- [32] **A.PATT, S.PFENNINGER & J.LILLIESTAM.** Vulnerability of solar energy infrastructure and output to climate change, *Climatic Change*, vol. 121, pp. 93-102.
- [33] **A.BONKANEY, S.MADDOUGOU, R.ADAMOU.** Impacts of Cloud Cover and Dust on the Performance of Photovoltaic Module in Niamey, *Journal of Renewable Energy Hindawi* , Volume 2017.
- [34] **J. A. AMUSAN, E.B.OTOKUNEFOR.** The Effect of Cloud on the Output Performance of a Solar Module, *Environmental Science, Engineering* 2019.
- [35] **GWANDU, B.A.L., AND CREASEY, D.J. HUMIDITY,** A factor in the appropriate positioning of a photovoltaic power station , *Renewable Energy*, Volume 6, Issue 3, April 1995, Pages 313-316
- [36] **R.HAMDII, S.A.HAFAD, H.A.KAZEM, M.T.CHAICHAN.** Humidity impact on photovoltaic cells performance. *IJRERD*, Volume 03, Issue 11, November 2018, PP. 27-37
- [37] **ZOUAOUI HAYET.** Impact des conditions météorologiques sur le rendement d'un panneau solaire PV. Mémoire master de physique appliquée , Université Larbi ben M'hidi Oum el Bouaghi, 2020.
- [38] **D.WATERWORTH, A.ARMSTRONG.** Southerly winds increase the electricity generated by solar photovoltaic systems, *Solar Energy*, Volume 202, 15 May 2020, Pages 123-135
- [39] **I.M.Peters, T.Buonassisi.** The Impact of Global Warming on Silicon PV Energy Yield in 2100, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 2020.
- [40] **MIQDAM T. CHAICHAN, HUSSEIN A. KAZEM, ALI H.A. AL-WAELI, KAMARUZZAMAN SOPIAN.** The effect of dust components and contaminants on the performance of photovoltaic for the four regions in Iraq: a practical study, *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 2020.
- [41] **GuidEnR Photovoltaïque,** Effet de l'orientation du champ photovoltaïque. [en ligne]. [Consulté le 14/04/2024]. Disponible à l'adresse : http://www.photovoltaique.guidenr.fr/informations_techniques/conception-photovoltaique-raccordee-reseau/effet-orientation.php
- [42] **BENDAOU.D.A, IHDDADEN.A,** Contribution à l'étude du comportement des

plaques déformées dans les panneaux photovoltaïques, Mémoire de master, Université de Tiaret, 2023.

[43] **A. LUQUE AND S. HEGEDUS**, Handbook Photovoltaic Science and Engineering, Ed. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 2003.

[44] https://www.meteoblue.com/fr/climate-change/tiaret_alg%C3%A9rie_2476897

[45] **RICHARD KATEMBO KAMERA**, Analyse Optimisationnelle du Rendement d'un Système Solaire Photovoltaïque, Multidisciplinary Research Academic Journal (MDRAJ);ISSN : 1-2467-4699/ e-2467-4834, Vol 6. Issue 1, September 2021, 33-43.

ملخص:

يتأثر أداء الألواح الشمسية بشدة بالبارامترات المناخية (الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح وهطول الأمطار، إلخ). إن الارتفاع المستمر في درجات الحرارة في أجزاء مختلفة من العالم، نتيجة الاحتباس الحراري، يقلل بشكل كبير من كفاءة الطاقة في الأنظمة الشمسية.

الهدف الرئيسي من هذا البحث هو إجراء تحليل بارامترى لتحديد عوامل الأرصاد الجوية الرئيسية التي تؤثر على التشغيل الصحيح للأنظمة الكهروضوئية في ولاية تيارت. يتم تنفيذ هذه الدراسة، استنادًا إلى تحليل الطاقة القصوى، من خلال مقدمة للبحث التشغيلي من أجل تحسين أداء النظام.

أدى البحث النظري في ظروف التشغيل المثلى لتحقيق أقصى قدر من الأداء إلى تضمين حساب التصحيح الحراري أو حاصل التحسين الحراري الناتج عن عملية التبريد المتضمنة في النظام قيد الدراسة.

الكلمات المفتاحية: الألواح الشمسية، الأحادية البلورية، المتعددة البلورات، الظروف الجوية، الإشعاع، درجة الحرارة، برنامج PVsyst، تحسين، الكفاءة، تيارت.

Résumé

Les performances des panneaux solaires sont fortement affectées par les paramètres climatologiques (Rayonnement solaire, Température, Humidité, Vitesse du vent, Pluviométrie...etc). L'accroissement incessant de la température dans les différentes parties du monde, conséquent du réchauffement climatique dans le globe terrestre, réduit considérablement l'efficacité énergétique des systèmes solaires.

L'objectif principal de cette recherche est d'effectuer une analyse paramétrique permettant d'identifier les facteurs météorologiques majeurs affectant le bon fonctionnement des systèmes photovoltaïques dans la wilaya de Tiaret. Cette étude axée sur l'analyse des puissances maximales, est accomplie par une initiation à la recherche opérationnelle afin d'optimiser le rendement du système .

La recherche théorique des conditions optimales d'exploitation pour prévoir des performances maximales, a conduit d'admettre dans le calcul un quotient de correction ou d'amélioration thermique résultant d'un procédé de refroidissement, impliqué dans le système étudié.

Mots clés : Panneaux solaires, monocristallins, polycristallins, conditions météorologiques, irradiation, température, logiciel PVsyst, amélioration, rendement, Tiaret.

Abstract

The performance of solar panels is strongly affected by climatological parameters (solar radiation, temperature, humidity, wind speed, rainfall, etc.). The constant increase in temperature in different parts of the world, a consequence of global warming, considerably reduces the energy efficiency of solar systems.

The main objective of this research is to carry out a parametric analysis to identify the major meteorological factors affecting the operation of photovoltaic systems in the wilaya of Tiaret. This study, which focuses on the analysis of maximum power, is being carried out through an introduction to operational research in order to optimise system performance.

Theoretical research into the optimum operating conditions for predicting maximum performance led to the inclusion in the calculation of a thermal correction or improvement quotient resulting from a cooling process involved in the system studied.

Keywords: Solar panels, monocrystalline, polycrystalline, weather conditions, radiation, temperature, PVsyst software, improvement, efficiency, Tiaret.