

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Hydrocarbures, des Energie Renouvelables, des sciences de la
Terre et de l'Univers
Département des énergies renouvelables



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE / PROFESSIONNEL

Filière : Génie Mécanique
Spécialité : énergies renouvelables en mécanique

Présenté par :
Guelbi Abdelouadoud
Kadri Ahmed Abdesslam

Thème

**Etude Expérimentale d'un Système de Refroidissement Éco-Intelligent
pour l'Optimisation en Temps Réel les Performances des Systèmes
Photovoltaïques en Région Saharienne**

Soutenu publiquement

Le : 10/06/2024

Devant le jury :

CHAICH Zineb	MCB	Encadreur	UKM Ouargla
ABADA Zhour	MCB	Président	UKM Ouargla
KHANTOUT Abdelkader	MCA	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2023 /2024

Dédicace

À mes chers parents

À mes frères et sœurs

À tous ceux qui m'ont appris les lettres

Je dédie ce travail

Guelbi Abdelouadoud

Dédicace

À ceux que personne dans l'univers ne peut égaler, à ceux que Dieu nous a ordonné de bien traiter, à ceux qui ont sacrifié beaucoup et ont offert ce qui ne peut être récompensé, à vous, mes chers parents, cette lettre est pour vous, ma mère et mon père précieux.

Et à mes frères et ma petite sœur, que Dieu les guide dans Son obéissance et les fasse grandir en bonnes personnes.

À mes amis et à tous ceux que j'aime, qui ont été un soutien et une compagnie pieuse, c'est à vous que je dédie cette humble recherche, qu'elle soit une aumône continue pour nous tous.

Kadri Ahmed Abdelsalam

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir permis d'atteindre cette étape et de présenter ce travail. Ce mémoire a été rendu possible grâce à l'aide de nombreuses personnes à qui nous voudrions témoigner toute notre gratitude.

Nos dames les membres du jury, on tenons à vous remercier pour l'intérêt que vous avez bien voulu porter à notre travail en acceptant de faire partie de ce jury.

Nous exprimons notre profonde gratitude, notre appréciation et notre reconnaissance envers notre encadrante, Mme Zineb Chaïch, pour ses précieux conseils et son soutien continu, ainsi que pour toutes les orientations et informations précieuses qu'elle nous a fournies pour compléter ce mémoire de fin d'étude.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers monsieur Djamel Belatrache et les responsables du laboratoire des énergies renouvelables monsieur Djamel Mazar et monsieur Abdelhamid El Malki, ainsi que tous les collègues présents pour leur accompagnement et leur soutien tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier le département des énergies renouvelables de l'Université d'Ouargla pour tous leurs efforts en notre faveur tout au long de notre parcours académique.

Sommaire

Dédicace	I
Remerciement	III
Liste des tableaux	V
Liste de Figures	VI
Nomenclatures	VII
INTRODUCTION GÉNÉRALE	VII
Chapitre I : Champ solaire et panneaux photovoltaïques	1
I.1. Introduction	4
I.2. Rayonnement solaire	4
I.3. Les panneaux solaires photovoltaïques	7
I.4. L'importance de l'exploitation de l'énergie solaire en Algérie :	8
I.5. Les semi-conducteurs	9
I.6. Programme national photovoltaïque en Algérie	10
I.7. Les centrales photovoltaïques en Algérie	11
I.8. Conclusion	14
Chapitre II : Recherche bibliographique	4
II.1. Introduction	16
II.2. Impact de l'élévation température sur les performances les systèmes PV	16
II.3. Les technologies de refroidissement des Systèmes PV	18
II.3.1. Refroidissement par les matériaux à changement de phase PCM	18
II.3.2. Refroidissement par air	19
II.3.3. Refroidissement par eau	20
II.4. Conclusion	24
Chapitre III : Etude expérimentale et discussion des résultats	16
III.1. Introduction	26
III.2. Etude Expérimentale	26
III.2.1. Caractéristiques climatiques et Situation géographique de la région d'Ouargla	26
III.2.2. Description du système de refroidissement du module photovoltaïque (PV/T)	28
III.2.3. Matériels	28
III.2.4. Méthodologie	33
III.3. Résultats et discussions	36

III.4. Comparaison de la présente étude et des recherches antérieurs	41
III.5. Analyse de coût	43
III.6. Conclusion	45
Conclusion générale	47
Références	49

Liste des tableaux

Tableau. I. 1. Taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie.	6
Tableau. I. 2. Comparaison des différents types des modules photovoltaïques.	8
Tableau. I. 3. Les centrales photovoltaïques installées en Algérie.	11
Tableau II. 1. Résumé des principaux résultats de refroidissement des systèmes PV par l'eau.	23
Tableau.III.1. Caractéristiques du panneau PV.	29
Tableau III. 2. caractéristique du Compteur d'énergie solaire.	31
Tableau III. 3. Caractéristique d'Arduino	33
Tableau III. 4. Comparaison entre le refroidissement intelligent et continu	41
Tableau III. 5. Comparaison de l'amélioration de l'efficacité photovoltaïque via le refroidissement intelligent avec des études similaires	42
Tableau III. 6. Coût des composants	44

Liste de Figures

Figure.I.1. Composants du rayonnement solaire	5
Figure.I.2. Carte globale d'irradiation horizontale (2020)	6
Figure.I.3. Représentation schématique des liaisons électroniques pour k semi-conducteur intrinsèque (Si)	10
Figure. I. 4. Mise en contact des deux semi-conducteurs dopés Et Migration des porteurs sous L'effet de gradient de charge	10
Figure. I. 5. Les centrales photovoltaïques en Algérie	13
Figure. II.1. Assemblage des six contenants	19
Figure. II.2. Refroidissement de l'air (a) convection naturelle (b) convection forcée	20
Figure II. 3. Classification des technologies de refroidissement par l'eau	21
Figure. III. 1. PV power potential of algeria and ouargla region	26
Figure. III. 2. Données climatiques de 2013 à 2023 à Ouargla	27
Figure. III. 3. Schéma descriptif du système de refroidissement	28
Figure.III.4. Modules photovoltaïques monocristallins (ZGE_FM72_390)	29
Figure.III.5. Régulateur (EASUN POWER).	29
Figure.III.6. Batterie (Leoch).	30
Figure.III.7. Multimètre Numérique (GW Instek)	30
Figure.III.8. Résistance	30
Figure.III.9. Thermomètres (RDXL4SD).	31
Figure. III. 10. Compteur d'énergie solaire (Ruby Electronics)	31
Figure.III.11. Pompe	32
Figure. III. 12. Microcontrôleur l298N	32
Figure. III. 13. Arduino UNO	32
Figure.III.14. Montage expérimental de refroidissement continu	34
Figure. III. 15. Montage expérimental de refroidissement intelligent	35
Figure.III. 16. Schéma bloc de refroidissement intelligent	35
Figure. III. 17. Schéma électrique du processus expérimental du système de mesure	36
Figure. III. 18. Variation des Températures, puissance, Irradiation solaire en fonction de temps pour le refroidissement continu.	37

Figure. III. 4. Variation des Températures, puissance, Irradiation solaire en fonction de temps pour le refroidissement intelligent 40

Figure. III.20. Comparaison de l'amélioration de l'efficacité photovoltaïque via le refroidissement continu avec des études de recherches similaires 43

Nomenclatures

Symbole	Désignation	Unité
T	Température	°C
P	Puissance électrique générée par le panneau solaire	W
η	Efficacité réelle du panneau solaire	%
V	Vitesse de vent	m/s
H	Humidité	%
R	Résistance	Ω
Q	Débit	m ³ /s
V	Volume	m ³
I_{sc}	Courant de court-circuit	A
V_{oc}	Tension en circuit ouvert	V
G	Irradiance solaire	W/m ²
S	Surface du panneau photovoltaïque	m ²

Liste des abréviations

PV	Panneau photovoltaïque
PCM	Matériaux à changement de phase
a-Si	Silicium amorphe
C.S.PV	Concentrated Solar Power Photovoltaic
CdTe	Tellure de cadmium
CPV	Système photovoltaïque concentré
DLR	Agence Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
SKTM	Société de la Production de l'Électricité et des énergies Renouvelables
YSH	Entreprise Yingli Solar Holding

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les dernières années ont vu une augmentation notable de la demande énergétique dans les pays en développement en raison de la croissance démographique et économique. Cela a conduit à une utilisation intensive des sources d'énergie traditionnelles non renouvelables, constituant une menace pour l'environnement par les émissions polluantes et les changements climatiques. Pour faire face à cette menace, de nombreux pays ont adopté le développement durable en s'appuyant sur les énergies renouvelables telles que l'énergie solaire, éolienne et hydraulique. L'Algérie s'est orientée vers l'exploitation de l'énergie solaire grâce à ses excellentes opportunités et a lancé des programmes et des lois pour promouvoir ce domaine. Cependant, la température reste un facteur clé affectant les performances des panneaux solaires et entravant la production d'énergie solaire.

Il est bien connu que l'Algérie possède une vaste superficie désertique offrant une grande quantité de rayonnement solaire. Toutefois, ces régions souffrent de sécheresse et de températures élevées, comme à Ouargla, qui a enregistré l'une des températures les plus élevées au monde. La température est l'un des principaux facteurs qui influent considérablement sur les performances des panneaux solaires photovoltaïques et entravent considérablement la génération d'énergie solaire. Cette étude vise à mener une enquête expérimentale visant à développer et évaluer un système de refroidissement éco-intelligent conçu pour optimiser dynamiquement les performances des systèmes photovoltaïques (PV) dans la région de Ouargla qui se caractérise par des hausses températures et à la sécheresse de l'air.

Le présent travail est organisé comme suit :

Le premier chapitre donne les principales caractéristiques d'énergie solaire photovoltaïque et expose l'orientation de l'Algérie dans ce domaine.

Le deuxième chapitre aborde globalement un aperçu général de la littérature sur les technologies de refroidissement des panneaux solaires photovoltaïques par des chercheurs du monde entier.

Le troisième chapitre est consacré à la description des matériels et méthodes utilisées et l'interprétation des résultats obtenus suite à l'étude des performances de système.

Chapitre I : Champ solaire et panneaux photovoltaïques

I.1. Introduction

La conversion de l'énergie solaire en électricité via le processus photovoltaïque est considérée comme l'une des principales solutions dans le but de transférer l'énergie provenant des combustibles fossiles vers des sources durables. Cette énergie est générée à travers les cellules photovoltaïques (PV). Dans ce chapitre, nous mettrons en évidence les caractéristiques principales des sources photovoltaïques, en abordant le rayonnement solaire et ses divers types, notamment en Algérie. Nous examinerons également les types de panneaux solaires et leurs avantages respectifs, en plus de dévoiler les propriétés des semi-conducteurs. Nous expliquerons également la stratégie de l'Algérie dans le domaine de l'énergie solaire, et le programme établi pour la transition énergétique tout en mentionnant les centrales solaires actuellement en activité pour produire de l'énergie photovoltaïque.

I.2. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire se compose de particules solaires émises par le Soleil ainsi que de la propagation des ondes électromagnétiques. Bien que les ondes électromagnétiques se dispersent dans l'atmosphère terrestre, une quantité importante d'énergie parvient à la surface de la Terre. Cette énergie solaire se présente sous forme de rayonnement électromagnétique et d'autres types de radiations, une partie desquelles est absorbée par l'atmosphère. [3]

Les types de rayonnement solaire se divisent en quatre catégories distinctes comme le montre la figure.I.1. Le premier type est le rayonnement direct, qui est l'émission solaire atteignant directement la surface terrestre depuis le soleil sans être obstruée ou dispersée dans l'atmosphère. L'arrivée de ce rayonnement direct sur Terre dépend de plusieurs facteurs, notamment l'épaisseur de l'atmosphère à traverser et l'angle d'incidence des rayons solaires par rapport à la surface terrestre. Des instruments de mesure tels que le pyréliomètre sont utilisés pour mesurer l'intensité du rayonnement direct. Le pyréliomètre doit être équipé d'un dispositif de direction permanent vers le soleil pour garantir des mesures précises de l'intensité du rayonnement direct [4]. Le deuxième type est le rayonnement diffus, qui est la lumière dispersée dans l'atmosphère suite à son interaction avec diverses substances atmosphériques telles que les petites particules, les nuages et la poussière. La diffusion se traduit par une répartition de la lumière dans toutes les directions de manière égale. Dans le ciel, les particules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et la poussière interagissent avec les rayons du soleil, ce qui les diffuse dans toutes les directions. La nature et la quantité du rayonnement diffus dépendent des conditions météorologiques, telles que la densité des nuages et des particules dans l'air [5].

Le troisième type est le rayonnement réfléchi ou ce qu'on appelle également la réflexion, se référant à la lumière réfléchie depuis la surface terrestre ou d'autres objets sur sa surface. Le rayonnement réfléchi est influencé par les caractéristiques de la surface réfléchissante, telles que sa texture, sa couleur et sa nature. Le rayonnement réfléchi peut être important lorsque la surface terrestre réfléchit la lumière de manière significative, comme les surfaces très réfléchissantes telles que l'eau ou la neige [6]. Le dernier type est Le rayonnement global est simplement la somme des composantes directe et diffuse. On distingue deux types de données d'ensoleillement : le rayonnement instantané, représenté par les courbes d'intensité du rayonnement en fonction de l'heure de la journée, et le rayonnement cumulé, qui est le cumul du rayonnement global par jour. Ces données sont obtenues en cumulant toutes les valeurs d'année en année et en réalisant des moyennes pour chaque mois de l'année [7].

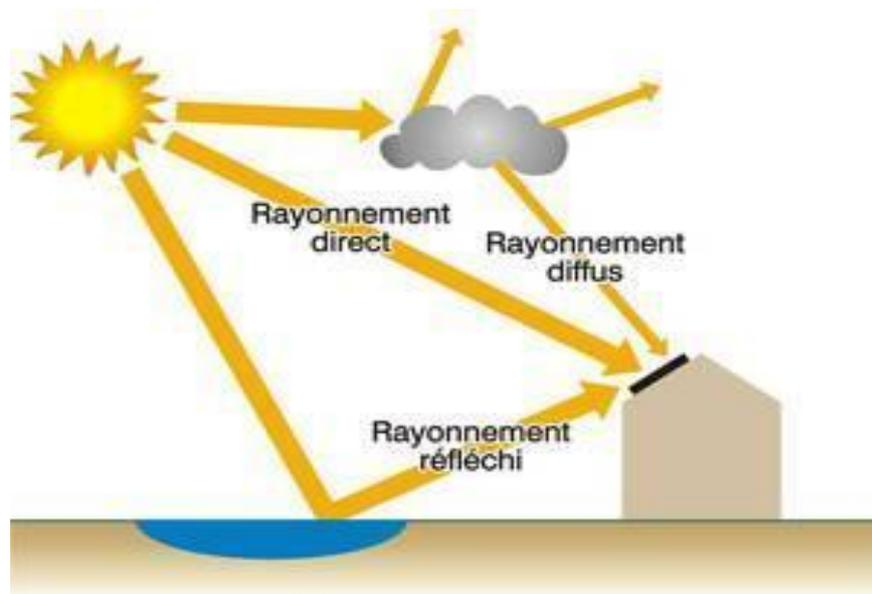


Figure.I.4. Composants du rayonnement solaire. [6]

L'Algérie possède un potentiel solaire considérable, avec des niveaux d'ensoleillement remarquables relevés par l'Agence Spatiale Allemande (DLR), allant jusqu'à 1200 kWh/m²/an dans le Nord du Grand Sahara. Selon une évaluation par satellites de l'Agence Spatiale Allemande, l'Algérie se démarque avec le potentiel solaire le plus élevé de toute la région méditerranéenne, estimé à environ 169 000 TWh/an pour le solaire thermique et 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque [8]. La figure.I.2 présente la moyenne annuelle de I 'irradiation globale reçue sur une surface horizontale durant la période 2020

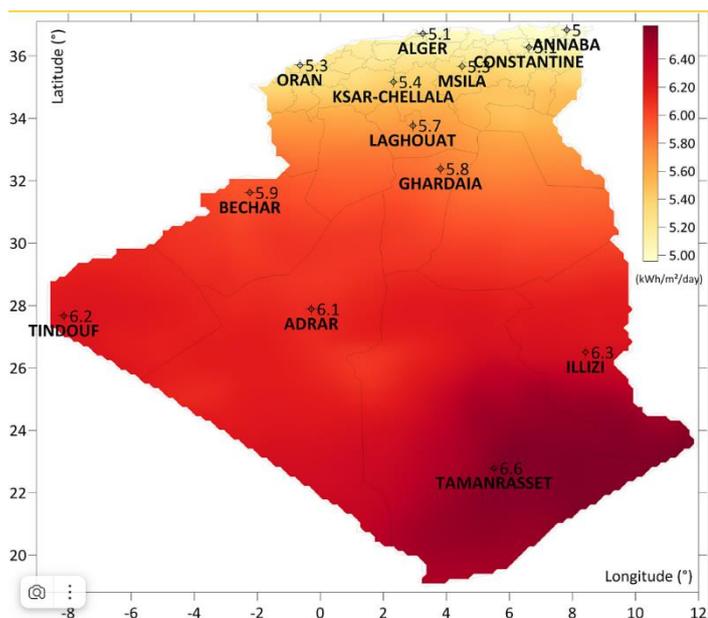


Figure.I.5. Carte globale d'irradiation horizontale (2020). [9]

La durée d'insolation sur presque tout le territoire national dépasse les 2000 heures par an, atteignant même jusqu'à 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara. Quotidiennement, sur une surface horizontale de 1 m², l'énergie reçue approche les 5 kWh, ce qui équivaut à près de 1700 kWh/m²/an au Nord et 2650 kWh/m²/an au Sud du pays. Dans le Sud, qui représente 86% de la superficie totale de l'Algérie, la durée d'ensoleillement est de 8 heures par jour, avec une augmentation pendant les mois d'été pouvant atteindre jusqu'à 12 heures par jour. De plus, la situation géographique de la région permet une constance dans la durée d'ensoleillement tout au long de l'année, assurant une disponibilité équitable et prolongée du soleil. Comme le montre le tableau.I.1, la durée moyenne d'ensoleillement varie entre 2650 h/an dans le nord, 3000 h/an dans les hauts plateaux et 3500 h/an dans le sud, ce qui correspond à une réception d'énergie solaire de 1700 kWh/m²/an au nord, 1900 kWh/m²/an aux hauts plateaux et 2263 kWh/m²/an au sud. [10]

Tableau. I. 4. Taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie. [11]

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne 86 2650 d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m2/an)	1700	1900	2650

I.3. Les panneaux solaires photovoltaïques

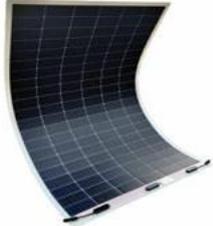
Le panneau solaire, également appelé générateur photovoltaïque, est constitué de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance électrique nécessaire. Ces modules, qui capturent l'énergie solaire et la convertissent en électricité, sont montés sur une structure métallique conçue pour supporter le panneau solaire avec un angle d'inclinaison spécifique [12]. Il existe plusieurs types de panneaux solaires utilisés pour produire de l'énergie solaire.

Le silicium monocristallin est actuellement l'option la plus courante pour les cellules solaires commerciales, malgré la disponibilité de nombreux autres matériaux. Le terme "monocristallin" signifie que tous les atomes dans le matériau photovoltaïque actif font partie d'une structure cristalline simple où il n'y a aucune perturbation dans les arrangements ordonnés des atomes. Malgré son coût élevé, il se distingue par une efficacité élevée en watts par mètre carré (environ 150 Wc/m²), ce qui permet d'économiser de l'espace si nécessaire. Cependant, son efficacité diminue sous un faible éclaircissement [13].

Le silicium polycristallin est composé de petits grains de silicium cristallin. Les cellules solaires à base de silicium polycristallin sont moins efficaces que celles à base de silicium monocristallin. Les joints de grains dans le silicium polycristallin entravent le flux des électrons et réduisent le rendement énergétique de la cellule. L'efficacité de conversion pour une cellule solaire à base de silicium polycristallin modèle commercial varie entre 10 et 14 %. Il se caractérise également par une efficacité de conversion élevée, d'environ 100 Wc/m², et est moins coûteux que les panneaux monocristallins [13].

Le silicium amorphe (a-Si) est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support flexible. L'arrangement irrégulier de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi-conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour alimenter des montres, des calculatrices ou des éclairages de secours. Elles se caractérisent par un coefficient d'absorption élevé, permettant des épaisseurs très minces, de l'ordre du micron. Cependant, leur rendement de conversion est faible (de 7 à 10 %) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière. Elles offrent la possibilité d'être intégrées sur des supports souples ou rigides et sont moins coûteuses que les autres types de panneaux, mais elles ne sont pas le choix optimal en raison de leur faible efficacité, ce qui nécessite de couvrir des surfaces plus importantes [14].

Tableau. I. 5. Comparaison des différents types des modules photovoltaïques. [13, 15]

Technologie	Monocristallin	Polycristallin	Amorphe
Modules PV			
Rendement dans les conditions standard	Le meilleur rendement 18 à 21 %, jusqu'à 24 %	Un Bon rendement entre 14 et 18 %.	Un Faible rendement 10% plus faible que les deux types.
Domaines d'application	Modules de grandes dimensions pour toits et façades, appareils de faibles puissances, espace (satellites)	Modules de grandes dimensions pour toits et façades, générateurs de toutes tailles (reliés réseau ou sites isolés)	Principalement utilisé sur les appareils électroniques comme les calculatrices, les montres...etc.

I.4. L'importance de l'exploitation de l'énergie solaire en Algérie :

L'Algérie dispose d'un fort potentiel dans le domaine des énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire, en raison de son emplacement géographique idéal [16]. Une charge énergétique quotidienne sur une surface horizontale de 5 kWh est réalisée sur la partie du territoire national, environ 1 700 kWh/m² par an dans le nord et 2 263 kWh/m² par an dans le sud du pays [17]. Le gouvernement algérien a mis en place de nombreuses centrales solaires, permettant de fournir de l'énergie à des villages qui peuvent être éloignés du réseau électrique traditionnel. Cette démarche a contribué efficacement à améliorer les conditions de vie et à contribuer au développement des infrastructures dans tels endroits[18]. Le gouvernement algérien a sérieusement annoncé son intention de mettre en œuvre un projet d'interconnexion électrique avec l'Europe, car on s'attend à ce que l'Algérie devienne une source majeure d'exportation d'électricité solaire vers les marchés européens. La fourniture et l'exportation d'énergie solaire représente une source de revenus à long terme pour l'État, garantissant son avenir économique et de développement[16]. Si l'Algérie peut atteindre 27% de la production nationale d'électricité d'ici 2030, cela constituera une transformation qualitative dans le secteur

de l'énergie et dans l'ensemble de l'économie nationale. Les énergies renouvelables contribueront non seulement aux besoins énergétiques, mais aussi à la création d'emplois et à la lutte contre le chômage, puisque environ 30 000 emplois pourraient être créés.[19]

I.5. Les semi-conducteurs

Les semi-conducteurs possèdent des propriétés électriques qui les placent entre les métaux et les isolants. Leurs comportements sont expliqués par la théorie des bandes d'énergie, et leur conductivité est modifiée par le dopage en ajoutant des impuretés. Des jonctions de semi-conducteurs dopés peuvent être formées pour contrôler le courant, ce qui est essentiel dans les dispositifs électroniques tels que les diodes et les transistors [20]. Les semi-conducteurs se divisent en intrinsèques (purs) et extrinsèques (dopés par des impuretés). Les semi-conducteurs intrinsèques sont idéaux sans défauts physiques ou chimiques, avec une structure tétraédrique où chaque atome est entouré de 4 atomes (Figure I.3). Les semi-conducteurs extrinsèques, dopés par des impuretés, modifient leur conductivité, permettant de contrôler le flux électrique, essentiel dans les dispositifs électroniques comme les diodes et les transistors [21]. En ajoutant des impuretés dopantes à un semi-conducteur intrinsèque, il est possible de modifier considérablement la concentration des porteurs de charge, transformant ainsi le semi-conducteur en un semi-conducteur dopé (extrinsèque). Si les impuretés augmentent le nombre d'électrons plus que celui des trous, le semi-conducteur devient de type N. Si les trous augmentent plus que les électrons, alors le semi-conducteur devient de type P [20]. Les dopants couramment utilisés comprennent les éléments de pentavalence tels que l'arsenic (As), l'antimoine (Sb) et le phosphore (P), ou les éléments de trivalences tels que le bore (B), le gallium (Ga) et l'indium (In). Après le dopage, les semi-conducteurs ne sont plus intrinsèques mais extrinsèques [22]. La jonction PN est formée en connectant des matériaux semi-conducteurs des types N et P avec l'ajout d'impuretés donneuses et accepteuses (Figure I.4). En raison du gradient de charge, les électrons excédentaires dans la région N migrent vers la région P déficiente en électrons, tandis que les électrons excédentaires de la région P se déplacent vers la région N.

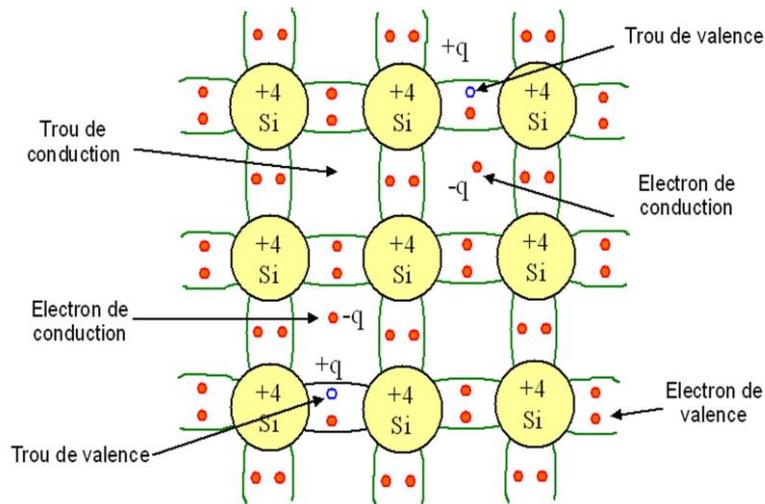


Figure.I.6. Représentation schématique des liaisons électroniques pour k semi-conducteur intrinsèque (Si) [21].

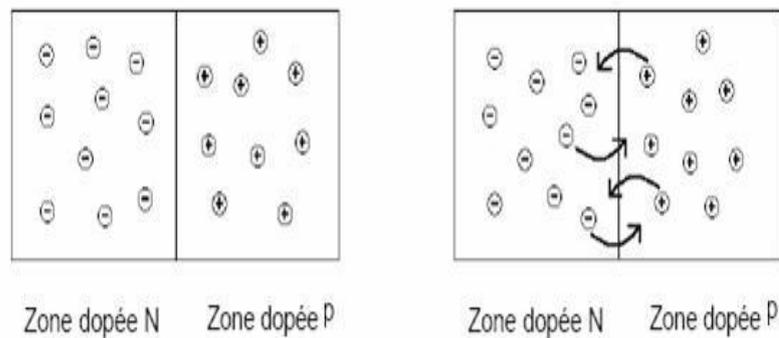


Figure. I. 4. Mise en contact des deux semi-conducteurs dopés Et Migration des porteurs sous L'effet de gradient de charge. [23]

I.6. Programme national photovoltaïque en Algérie

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique. Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. [24]

Le programme d'énergies renouvelables de l'Algérie se concentre principalement sur l'exploitation de l'énergie solaire, en raison de son potentiel élevé en termes d'ensoleillement. L'objectif est de devenir acteur majeur dans la production d'électricité à partir de sources renouvelables, en particulier le solaire. En 2011, ce programme axé sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique a été lancé, puis révisé en 2015. L'objectif était d'installer une puissance électrique d'origine renouvelable de l'ordre de 22 000 MW d'ici à 2030,

destinée aussi bien au marché national qu'à l'exportation, en 13,57 GW ont été alloués aux technologies photovoltaïques [25]. En 2019, la production d'énergies renouvelables a atteint 842 GWh, en grande partie assurée par des centrales photovoltaïques. À ce jour, le plus grand projet de construction de centrales photovoltaïques en Algérie, d'une capacité totale de 343 MW, a été lancé par SKTM, une filiale de Sonelgaz. Ce projet a été réalisé avec succès, avec la participation de l'entreprise allemande Belectric, qui a construit 85 MW, et du groupement chinois Yingli Solar/Sinohydro/Cntic, qui s'est vu attribuer 258 MW. Le succès de ce projet a incité les autorités à promouvoir d'avantage cette technologie dans le cadre du programme de développement des énergies renouvelables[26]. En 2020, le ministère de l'Énergie a présenté un programme de développement des énergies renouvelables, avec une capacité de 16 000 MW prévue d'ici 2035, entièrement axée sur le solaire photovoltaïque, dans le cadre de la transition énergétique en Algérie. Dans ce programme, 15 000 MW seront générés par des centrales solaires connectées au réseau national, avec une première tranche de 4000 MW à être réalisée d'ici 2024, tandis que les 1000 MW restants seront déployés en autonome d'ici 2030. [27]

I.7. Les centrales photovoltaïques en Algérie

Les centrales photovoltaïques installées pour l'exploitation des énergies renouvelables et l'utilisation des énergies propres plus 21 Centrales PV mentionné dans le tableau I.3.

Tableau. I. 6. Les centrales photovoltaïques installées en Algérie.

La Centrale	La Puissance
C.S.PV Timimoune	9 MWc
C.S.PV BRN Ouargla	10 MWc
C.S.PV Saida	30 MWc
C.S.PV M'sila	20 MWc
C.S.PV Tamanrasset	13 MWc
C.S.PV EI Bayadh	23,92 MWc
C.S.PV Djelfa	53 MWc
C.S.PV Leghouat	60 MWc
C.S.PV Adrar	20 MWc

Figure. I. 5.a. La centrale photovoltaïque d'Ain Skhouna, d'une capacité de 30 MWc, a été installée en 2015 et mise en service en 2018 dans la Wilaya de Saida, à 80 km de sa capitale. Ce projet de 42 ha, réalisé par SKTM pour environ 50 millions d'euros, fait partie du programme

national des énergies renouvelables en Algérie, visant à produire 400 MW à partir de 23 installations similaires [28]. Figure. I. 5.b. La centrale photovoltaïque de 23,92 MWc à El Abiodh Sidi Cheikh, Wilaya d'El Bayadh, opère depuis 2015 et a été connectée au réseau en mars 2017. Située dans la commune de Lebiodh Sidi Cheikh, à 120 km au sud-ouest du chef-lieu de la wilaya, ce projet s'étend sur 39,2 hectares et a été réalisé par SKTM. Chaque sous-système de la centrale photovoltaïque est organisé en 12 blocs, chacun d'environ 2 MWc, convertissant l'énergie solaire en électricité alternative à une tension moyenne de 33 kV. Les 12 sous-champs sont connectés à un transformateur principal (33 kV / 60 kV, 50 Hz) pour l'intégration au réseau. Chaque bloc se compose de 24 modules PV poly-cristallins CS6P 255-P, montés à un angle de 15 degrés vers le sud sur environ 25 hectares. Cette disposition en série des modules augmente la tension, avec chaque bloc fournissant une puissance crête de 255 Wc [29]. Figure. I. 5.c. La centrale photovoltaïque d'Adrar, d'une capacité de 20 MW, a été installée en 2015 et a débuté son exploitation le 20 mars 2016. Située à l'ouest de la wilaya, elle fait partie d'un programme comprenant sept installations similaires construites par la filiale d'énergie renouvelable de Sonelgaz, le fournisseur d'électricité national (SKTM, 2019). La station s'étend sur une surface rectangulaire d'environ 1000 mètres de long sur 400 mètres de large [30]. Figure. I. 5.d. La centrale photovoltaïque d'Ain El Melh à M'sila, mise en service le 25 janvier 2017, a une capacité de 20 MW et une tension d'injection de 60 kV. Elle couvre une superficie de 41,16 hectares et est située à 120 km au sud-ouest de la ville de M'sila. Ce projet fait partie du "Projet 400 MW" de la SKTM, une filiale de Sonelgaz dédiée au développement des énergies renouvelables [31]. Figure. I. 5.e. La centrale photovoltaïque d'Elwajda, d'une capacité de 9 MWc, construite en neuf mois et opérationnelle depuis le 11 février 2016, est située à Timimoune, à 15 km au sud de sa capitale et à 185 km au nord d'Adrar. Couvrant 18 hectares, elle fait partie du programme national des énergies renouvelables visant à produire 400 MW au total, avec une connexion directe au réseau national 30KV. Réalisée par SKTM en collaboration avec Yingli Energy, Sinohydro et Hydrochina du groupe chinois YSH [32].



a. La centrale photovoltaïque Ain Skhouna de Saïda.[1]



b. La centrale photovoltaïque l'Elbiodh Sidi Chikh.[2]



c. Centrale solaire photovoltaïque d'Adrar.[1]



d. Centrale photovoltaïque d'Ain El Melh à M'sila[1]



e. Centrale photovoltaïque d'Elwajda à Timimoune. [1]

Figure. I. 5. Les centrales photovoltaïques en Algérie

I.8. Conclusion

Ce chapitre montre l'engagement sérieux de l'État algérien à réaliser la transition énergétique à travers un ensemble de programmes planifiés pour transformer les zones désertiques en projets gigantesques d'énergie solaire photovoltaïque. Ces régions se distinguent par leurs vastes étendues et leur potentiel énorme en énergie solaire ainsi que par leurs nombreuses heures d'ensoleillement. De plus, une variété de techniques pour les panneaux solaires a été mise en avant en termes de types, d'efficacité et de rentabilité économique.

Chapitre II : Recherche bibliographique

II.1. Introduction

Les températures élevées sont considérées comme l'un des facteurs les plus sérieux affectant négativement la durée de vie et l'efficacité des panneaux solaires. De nombreuses études ont été menées pour comprendre et estimer l'effet de la température sur l'efficacité des panneaux solaires. Ce chapitre examine les études expliquant l'effet de la température sur les systèmes solaires photovoltaïques, ainsi que les différentes méthodes et techniques de refroidissement.

II.2. Impact de l'élévation température sur les performances les systèmes PV

Les panneaux solaires sont connus par leur capacité à convertir jusqu'à 25% du rayonnement solaire en énergie électrique. La partie restante du rayonnement est stockée et élève la température des panneaux [33]. L'étude Cristobal et Oswaldo [9] a été menée au Brésil dans des conditions de test standard pour un rayonnement de 1000 W/m², les résultats ont montré que les changements de température provoquaient une diminution linéaire de l'efficacité. L'étude de Razika et al. [34] a été menée dans la province de Saïda, en se concentrant sur l'analyse des performances des panneaux solaires polycristallins d'environ 30 MW. L'étude a montré qu'avec l'augmentation de la température, la perte d'énergie augmentait linéairement. Indra [35] a examiné l'effet de la température sur les modules PV polycristallins au Népal, il a constaté que la valeur du coefficient de température positif visible dans le courant de court-circuit dépassait la valeur du coefficient de température négatif visible dans la tension de circuit ouvert lorsque la température de la cellule dépassait 20 °C. Ces résultats indiquent que l'efficacité de ces cellules diminue avec l'augmentation de la température, leur efficacité diminuant de 0,05 % pour chaque 1°C supplémentaire. Dans une autre étude au Nigéria sur un ensemble de cellules solaires monocristallines étudié par Ike [36], les résultats indiquent une relation indirecte entre la température et les performances d'un système photovoltaïque solaire. Une diminution des performances de production d'énergie des systèmes solaires PV est observée à mesure que la température de l'environnement augmente. En revanche, les baisses de température dans l'environnement ont entraîné une augmentation de la production d'énergie du système. Une étude en Thaïlande visant à surveiller la détérioration des panneaux solaires polycristallins tout au long de l'année, menée par Yaowanee et al [37], a montré que les températures élevées sont considérées comme l'un des principaux facteurs de la détérioration et de l'instabilité des panneaux solaires. Anu [38] a constaté qu'une augmentation de la température affecte différemment l'efficacité des cellules solaires en fonction de la qualité des matériaux utilisés. L'analyse statistique montre qu'une augmentation de 1°C de la température

a augmenté l'efficacité des panneaux a-Si de 0,029 % et l'efficacité des panneaux en silicium polycristallin de 0,033 %, tandis que l'efficacité des panneaux en silicium monocristallin a diminué de 0,084 % [39]. Divers tests ont été réalisés sur un panneau solaire standard d'une puissance de sortie estimée à 55 watts par Zaoui et al. [40]. Il a été conclu que la température du panneau et sa puissance sont liées au rayonnement et à d'autres facteurs externes. Le panneau ne génère pas la même quantité d'énergie tout au long du temps, et sa température a tendance à se stabiliser avec le temps. Les variations de température entraînent des variations dans l'efficacité du panneau photovoltaïque. Dhass et al. [41] ont constaté que la température augmente la tension de circuit ouvert et la résistance série, mais pas la résistance de dérivation et le courant. Cet effet de chauffage diminue la durée de vie du panneau PV, affecte les points de soudure et modifie les performances des matériaux des cellules solaires. Dash et al. [42] ont constaté que la différence d'énergie est due à la correction de la température entre différentes technologies de cellules. À New Delhi. L'étude a été menée sur trois panneaux différents à cellules monocristallines, multicristallines et CdTe, et les résultats ont indiqué que le coefficient de température moyen des unités de puissance était de 0,446 %, 0,387 % et -0,172 %, respectivement. Dans le cas de l'unité de silicium amorphe, un seul échantillon a été mesuré, et le coefficient de température était de -0,234 %. Cette étude a montré que le coefficient de température des unités de silicium monocristallin est plus élevé que celui des autres types d'unités d'énergie solaire. Dans une autre expérience menée par GEDİK [43] en Turquie, le panneau a été exposé à quatre températures différentes. Selon les calculs, l'efficacité de l'unité était de 12,07 % à 14,9°C de température de surface de la plaque (T_p), alors qu'elle était de 10,7 % à 51,3°C de T_p . Il a été observé qu'une augmentation de la température de l'unité photovoltaïque réduit son efficacité. Dans une expérience menée dans la ville de Termiz dans des conditions de température de l'air de 30°C et une densité d'irradiation solaire de 850 à 950 W/m^2 par Yuldoshov et al. [44], il a été constaté que la température du verre de l'unité photovoltaïque différait de la température du plaque arrière d'environ 20°C et de la température arrière du cellule photovoltaïque d'environ 25 °C. De plus, en raison des variations de température, la tension de circuit ouvert de l'unité photovoltaïque est passée de 21 volts à 19,3 volts, tandis que le courant de court-circuit est passé de 0,65 ampères à 0,75 ampères. Tout au long de l'expérience, les valeurs de puissance électrique variaient d'environ 11 à 11,6 watts. Une étude a été menée en Inde par Dipankar et al. [45] pour comparer les cellules solaires PV mono-Si et poly-Si sous l'influence de températures élevées. Les résultats ont montré que les performances de la technologie PV mono-Si étaient meilleures d'environ 12 % par rapport au PV poly-Si, et les pertes dans le PV mono-Si étaient inférieures d'environ 32 % par rapport au

PV poly-Si. L'étude a également indiqué que le taux de dégradation annuel des cellules PV mono-Si était d'environ 0,67 %, tandis qu'il était d'environ 0,73 % pour les cellules PV poly-Si, ce qui indique que le PV poly-Si se détériore à un rythme plus rapide par rapport au PV mono-Si.

II.3. Les technologies de refroidissement des Systèmes PV

De nombreux chercheurs ont examiné en profondeur les solutions possibles pour améliorer les performances des technologies photovoltaïques en utilisant plusieurs techniques. Trois différentes méthodes sont proposées dans les processus de refroidissement, notamment le refroidissement par eau, par air et par l'utilisation de matériaux à changement de phase [46].

II.3.1. Refroidissement par les matériaux à changement de phase PCM

Le système PCM utilise des matériaux qui changent leur état physique, tels que les matériaux à changement de phase (PCM), pour la régulation thermique dans les systèmes d'énergie solaire. Ce système combine les panneaux photovoltaïques et les modules PCM en un seul panneau dans le but d'améliorer l'efficacité de conversion de l'énergie solaire. Le système absorbe la chaleur latente lors du changement d'état d'une substance de solide à liquide dans une plage de température spécifique [47]. Le coût de l'installation d'un système de refroidissement PCM est considéré comme le plus économique, allant de 1 à 2 dollars par watt [48]. Le PCM préparé par Senthil et al.[49] a été fabriqué à partir de polyéthylène glycol et de graphite expansé. Ce matériau a été placé derrière le panneau solaire. Les résultats ont montré une réduction de la température de surface des panneaux solaires de 11,5 °C, et la capacité à améliorer l'efficacité des panneaux solaires a atteint 3,667%. L'étude a indiqué que les panneaux solaires peuvent être refroidis par le matériau à changement de forme dans une plage de température de 35 à 40 °C. L'expérience menée par Dhanusiya et Ashwani [50] ont déterminé le moyen le plus efficace d'améliorer l'efficacité des panneaux solaires en utilisant trois types différents de matériaux à changement de phase (PCM) avec trois panneaux solaires. Les résultats ont montré que les meilleurs résultats ont été obtenus pour le panneau utilisant de la paraffine et de la perlite, car sa température a été réduite de 11 °C et son efficacité a augmenté d'environ 3%. Zhenpeng et al [51] a utilisé un matériau à changement de phase et l'a installé à l'arrière d'un module de cellules solaires cristallines à base de silicium, connu sous le nom de système PV-PCM, dans le but d'absorber l'excès de chaleur du module de cellules solaires pour améliorer l'efficacité de conversion électrique. Les résultats ont montré que la différence de température du module solaire entre le système PV uniquement et le système PV-PCM peut atteindre 23°C, donc la production d'électricité du système PV-PCM augmente de 5,18%.

AlMiaari et Muhammad [52] ont analysé une unité de cellules solaires de 20 watts refroidie à l'aide de matériau à changement de phase. Six petits récipients remplis de matériau à changement de phase ont été utilisés au lieu d'un grand récipient, rendant l'application plus techniquement réalisable. Comme le montre la [Figure. II.1](#). L'utilisation de dispositifs de mesure de température a montré que la température unitaire moyenne a diminué de 10 °C et que la performance énergétique a augmenté de 5,23% par rapport aux unités non refroidies.



Figure. II.4. Assemblage des six contenants. [52]

II.3.2. Refroidissement par air

Le refroidissement par air des panneaux photovoltaïques repose sur la direction de courants d'air actifs pour refroidir la surface des panneaux et maintenir leur température basse, ce qui améliore l'efficacité de la conversion de l'énergie solaire. Le coût d'installation du système de refroidissement par air est considéré comme le moins cher, car il repose principalement sur l'air naturel et ne nécessite pas d'appareils ou de matériaux coûteux comme les autres technologies. Ahmed et al. [53] ont montré que l'utilisation de petits ventilateurs arrière pour refroidir les panneaux PV pouvait améliorer les performances et permettre une augmentation globale pouvant atteindre 2,1 % de l'efficacité des panneaux PV. Hernández et al. [54] ont réalisé une évaluation de la technique de refroidissement par air forcé en utilisant des ventilateurs pour refroidir les panneaux photovoltaïques montés sur le toit, comme indiqué dans la [figure. II.2](#). Leur technique a entraîné une amélioration de 15 % de la puissance électrique générée, réduisant la température du panneau de 15 °C. Les panneaux solaires ont été intégrés à un système d'air comprimé par Marcus et al. [55], où de l'air haute pression est stocké et utilisé pour circuler sur la surface des panneaux, éliminant la poussière accumulée et refroidissant les panneaux. Les résultats ont montré une diminution significative de la température de fonctionnement du panneau solaire et une

augmentation de ses performances électriques de 7 à 12,6 %. Nebbali et al. [56] ont ajouté un système de refroidissement par air indépendant et simple aux panneaux solaires, comprenant un ventilateur activé par l'électricité générée. Ce ventilateur souffle de l'air ambiant sur la face arrière du panneau. Les principaux résultats de cet auto-refroidissement, comparé à la situation des panneaux non refroidis, indiquent une augmentation de 29,52 % de l'efficacité des panneaux dans des conditions climatiques difficiles, tandis que la température des panneaux diminue de 39,29 degrés Celsius. Popovici et al. [57] ont constaté que l'utilisation de dissipateurs thermiques refroidis par air réduisait significativement la température des panneaux solaires de 10 degrés Celsius, entraînant une augmentation de 14 % de la production d'énergie. Elminshawy et al. [58] ont constaté que le passage d'air atmosphérique refroidi sur la face arrière du panneau pouvait réduire la température du module PV d'une moyenne de 55 °C (sans refroidissement) à 42 °C. La puissance de sortie moyenne et l'efficacité étaient d'environ 18,90 % et 22,98 %, respectivement.



a



b

Figure. II.5. Refroidissement de l'air (a) convection naturelle (b) convection forcée. [53]

II.3.3. Refroidissement par eau

Le système de refroidissement des panneaux photovoltaïques par l'eau réduit leur température, ce qui améliore l'efficacité de la conversion de l'énergie solaire. La [Figure II.3](#) montre les différentes méthodes et technologie de refroidissement à l'eau.

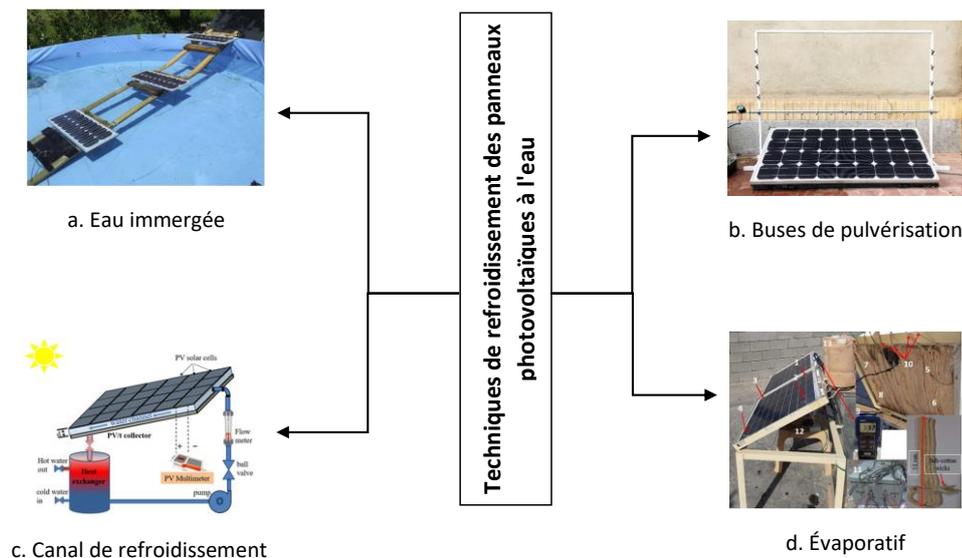


Figure II. 6. Classification des technologies de refroidissement par l'eau. [46]

(a) Eau immergée.[59] (b) Buses de pulvérisation.[60] (c) Canal de Refroidissement.[61]
(d) Évaporatif. [62]

Iqbal et al. [63] ont installé une éponge absorbante sur le côté arrière du panneau photovoltaïque, avec de l'eau. Une relation linéaire a été trouvée entre la température de l'unité photovoltaïque et son efficacité, où les données statistiques indiquent que le refroidissement par eau peut réduire la température des panneaux photovoltaïques d'environ 4 à 5 °C, entraînant une augmentation significative de l'efficacité de 7 à 12 %. Sous des conditions de rayonnement solaire maximal, les résultats expérimentaux de Nizetić et al. [64] ont montré que la pulvérisation d'eau sur les surfaces des panneaux peut entraîner une augmentation maximale de 16,3 % de la puissance électrique générée et une augmentation globale de 14,1 % de l'efficacité électrique. De plus, il a été constaté qu'il était possible de réduire la température du panneau d'une moyenne de 54 C pour un panneau non refroidi à 24 C lorsque les panneaux avant et arrière sont refroidis. Bai et al. [65] ont étudié l'effet des méthodes de refroidissement par pulvérisation et à base de réfrigérant sur les performances des modules photovoltaïques par rapport aux modules sans refroidissement, et l'un des résultats les plus importants est que la méthode de pulvérisation surpasse les autres alternatives de 19 à 25 %. Quatre expériences utilisant la même technique de refroidissement par pulvérisation d'eau ont été menées. Chanphavong et al.[66], qui ont utilisé des panneaux monocristallins dans le Sistan et le Balouchistan, ont montré que le panneau refroidi surpassait le panneau non refroidi de 10 %. De même, Hadipour et al. [67] ont utilisé des panneaux monocristallins ; pour le panneau refroidi, il y a eu une augmentation de 33,3 % du rendement électrique maximal. Nateqi et al. [60] ont utilisé le même type de panneaux. Il a été constaté que la réduction de l'angle de

pulvérisation à 15 degrés augmentait le courant électrique, ce qui entraînait une efficacité du panneau solaire de 19,78 % et une baisse de la température moyenne du panneau de 64 °C (pour les panneaux non refroidis) à 24 °C en seulement 10 minutes. Zhang et al [68] sont concentrés sur les panneaux poly- cristallins, ils ont trouvé que la température moyenne de la cellule et l'efficacité de conversion sous une pression de pulvérisation de 3 bars étaient de 51,90 °C et 17,58 %, respectivement, contre 68,80 °C et 16,06 %, respectivement, sans pulvérisation. Plusieurs expériences ont été menées impliquant l'immersion de panneaux solaires dans l'eau. Gatot et al. [69] Les résultats ont montré une augmentation idéale de la puissance, de l'efficacité, de la tension et du courant de 8 %, 9 %, 2 % et 1,5 % respectivement. Ces résultats indiquent que le refroidissement par eau est considéré comme un moyen efficace d'augmenter la durée de vie des panneaux solaires et agit comme un système de nettoyage de la poussière et de la saleté accumulées sur leur surface. Zubeer et Ali [70] a indiqué que la température finale de panneau photovoltaïque, le système photovoltaïque concentré (CPV) et du système CPV refroidi par eau étaient de 57,5 °C, 64,1 °C et 36,5 °C respectivement. De plus, la production d'énergie pour le système CPV refroidi par eau et le système CPV s'est améliorée de 24,4 % et 10,65 % respectivement. L'étude d'Ahmed et al. [71], ont utilisé des panneaux monocristallins, ils ont montré que l'augmentation de l'efficacité des panneaux solaires par rapport aux conditions non refroidies a démontré une augmentation de l'efficacité du débit de 6,71 % à un débit de 3 litres/heure, de 4,51 % à un débit de 6 litres/heure, et de 3,28 % à un débit de 9 litres/heure. Plusieurs expériences ont également été menées sur le refroidissement par évaporation. En Irak, L'étude de Yang et al. [72] a été menée sur des panneaux monocristallins, les résultats ont indiqué que le système proposé pouvait maintenir une augmentation d'efficacité dépassant 15 % dans des conditions estivales environnementales, ce qui est une meilleure augmentation par rapport au refroidissement par air. Chea et al. [73] ont mené la même expérience en Thaïlande, montrant une augmentation de la production d'électricité de 7,04 % et 4,47 % respectivement, par rapport à l'unité régulière. Dans les régions chaudes et arides comme Ouargla, en Algérie, de meilleures performances des unités photovoltaïques peuvent être atteintes, améliorant la génération moyenne totale et mensuelle nette d'énergie de 8,62 % et 6,48 % respectivement. Alktranee et Péter [74] ont utilisé des panneaux polycristallins, leurs résultats indiquant une augmentation de 16,4 % de l'efficacité par rapport au refroidissement par air.

Le résumé de l'effet et type de refroidissement des panneaux photovoltaïques nombreuses études récents par type de PV, efficacité de la conversion de l'énergie solaire, sont présentés dans le Tableau. II.1.

Tableau II. 2. Résumé des principaux résultats de refroidissement des systèmes PV par l'eau.

Auteurs	année	Type de panneaux	méthodologie	Résultats
Chanphavong et al [66]	2022	monocristallin	Buses de pulvérisation	-Le rendement a augmenté de 12,76% - Température diminuée de 29,2 °C
Hadipour et al [67]	2020	monocristallin	Buses de pulvérisation	-Le rendement électrique a augmenté de 33,3% - Température diminuée de 27 °C
Nateqi et al [60]	2020	monocristallin	Buses de pulvérisation	-Le rendement électrique a augmenté de 12,6% - La température a été réduite de 13°C en 10 minutes
Zhang et al [68]	2023	Polycristalline	Buses de pulvérisation	dans le cas d'une pulvérisation à 3 bars, 51,90 °C et 17,58 %, respectivement, tandis que dans des conditions sans pulvérisation, 68,80 °C et 16,06 %, respectivement,
Gatot et al [69]	2023	Polycristalline	Eau immergée	- Augmente le rendement électrique jusqu'à 16% - Température diminuée de 28°C.
Ahmed et al. [71]	2019	monocristallin	Eau immergée	Le rendement a augmenté par rapport aux panneaux sans refroidissement de 6,71 % pour un débit de 3 litres/heure, de 4,51 % pour un débit de 6 litres/heure et de 3,28 % pour un débit de 9 litres/heure.
Zubeer et Ali [70]	2019	Polycristalline	Eau immergée	La température a été réduite de 64,1 à 36,5 Augmentation de l'efficacité énergétique électrique de 14,2% à 17%
Yang et al [72]	2023	monocristallin	Évaporatif	Augmentation de l'efficacité de 16,4 %
Chea et al [73]	2023	monocristallin	Évaporatif	La puissance électrique mensuelle totale moyenne a augmenté de 7,04 %.
Alktranee et Péter [74]	2022	Polycristalline	Évaporatif	Température réduite de 22,3% Améliorez la capacité de production de 73 %
Bahaidarah et al [75]	2013	monocristallin	Canal de refroidissement	La température a baissé de 20 °C Augmentation de 9 % de l'efficacité
Zhang et al [76]	2022	monocristallin	Canal de refroidissement	Améliorer l'efficacité globale de 18,04 %

II.4. Conclusion

Ce chapitre indique que l'augmentation de la température a un impact significatif sur l'efficacité et les performances des panneaux solaires. De nombreux chercheurs ont développé plusieurs techniques pour refroidir les panneaux photovoltaïques, et la technique de refroidissement par eau s'est avéré la meilleure en termes de dissipation de la chaleur et d'amélioration de l'efficacité du panneau. La méthode de pulvérisation d'eau sur la surface du panneau photovoltaïque s'est distinguée comme la meilleure méthode pour refroidir le panneau et augmenter son efficacité par rapport aux autres méthodes de refroidissement liées à l'eau.

CONCLUSION GENERALE

ET RECOMANDATION

Conclusion générale

La réalisation de la transition énergétique en Algérie a une grande opportunité en créant des centrales solaires photovoltaïques dans les régions désertiques vu que le taux d'ensoleillement est très élevé (une moyenne de 3000 heures d'ensoleillement par an sur 80 % de la superficie globale du pays). Cependant, la chaleur excessive qui caractérise ces régions affecte considérablement les performances des panneaux solaires. De nombreux chercheurs à travers le monde, ont proposé plusieurs techniques pour refroidir les panneaux solaires photovoltaïques. Ils ont convenu que la technique de pulvérisation d'eau sur la surface du panneau est l'une des meilleures méthodes de refroidissement

. Dans cette étude, nous avons équipé un panneau solaire d'un système de refroidissement par pulvérisation d'eau afin de comparer les performances d'un panneau photovoltaïque (PV) avec le refroidissement intelligent et refroidissement continu et d'un panneau PV sans refroidissement. Les principaux résultats de cette étude se résument comme suit :

- La production maximale d'énergie électrique du panneau photovoltaïque augmente d'environ 15.6 % avec le système de refroidissement continu et de 16.25 % avec le système de refroidissement intelligent, par rapport à l'état du panneau non refroidi.
- La température du panneau solaire a diminué d'environ 37.66 degrés lors du refroidissement continu, avec une consommation de 1600 litres d'eau. En revanche, la température du panneau solaire a diminué d'environ 38.03 degrés lors du refroidissement intelligent en utilisant seulement 16 % de la quantité d'eau consommée dans le système de refroidissement continu.

-

L'expérience montre que la température a un impact significatif sur l'efficacité des panneaux solaires, où leur efficacité a augmenté à mesure que la température baissait. Le système de refroidissement utilisé dans l'expérience a généralement prouvé son efficacité en réduisant la température des panneaux et en augmentant leur efficacité. Ce type de refroidissement n'a pas seulement prouvé son efficacité dans le refroidissement des panneaux, mais a également permis de récupérer les pertes causées par la poussière et la saleté pour une ville comme Ouargla qui se caractérise par ces tempêtes de sable périodiques.

Recommandations

Les futures recherches devraient approfondir l'impact de divers facteurs, notamment la vitesse du vent, l'humidité, sur la performance des panneaux. Cette exploration peut conduire à des stratégies de contrôle plus précises. L'investigation de techniques de refroidissement avancées, telles que les nano fluides, et la détermination des débits optimaux pour différentes conditions sont essentielles pour maximiser la production d'énergie.

Références

- [1] <https://www.interieur.gov.dz/images/Projets-raliss-dans-le-cadre-du-programe-national-des-nergies-renouvelables-.pdf> (accessed consulté 28 Avril 2024).
- [2] <https://www.dknews-dz.com/article/96662-el-bayadh-inauguration-de-la-centrale-electrique-en-energie-solaire-de-la-commune-de-labiodh-sidi-cheikh.html> (accessed (site consulté 26 Avril 2024).
- [3] URL : <https://www.aros-solar.com/fr/le-rayonnement-solaire> (accessed site consulté 6 mars 2024).
- [4] URL : <https://www.edfenr.com/lexique/rayonnement-direct> (accessed site consulté 7 mars 2024).
- [5] URL : <https://www.edfenr.com/lexique/rayonnement-diffus> (accessed site consulté 9 mars 2024).
- [6] URL : <https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/enseillement-d8> (accessed site consulté 24 Avril 2024).
- [7] D.BENATIALLAH, "Détermination du gisement solaire par imagerie satellitaire avec intégration dans un système d'information géographique pour le sud d'Algérie," Doctoral dissertation, Université Ahmed Draïa- Adrar, 2019.
- [8] N. Mebrek, M. T. Bouziane, F. Demnati, and A. E. Nemdil, "Study of the efficiency of a hybrid pumping system (photovoltaic/ electric) for better rural setting management," in *Research and innovation as tools for sustainable agriculture, food and nutrition security*, vol. 124, M. Belkhouja, M. El Moujabber, P. Kalaitzis, H. Belhouchette, R. Cosentino, and W. Occhialini Eds., (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens: Bari : CIHEAM, 2020, pp. 101-108.
- [9] K. Abdeladim, A. Razagui, S. Semaoui, and A. Hadj Arab, "Updating Algerian solar atlas using MEERA-2 data source," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 281-287, 2020/02/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.08.057>.
- [10] M. D. Kahina, "CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT de METHODES NUMERIQUES UTILISANT les RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS pour la CARACTERISATION du GISEMENT SOLAIRE en ALGERIE," DOCTORAT, UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE, 2015.
- [11] D. HAMITI, & BOUZADI-DAOUD, D., "LES ENERGIES RENOUVELABLES EN ALGERIE : ASPIRATIONS ET OBSTACLES," *مجلة بحوث الاقتصاد والمناجنت، 2* (1), vol. 187-214, 2021. [Online]. Available: <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/153194>.
- [12] T. Mambrini, "Characterization of photovoltaic solar panels in outdoor conditions and according to different technologies
Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies," Université Paris Sud - Paris XI, 2014PA112380, 2014. [Online]. Available: <https://theses.hal.science/tel-01164783>
- [13] B. Flèche and D. Delagnes, "Energie solaire photovoltaïque," *STI ELT, juin*, 2007.
- [14] S. Abada and H. Le-Huy, "Étude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur Sepic," 2011.
- [15] URL : <https://www.jade-technologie.com/differentes-technologies-de-panneaux-solaires> (accessed site consulté 3 mars 2024).
- [16] M. Benaïla *et al.*, "Algeria's potential to supply Europe with dispatchable solar electricity via HVDC links: Assessment and proposal of scenarios," *Energy Reports*, vol. 11, pp. 39-54, 2024/06/01/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.11.039>.
- [17] A. B. Stambouli, "Promotion of renewable energies in Algeria: Strategies and perspectives," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 2, pp. 1169-1181, 2011/02/01/ 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.017>.
- [18] A. Ghezloun, S. Chergui, and N. Oucher, "Algerian energy strategy in the context of sustainable development (Legal framework)," *Energy Procedia*, vol. 6, pp. 319-324, 2011/01/01/ 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.05.036>.

- [19] t. z. aibeche hadia, "The role of renewable energies in the creation of job opportunities - case study of Algeria," *Social and human science studies*, vol. 10, no. 10, p. 2, 2021/03/16 2021, doi: 10.46315/1714-010-002-018.
- [20] B. F. Amal, "Contribution à l'étude des propriétés optoélectroniques de l'alliage semi-conducteur ternaire AlxGa1-aSb," DIPLÔME DE MASTER, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj, 2021. [Online]. Available: <https://dspace.univ-bba.dz:443/xmlui/handle/123456789/1071>
- [21] A. A.-M. LAMIA, "Transistor bipolaire," DIPLÔME DE MASTER, Ibrahimi El Bachir El Mohamed Université, 2015. [Online]. Available: <https://dspace.univ-bba.dz:443/xmlui/handle/123456789/869>
- [22] F. T. BENGUEDOUAD LOUNIS "Étude des propriétés structurales, optiques et électroniques du semiconducteur ScP," DIPLÔME DE MASTER, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj, 2021.
- [23] <https://www.scribd.com/doc/47752793/Effet-Photovoltaïque> (accessed site consulté 25 Avril 2024).
- [24] M. H. Adouane, Mourad, "Etude de la fiabilité des systèmes solaires hybrides dans le sahara," Doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, 2014. [Online]. Available: <http://repository.enp.edu.dz/xmlui/handle/123456789/402>
- [25] A. Aya, "Évaluation De La Production De L'électricité A Partir Des Énergies Solaires En Algérie Selon Le Programme Des Énergies Renouvelables (enr) 2015-2020," *Articles Scientifiques Et Publications, Ecole Supérieure De Gestion Et D'économie Numérique*, 2022.
- [26] https://www.energypartnership-algeria.org/fileadmin/user_upload/algeria/220323_Brochure_de_marché_PV_en_Algerie_FR_rev03.pdf (accessed site consulté 27 mars 2024).
- [27] D. Hamiti, "Etat Des Lieux Des Énergies Renouvelables Et De La Stratégie D'efficacité Énergétique En Algérie," *Articles Scientifiques Et Publications, Centre Universitaire De Barika*, 2022.
- [28] M. Hneini, "Etude De La Centrale Photovoltaïque De Skhouna (saida)," Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2022.
- [29] M. H. Boukhari, A, "Etude Et Analyse Des Performances De La Centrale D'el Bayadh Lebiod Sidi Cheikh," Mémoire de Master, Université Saad Dahleb - Blida, 2021.
- [30] S. Bentouba, M. Bourouis, N. Zioui, A. Pirashanthan, and D. Velauthapillai, "Performance assessment of a 20 MW photovoltaic power plant in a hot climate using real data and simulation tools," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 7297-7314, 2021/11/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.10.082>.
- [31] K. B. Kihoul, Lynda, "Estimation du Rayonnement Solaire en Station d'Ain El Melh Cas d'un Ciel Clair," Master, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2020.
- [32] C. s. L. azza, "Analyses de la performance de système PV connecté à réseau étude de cas, la centrale PV 9MW à Timimoune," diplôme de master, Université Ahmed Draya d'ADRAR, 2021.
- [33] A. I. E. M. Amar, "Conception d'un système de régulation de la température des panneaux photovoltaïques à base d'un système à microprocesseur," M.Sc, 8 Mai 1945 – Guelma, 2020. [Online]. Available: <http://dspace.univ-guelma.dz:8080/xmlui/handle/123456789/10252>
- [34] R. Ihaddadene, M. El hassen Jed, N. Ihaddadene, and A. De Souza, "Analytical assessment of Ain Skhouna PV plant performance connected to the grid under a semi-arid climate in Algeria," *Solar Energy*, vol. 232, pp. 52-62, 2022/01/15/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.12.055>.
- [35] I. Karki, "Effect of Temperature on the I-V Characteristics of a Polycrystalline Solar Cell," *Journal of Nepal Physical Society*, vol. 3, p. 35, 01/28 2016, doi: 10.3126/jnphysoc.v3i1.14440.
- [36] C. U. Ike, "The Effect of Temperature on the Performance of A Photovoltaic Solar System In Eastern Nigeria," *Engineering And Science*, no. 12(December 2013), p. 10, 2013.
- [37] Y. Sangpongsanont, D. Chenvidhya, S. Chuangchote, and K. Kirtikara, "Corrosion growth of solar cells in modules after 15 years of operation," *Solar Energy*, vol. 205, pp. 409-431, 2020/07/15/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.016>.

- [38] A. Singla, K. Singh, and V. K. Yadav, "Environmental effects on performance of solar photovoltaic module," in *2016 Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy (PESTSE)*, 21-23 Jan. 2016 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/PESTSE.2016.7516480.
- [39] E. Ö. Elibol, Özge Tüzün & Tutkun, Nedim & Köysal, Oğuz, "Outdoor performance analysis of different PV panel types," *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier*, vol. 67, pp. 651-661, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.051.
- [40] F. Zaoui, A. Titaouine, M. Becherif, M. Emziane, and A. Aboubou, "A Combined Experimental and Simulation Study on the Effects of Irradiance and Temperature on Photovoltaic Modules," *Energy Procedia*, vol. 75, pp. 373-380, 2015/08/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.393>.
- [41] A. D. Dhassa, E. Natarajana, and P. Lakshmi, "An investigation of temperature effects on solar photovoltaic cells and modules," *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, vol. 27, pp. 1713-1722, 11/01 2014, doi: 10.5829/idosi.ije.2014.27.11b.09.
- [42] P. Dash and N. C. Gupta, "Effect of Temperature on Power Output from Different Commercially available Photovoltaic Modules," *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 01/01 2015.
- [43] E. GEDİK, "Experimental Investigation of Module Temperature Effect on Photovoltaic Panels Efficiency," *Polytechnic*, vol. 4, pp. 569-576, 2016, doi: 10.2339/2016.19.4 569-576.
- [44] E. S. Boysori Yuldoshov, Jasur Khaliyarov, Sardor Bobomuratov, Sirojiddin Toshpulatov, Fotima Kholmurzaeva, "Effect of Temperature on Electrical Parameters of Photovoltaic Module," in *the 11th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAIIIT)*, 1Termez State University, Barkamol avlod Str. 43, Termez, Uzbekistan
2Tashkent State Technical University, Universitet Str. 2, Tashkent, Uzbekistan, 2023.
- [45] D. Pramanick and J. Kumar, "Performance and degradation assessment of two different solar PV cell technologies in the remote region of eastern India," *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 7, p. 100432, 2024/03/01/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100432>.
- [46] M. A. Akrouch, K. Chahine, J. Faraj, F. Hachem, C. Castelain, and M. Khaled, "Advancements in cooling techniques for enhanced efficiency of solar photovoltaic panels: A detailed comprehensive review and innovative classification," *Energy and Built Environment*, 2023/11/04/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.11.002>.
- [47] T. Ma, H. Yang, Y. Zhang, L. Lu, and X. Wang, "Using phase change materials in photovoltaic systems for thermal regulation and electrical efficiency improvement: A review and outlook," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 43, pp. 1273-1284, 2015/03/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.003>.
- [48] J. S. Kosny, N.; Fallahi, A, "Cost Analysis of Simple Phase Change Material-Enhanced Building Envelopes in Southern U.S. Climates," *Office of Energy Efficiency and Renewable Energy: Denver, CO, USA, 2013Kosny, J.; Shukla, N.; Fallahi*, vol. 12, p. 4353, 2019, doi: <https://doi.org/10.2172/1067934>.
- [49] S. K. Marudaipillai, B. Karuppudayar Ramaraj, R. K. Kottala, and M. Lakshmanan, "Experimental study on thermal management and performance improvement of solar PV panel cooling using form stable phase change material," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 45, no. 1, pp. 160-177, 2023/04/11 2023, doi: 10.1080/15567036.2020.1806409.
- [50] D. Govindasamy and A. Kumar, "Experimental analysis of solar panel efficiency improvement with composite phase change materials," *Renewable Energy*, vol. 212, pp. 175-184, 2023/08/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.05.028>.
- [51] Z. Li, T. Ma, J. Zhao, A. Song, and Y. Cheng, "Experimental study and performance analysis on solar photovoltaic panel integrated with phase change material," *Energy*, vol. 178, pp. 471-486, 2019/07/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.166>.
- [52] A. Al Miaari and H. M. Ali, "Technical method in passive cooling for photovoltaic panels using phase change material," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 49, p. 103283, 2023/09/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103283>.

- [53] A. Hussien, A. Eltayesh, and H. M. El-Batsh, "Experimental and numerical investigation for PV cooling by forced convection," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 64, pp. 427-440, 2023/02/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.09.006>.
- [54] R. Mazón-Hernández, J. R. García-Cascales, F. Vera-García, A. S. Káiser, and B. Zamora, "Improving the Electrical Parameters of a Photovoltaic Panel by Means of an Induced or Forced Air Stream," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2013, p. 830968, 2013/03/30 2013, doi: 10.1155/2013/830968.
- [55] M. King *et al.*, "Mathematical Modelling of a System for Solar PV Efficiency Improvement Using Compressed Air for Panel Cleaning and Cooling," *Energies*, vol. 14, p. 4072, 07/06 2021, doi: 10.3390/en14144072.
- [56] D. Nebbali, R. Nebbali, and A. Ouibrahim, "Improving photovoltaic panel performance via an autonomous air cooling system – Experimental and numerical simulations," *International Journal of Ambient Energy*, vol. 41, pp. 1-72, 08/29 2018, doi: 10.1080/01430750.2018.1517670.
- [57] C. G. Popovici, S. V. Hudişteanu, T. D. Mateescu, and N.-C. Cherecheş, "Efficiency Improvement of Photovoltaic Panels by Using Air Cooled Heat Sinks," *Energy Procedia*, vol. 85, pp. 425-432, 2016/01/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.223>.
- [58] N. A. S. Elminshawy, A. M. I. Mohamed, K. Morad, Y. Elhenawy, and A. A. Alrobaian, "Performance of PV panel coupled with geothermal air cooling system subjected to hot climatic," *Applied Thermal Engineering*, vol. 148, pp. 1-9, 2019/02/05/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.11.027>.
- [59] A. Mahdavi, M. Farhadi, M. Gorji-Bandpy, and A. Mahmoudi, "A review of passive cooling of photovoltaic devices," *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 11, p. 100579, 2022/12/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100579>.
- [60] M. Nateqi, M. Rajabi Zargarabadi, and R. Rafee, "Experimental investigations of spray flow rate and angle in enhancing the performance of PV panels by steady and pulsating water spray system," *SN Applied Sciences*, vol. 3, 01/01 2021, doi: 10.1007/s42452-021-04169-4.
- [61] H. A. Hasan *et al.*, "Experimental Evaluation of the Thermoelectrical Performance of Photovoltaic-Thermal Systems with a Water-Cooled Heat Sink," *Sustainability*, vol. 14, no. 16, p. 10231, 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/16/10231>.
- [62] M. Alktrane and P. Bencs, "Effect of Evaporative Cooling on Photovoltaic Module Performance," *Process Integration and Optimization for Sustainability*, vol. 6, no. 4, pp. 921-930, 2022/12/01 2022, doi: 10.1007/s41660-022-00268-w.
- [63] S. A. S. Iqbal, A. U. Mazhar, H. Anjum, and A. Diyyan., "Effect of Water Cooling on the Energy Conversion Efficiency of PV Cell," *ASRJETS-Journal*, vol. vol. 20, no. 1, no. 122–128, Jun. 2016.
- [64] S. Nižetić, D. Čoko, A. Yadav, and F. Grubišić-Čabo, "Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response," *Energy Conversion and Management*, vol. 108, pp. 287-296, 2016/01/15/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.10.079>.
- [65] A. Bai *et al.*, "Technical and economic effects of cooling of monocrystalline photovoltaic modules under Hungarian conditions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 1086-1099, 2016/07/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.003>.
- [66] L. Chanphavong, V. Chanthaboune, S. Phommachanh, X. Vilaida, and P. Bounyanite, "Enhancement of performance and exergy analysis of a water-cooling solar photovoltaic panel," *Total Environment Research Themes*, vol. 3-4, p. 100018, 2022/12/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.totert.2022.100018>.
- [67] A. Hadipour, M. Rajabi Zargarabadi, and S. Rashidi, "An efficient pulsed- spray water cooling system for photovoltaic panels: Experimental study and cost analysis," *Renewable Energy*, vol. 164, pp. 867-875, 2021/02/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.021>.
- [68] Q. Zhang *et al.*, "Modeling of a PV system by a back-mounted spray cooling section for performance improvement," *Applied Energy*, vol. 332, p. 120532, 2023/02/15/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120532>.
- [69] I. H. Gatot Setyono, Siswadi, Muharom, Slamet Riyadi, Alfi Nugroho, Navik Kholili, Wahyu Nugroho, Mochammad Muchid and Dwi Khusna, "Enhancing the Efficiency of 100 WP Solar Panels with the Active Method of Circulating Cooling Water System," in *Proceedings of the*

- 4th International Conference on Advanced Engineering and Technology - Volume 1: ICATECH, 2023, no. 978-989-758-663-7, p. 157, doi: 10.5220/0012112600003680.
- [70] S. A. Zubeer and O. M. Ali, "Experimental and numerical study of low concentration and water-cooling effect on PV module performance," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 34, p. 102007, 2022/06/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102007>.
- [71] A. Ahmed, H. Suad, and S. Hassan Danook, *Efficiency improvement for solar cells panels by cooling*. 2019.
- [72] C. Yang, J. Lin, F. Miksik, T. Miyazaki, and K. Thu, "Dew-point evaporative cooling of PV panels for improved performance," *Applied Thermal Engineering*, vol. 236, p. 121695, 2024/01/05/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121695>.
- [73] T. Chea, T. Deethayat, T. Kiatsiriroat, and A. Asanakham, "Experiment and model of a photovoltaic module with evaporative cooling," *Results in Engineering*, vol. 19, p. 101290, 2023/09/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101290>.
- [74] M. Alktrane and B. Péter, "Energy and exergy analysis for photovoltaic modules cooled by evaporative cooling techniques," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 122-132, 2023/12/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.11.177>.
- [75] H. Bahaidarah, A. Subhan, P. Gandhidasan, and S. Rehman, "Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions," *Energy*, vol. 59, pp. 445-453, 2013/09/15/ 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.07.050>.
- [76] Y. Zhang, C. Shen, C. Zhang, J. Pu, Q. Yang, and C. Sun, "A novel porous channel to optimize the cooling performance of PV modules," *Energy and Built Environment*, vol. 3, no. 2, pp. 210-225, 2022/04/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.01.003>.
- [77] a. https://kw.maptons.com/239774#google_vignette (accessed 01 may 2024).
- [78] K. M. B. c. Eddine, "ETUDE DE LA POLLUTION DE LA NAPPE PHREATIQUE DE LA VILLE DE OUARGLA ANALYSE PAR CARTOGRAPHIE," Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2023.
- [79] b. <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/algeria> (accessed 05 may 2024).
- [80] c. <https://globalsolaratlas.info/download/algeria> (accessed 01 may 2024).
- [81] M. Nateqi, M. Rajabi Zargarabadi, and R. Rafee, "Experimental investigations of spray flow rate and angle in enhancing the performance of PV panels by steady and pulsating water spray system," *SN Applied Sciences*, vol. 3, no. 1, p. 130, 2021/01/13 2021, doi: 10.1007/s42452-021-04169-4.
- [82] F. A. A. Alwesabi *et al.*, "Fundamental study on the impacts of water-cooling and accumulated dust on photovoltaic module performance," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, vol. 13, no. 4, p. 2421, 2022.
- [83] O. T. Laseinde and M. D. Ramere, "Efficiency Improvement in polycrystalline solar panel using thermal control water spraying cooling," *Procedia Computer Science*, vol. 180, pp. 239-248, 2021/01/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.161>.

Résumé :

L'Algérie s'efforce de réaliser la transition énergétique vers les énergies renouvelables en créant plusieurs centrales photovoltaïques dans les régions désertiques. Cette étude vise à augmenter l'efficacité des unités photovoltaïques lors des périodes de forte chaleur, en développant un système de refroidissement intelligent basé sur la pulvérisation d'eau et respectueux de l'environnement. Le présent travail indique que le refroidissement intelligent ne réduit pas seulement la chaleur entre les faces avant et arrière des panneaux photovoltaïques, mais contribue également à réduire la consommation d'eau nécessaire au refroidissement par rapport au refroidissement traditionnel qui consomme une grande quantité d'eau. Les résultats ont montré que l'utilisation de la méthode de refroidissement traditionnelle augmente la production d'énergie électrique d'environ 15.6 % par rapport aux unités non refroidies, tandis que la production d'énergie utilisant la méthode de refroidissement intelligent augmente d'environ 16.25 %. De plus, la consommation d'eau a été réduite de 84 % par rapport à la méthode de refroidissement traditionnelle.

Mots clés : Panneau photovoltaïque, Refroidissement intelligent, Efficacité, Amélioration des performances.

Abstract

Algeria is striving to achieve the energy transition towards renewable energies by establishing several photovoltaic stations in desert areas. This study aims to increase the efficiency of photovoltaic units during periods of high temperatures by developing an eco-friendly smart cooling system based on water spraying. The experiment indicates that smart cooling not only reduces the heat between the front and back surfaces of the solar panels but also helps in reducing the water consumption required for cooling compared to traditional cooling which consumes a large amount of water. The results showed that using the traditional cooling method increases the electrical energy production by approximately 15.6 % compared to non-cooled units, while the energy production using the smart cooling method increases by 16.25 %. Additionally, water consumption was reduced by 84 % compared to the traditional cooling method.

Keywords: Photovoltaic Panel, Smart cooling, Efficiency, Performance improvement.

تسعى الجزائر جاهدة لتحقيق التحول الطاقوي نحو الطاقات المتجددة من خلال إنشاء عدة محطات كهروضوئية في المناطق الصحراوية. تهدف هذه الدراسة إلى زيادة كفاءة الوحدات الكهروضوئية في الأوقات التي ترتفع فيها درجات الحرارة، وذلك عبر تطوير نظام تبريد ذكي قائم على الرش بالماء وصديق للبيئة. تشير التجربة إلى أن التبريد الذكي لا يقلل فقط من الحرارة بين الأسطح الأمامية والخلفية للألواح الشمسية، بل يساهم أيضاً في تقليل استهلاك المياه اللازمة للتبريد مقارنة بالتبريد التقليدي الذي يستهلك كمية كبيرة من المياه. أظهرت النتائج أن استخدام طريقة التبريد التقليدية يزيد من إنتاج الطاقة الكهربائية بحوالي 15.6% مقارنة بالوحدات غير المبردة، بينما يزيد إنتاج الطاقة باستخدام طريقة التبريد الذكي بحوالي 16.25%. كما تم تقليل استهلاك المياه بنسبة 84% مقارنة بطريقة التبريد التقليدية.

الكلمات المفتاحية: الألواح الكهروضوئية، التبريد الذكي، الكفاءة، تحسين الأداء.