

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des hydrocarbures et énergies renouvelables et des

Sciences de la terre et de l'univers

Département des énergies renouvelables



Mémoire

MASTER ACADÉMIQUE

Domaine : Sciences et technique

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energies renouvelables en mécanique

Présenté par : Benzaza Abdellatif

Benmansour Imad Eddine

Thème

L'effet de la poussière sur la performance du système solaire photovoltaïque dans les conditions climatiques de la ville de Ouargla

Soutenu publiquement

le : 21/06/2023

Président	Ammari Chouaib	(U.K.M.Ouargla)
Encadreur	Chaich Zineb	(U.K.M.Ouargla)
Examineur	Abada Zhour	(U.K.M.Ouargla)
Assistant encadreur	Djamel Bellatrache	(U.K.M.Ouargla)

Année Université : 2022/2023

REMERCIEMENT :

Au nom d'ALLAH le tout miséricordieux, le très miséricordieux. Louange à Lui pour m'avoir permis par Sa grâce de vivre ce jour, et de finaliser mon cursus pas ce mémoire. Je Lui suis reconnaissante et Le prie de m'accorder de ces biens.

Je remercie également mes parents pour la confiance qu'ils ont su placé en moi, pour les bonnes valeurs qu'ils ont pu m'inculquer, soyez-en fiers. Je ne saurais vous récompenser pour tout ce que vous avez fait pour moi depuis toujours, seulement considérez ce mémoire comme gage de ma gratitude et mon humilité face à votre présence, vos encouragements, vos bénédictions et tous vos sacrifices.

Qu'Allah vous rétribue de la meilleure manière.

Je remercie du fond du cœur mon encadreur , Mme *chaiche Zaineb* , et assistant dr.Djamel Bellatrache , Jury général dr. Ammari Chouaib , dr. Abada Zhour son encouragement et surtout sa patience durant la réalisation de ce travail.

Mes remerciements vont à tous ceux qui de près ou de loin m'ont moralement, physiquement, et financièrement soutenue, qu'Allah vous récompense.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents. Aucun hommage ne pourrait
être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler.

Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet,

Et bien sur A mes frères, que j'aime.

A toute ma famille, et mes amis.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin

Pour que ce projet soit possible,

Je vous dis merci.

Benzaza Abdellatif

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents. Aucun hommage ne pourrait
être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler.

Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet,

Et bien sur A mes frères, que j'aime.

A toute ma famille, et mes amis.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin

Pour que ce projet soit possible,

Je vous dis merci.

Benmansour Imad Eddine

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	5
Localisation géographique	
Chapitre I : Statistiques de l'utilisation des énergies renouvelables dans le monde	
INTRODUCTION.....	
I.2 Statistique sur les énergies globales dans le monde.....	5
I.2.1 Production d'énergie primaire dans le monde.....	5
I.2.2 Demande énergétique mondiale.....	5
I.1.2.1 Consommation d'énergie primaire par forme d'énergie.....	4
I.1.2.2 Consommation d'énergie finale.....	4
I.2 Production d'énergie primaire en Algérie.....	8
I.3 Consommation d'énergie finale.....	10
I.4 Les centrales PV en Algérie.....	12
Conclusion.....	
Chapitre II : Méthodes et techniques d'amélioration de la performance des systèmes photovoltaïques	
INTRODUCTION.....	
II.1 Effet de la poussière sur la transmission de la lumière de surface du module PV.....	17
II.2 Méthodes de nettoyage.....	18
II.2.1 Nettoyage manuel	18
II.2.2 Le nettoyage par aspiration sous vide.....	18
II.2.3 Nettoyage automatique	19
II.3 Les techniques Refroidissement.....	23
II.3.1 Refroidissement actif	24
II.3.2 Le Refroidissement passif.....	28
II.3.3 Refroidissement par MCP.....	30
Conclusion.....	
Chapitre III : Etude expérimentale et discussion des résultats	
INTRODUCTION.....	

III.1 Etude Expérimentale	34
III.1.1 Présentation du terrain d'expérimentation :.....	14
III.1.2 Matériels et Méthodes :.....	34
III.1.2.1 Matériels.....	28
III.1.2.2 Méthode.....	32
III.2 Résultats et discussion.....	39
III.2.1 Résultats des séries de test.....	40
Conclusion.....	
CONCLUSION GENERALE.....	50
Reference	51

Liste des figures

Figure I.1 : consommation mondiale d'énergie en 2021.....	6
Figure I.2 : Répartition de la consommation d'énergie finale pour 2021.	7
Figure I.3 : Consommation finale d'énergie mondiale par secteur en 2021.	8
Figure I.4 : Structure de la production commerciale d'énergie primaire.	10
Figure I.5 : Structure de la consommation finale d'énergie par produit.	11
Figure I.6 : Structure de la consommation finale d'énergie par secteur d'activité.	12
Figure II.1 : Nettoyage manuel des panneaux solaires	18
Figure II.2 : Le nettoyage à l'aide d'une aspiration sous vide.	19
Figure II.3 : Nettoyage automatique	20
Figure II.4 : Configuration du banc d'essai et du robot.	20
Figure II.5 : Nettoyage intelligent des panneaux solaires.	21
Figure II.6 : L'expérience de nettoyage du robot de nettoyage sans eau.....	21
Figure II.7 : Les différentes techniques de refroidissement.	23
Figure II.8 : Refroidissement forcé par air.	25
Figure II.9 : Schéma de la section transversale des modèles expérimentaux.	26
Figure II.10 : La configuration expérimentale de l'expérience	27
Figure II.11 : Sections transversales des modules.....	28
Figure II.12 : Panneau immergé dans l'eau	29
Figure II.13 : Le schéma de Shittu et tout. (2019).	30
Figure II.14 : Schéma du dispositif de refroidissement des ventilateurs d'air.....	31
Figure III.1 :Angle d'inclinaison de module photovoltaïque.....	15
Figure III.2 : Modules photovoltaïques monocristallins.....	35
Figure III.3 :Résistance d'une capacité 10 Ω	36
Figure III.4 :Multimètres numériques de type GDM-356.....	36
Figure III.5 :Thermomètres de type(TASI).....	37
Figure III.6 : Compteur de rayonnement solaire de type (Hand pyromètre 4890.20).	37
Figure III.7 : Variation de puissance des 2 panneaux en fonction de temps.....	40
Figure III.8 : Variation d'irradiation solaire et température ambiante en fonction de temps.	41
Figure III.9 : Variation de puissance des 2 panneaux en fonction de temps test 2.	42
Figure III.10 : Variation des températures arrière A, B, ambiante et Irradiation solaire en fonction de temps test 2.	42
Figure III.11 : Variation de puissance des 2 panneaux en fonction de temps test 3.	43
Figure III.12 : Variation des températures arrières A et B, ambiante et l'irradiation solaire en fonction de temps test 3.	44
Figure III.13 : Variation de puissance des 2 panneaux A et B en fonction de temps test 4.....	45
Figure III.14 : Variation des températures arrière A, B, ambiante et Irradiation solaire en fonction de temps test 4.	45
Figure III.15 : Variation de puissance des 2 panneaux A et B en fonction de temps test 5.....	46
Figure III.16 :Variation des valeurs températures arrière A, B, ambiante et Irradiation solaire en fonction de temps test 5.	46
Figure III.17 : Variation de puissance des 2 panneaux A et B en fonction de temps test 6.....	47

Figure III.18 : Variation des températures arrière A, B, ambiante et Irradiation solaire en fonction de temps test 6.	48
Figure III.19 : Pourcentage de réduction de puissance le long de durée d'étude.	49

Liste des tableaux

Table I.1 : Production commerciale d'énergie primaire <i>k Tep</i>	9
Table I.2 : Les stations photovoltaïques les plus importantes d'Algérie	13
Table III.1 : Caractéristiques du module ZGE _FM72_390W.....	35
Table III.2 : Caractéristiques de compteur de rayonnement solaire	37

Nomenclature

Symboles	Significations
E	Million de tonnes équivalent pétrole
ktep	Kilo tonne équivalent pétrole
kbd/jour	Des milliers de barils par jour
GWh	Giga Wattheure = 1000 MWh
GPL	GPL pour les véhicules de classe C.
W	Méga watts
MW	Coût de l'électricité en mégawatts
kg/h	Kilogrammes par heure
P	Puissance
Icc	Courant de court-circuit
V	Tension
Tamb	Température Ambiante
Rs	Résistance série
η	Rendement PV
L	Longueur
Is	Eclairement reçu par une surface horizontale
G	Irradiation
T	Température de la cellule

Liste des abréviations

CEI	Communauté des États indépendants
HRM	Human Resource Management
IEA	International Energy Agency
EnR	La capacité d'énergies renouvelable
l'OPEP+	Organisation des pays exportateurs de pétrole et ses partenaires
PV	Photovoltaïque
ERM	La gestion du risque d'entreprise
TMS	Thin Metal Sheet = Feuille de métal mince
BTP	Bâtiment et Travaux Publics
CEREFÉ	Une organisation ou un organisme qui a publié un rapport intitulé
PV/T	photocellule sur température

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

La production d'énergie est un défi de grande importance pour prochain année. Les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ainsi que les pays en voie de développement ne cessent que de se multiplier.

De nos jours, les efforts sont principalement dirigés vers l'utilisation intensive des sources d'énergie renouvelables, étant une source d'énergie gratuite en plus de diminuer le réchauffement climatique résultant de l'augmentation de concentration des gaz à effet de serre due à l'utilisation d'énergie conventionnelle. La vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables plus précisément le solaire photovoltaïque vue que cette énergie sera vitale pour notre pays l'Algérie ou le taux d'ensoleillement est très élevé (une moyenne de 3000 heures d'ensoleillement par an sur 80 % de la superficie globale du pays) et son utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. même si la stratégie est considérée comme réaliste .

Les investisseurs se plaignent d'un manque de visibilité dans cette filière et hésitent à investir dans le PV. Il est donc nécessaire pour son développement de faire des efforts pour étudier et donner plus de visibilité dans l'intention d'amélioration et monitoring ces types de systèmes afin d'aboutir une plus grande fiabilité.

Il est essentiel que les installations photovoltaïques fonctionnent à une capacité de conception maximale pour assurer une alimentation électrique fiable tout au long de la vie de l'installation. Les pertes de performance attribuables au dépôt de poussière sont un problème qui n'a pas été traité de manière exhaustive, car il est complexe à quantifier avec précision, surtout dans la région du sud algérien pour cela l'objectif principal de ce travail consacre à l'étude expérimentale de l'effet de poussière aux performances des panneaux photovoltaïques installés dans la région d'Ouargla.

Le travail est divisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre présente la situation énergétique actuelle à l'échelle mondiale et nationale, en termes de ressources de production et de consommation.

INTRODUCTION GENERALE

- Le deuxième chapitre consiste une étude bibliographique des méthodes d'amélioration de la performance des systèmes PV englobant à la fois les études antérieures des techniques de nettoyage et de refroidissement.
- Le troisième chapitre est consacré à la procédure expérimentale et aux différents résultats d'évaluation d'impact de poussière sur la puissance et la température des panneaux solaires photovoltaïques.

Le présent travail se termine par une conclusion générale qui résume les résultats obtenus et expose quelques perspectives de recherches envisagées.

Nous avons mené une étude approfondie dans le domaine que nous avons mentionné, à savoir sur l'effet de la poussière et diverses conditions de l'environnement désertique et leur impact sur les performances du photovoltaïque, et nous aborderons la recherche de solutions de nettoyage, de refroidissement, de recherche défauts, etc.

Ce travail se termine par une conclusion générale qui synthétise les résultats obtenus et expose certaines des perspectives de recherche envisagées.

Localisation géographique :

Ouargla est une ville du Nord-Est du Sahara algérien et le chef-lieu de la wilaya d'Ouargla.

- L'état d'Ouargla est la porte d'entrée du désert oriental du sud algérien. Elle a une superficie de 211980 kilomètres carrés. Ses coordonnées géographiques sont
- les coordonnées géographiques exactes de Ouargla, latitude et longitude — 32.1677808, 4.976654 [40].

Chapitre I :
*Statistiques de l'utilisation des énergies
renouvelables dans le monde*

I.1 INTRODUCTION

L'énergie est le moteur de l'activité humaine, c'est un élément responsable de toutes les activités quotidiennes. Elle joue un rôle important dans le développement des secteurs technologiques, industriels et économiques. La consommation d'énergie fait partie intégrante du processus de croissance de toute économie, qu'il s'agisse d'un pays industrialisé ou d'un pays en voie de développement. Le récent accroissement rapide de la demande d'énergie s'explique en partie ou totalement par la progression continue de l'industrialisation, du revenu par habitant et du niveau de vie, ainsi que par l'accroissement du nombre d'habitants.

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'état actuel des statistiques énergétiques dans le monde et en Algérie en particulier, en termes de ressource, de production et de consommation.

I.2 Statistique sur les énergies globales dans le monde

I.2.1 Production d'énergie primaire dans le monde

la croissance totale de l'énergie :

Charbon : Après 2019, après la pandémie de Covid-19, le taux de croissance du charbon a diminué de 4 %, et après 2020, il revient avec une augmentation de 5 %. [1]

Pétrole : après 2019, après la pandémie de COVID-19, son taux de croissance a diminué de 8,2 %, et après 2020, il a augmenté de 4,4 %. [1]

Gaz : Son taux de croissance a diminué de 1,8% après la pandémie de Covid-19, et on voit que le gaz est considéré comme une énergie nécessaire, même si son déclin n'est pas comme les autres énergies, et après 2020 il augmentera de 5,5%. [1]

Électricité : Elle a également diminué de 0,7 % entre 2019 et 2020 et sa croissance augmentera après 2020 de 5,4 %. [1]

Avec la fin de la pandémie de COVID-19, la production d'énergie en 2021 a connu une augmentation significative.

I.2.2 Demande énergétique mondiale

Sous l'effet de l'accroissement de la population mondiale, des efforts des pays en voie de développement pour combler leur décalage économique et du maintien d'une légère croissance de la demande énergétique dans les pays développés, la demande d'énergie primaire poursuit sa

croissance. La différence entre énergie primaire et énergie finale vient d'une part des consommations d'énergie des industries du système de production, transport et distribution de l'énergie, des pertes dans le transport et surtout des pertes d'énergie liées à la transformation de la chaleur en électricité dans les centrales thermiques.

I.2.2.a Consommation d'énergie primaire par forme d'énergie

La consommation mondiale d'énergie a rebondi avec une croissance de 5 % en 2021, après une baisse de 4,5 % en 2020, dans un contexte de pandémie mondiale. Ce rebond est supérieur de 3 points à la moyenne de 2%/an sur la période 2000-2019. En valeur, la consommation énergétique mondiale 2021 se situe au-dessus des niveaux de 2019.

La consommation d'énergie a augmenté dans la plupart des pays, +5,2% en Chine (après +2,2% en 2020), +4,7% en Inde (après -5,6% en 2020), +4,7% aux Etats-Unis (après -8,6% baisse en 2020), +9% en Russie (après -4% en 2020), +4,5% dans l'UE (après -6,8% en 2020).

La consommation d'énergie a également augmenté dans la plupart des régions : +9 % dans la CEI (Communauté des États indépendants) , +5 % en Amérique latine, +7 % en Afrique hors Moyen-Orient (-0,4 %) et Pacifique (-2,5 %). [02]

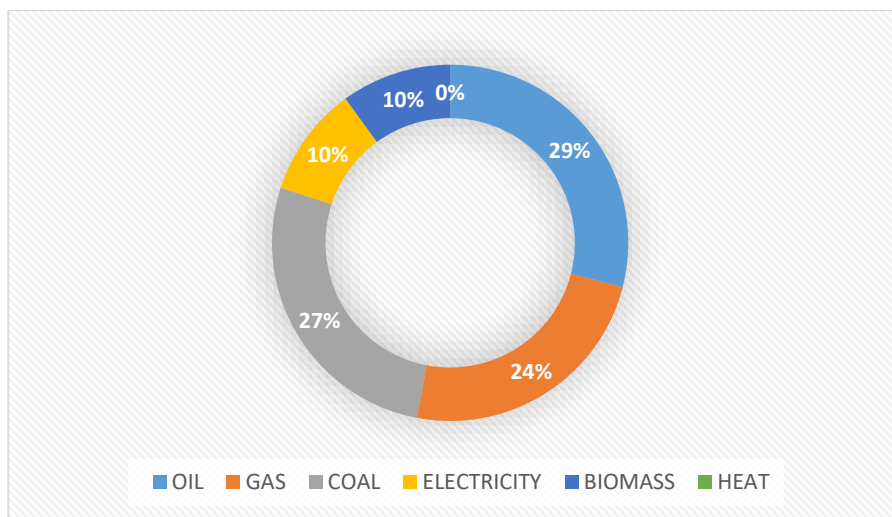


Figure I.1 : consommation mondiale d'énergie en 2021.[02]

I.2.2.b Consommation d'énergie finale

L'énergie ne peut donc être utilisée directement et sa consommation est nécessairement liée à celle d'autres bien transformant une consommation d'énergie finale.

a. Par produit énergétique :

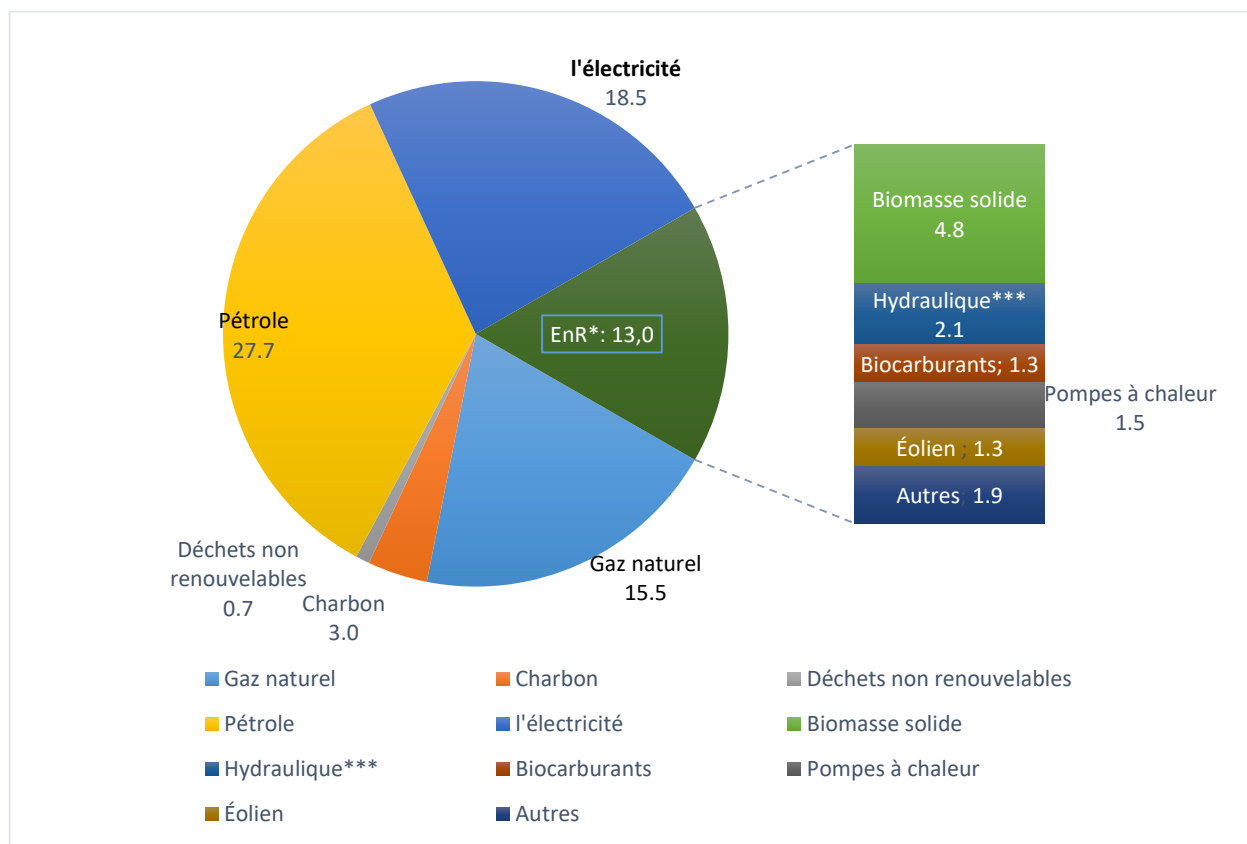


Figure I.2 : Répartition de la consommation d'énergie finale pour 2021. [03]

Le pétrole reste la principale source d'énergie (27,7% en 2021) malgré sa diminution depuis la crise sanitaire mondiale et la baisse des prix, suivi par le gaz naturel (15,5%) dont la part n'a pas beaucoup évolué et a augmenté après la crise sanitaire mondiale.

La biomasse (biocarburants, déchets animaux et végétaux), largement utilisée dans des technologies traditionnelles à rendement très faible, occupe une part relativement importante (2021).

De la figure I.2 on remarque que la part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie est de 18,5% et que la part des énergies renouvelables (géothermie, éolien, solaire) est de 7%.

b. Par secteur d'activité

Les trois grands secteurs consommateurs sont l'industrie, les transports et l'ensemble résidentiel et tertiaire.

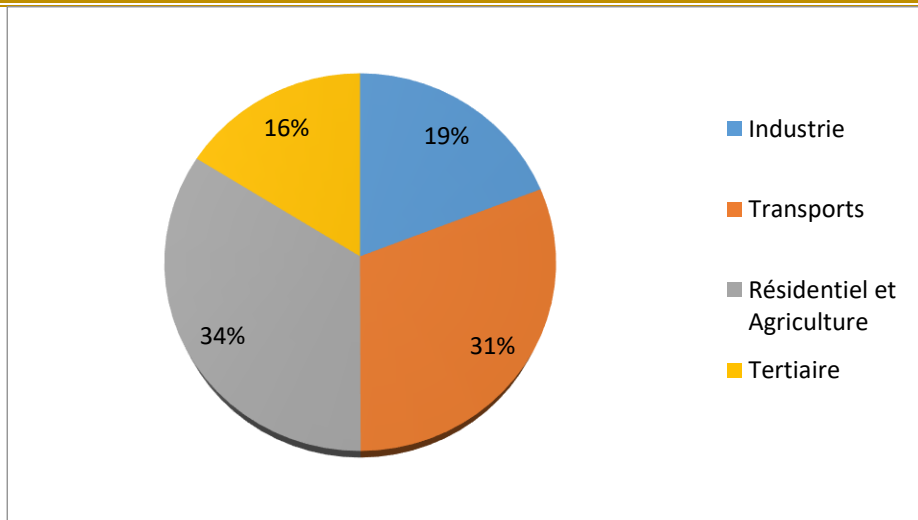


Figure I.3 : Consommation finale d'énergie mondiale par secteur en 2021. [03]

On remarque que la consommation énergétique de l'industrie représente 19% du total, la consommation des transports est 31%. La consommation la plus importante est celle de l'ensemble résidentiel, l'activité tertiaire et l'agriculture 31% en 2021. [03]

I.3 Production d'énergie primaire en Algérie

La production commerciale d'énergie primaire a atteint 164,4 M Tep à fin 2021, contre 144,4 M Tep durant la même période de l'année 2020, reflétant une hausse importante (13,9%), comme indiqué dans tableau I.1. [04]

L'accroissement des volumes de production est dû essentiellement à la forte hausse de la production du gaz naturel (+24%), grâce à la bonne performance des gisements, la mise en service du boosting HRM et l'apport des nouveaux gisements ; le tout combiné à une hausse de la demande européenne sur le gaz algérien. [04]

Tableau I.1 : Production commerciale d'énergie primaire $k T_{ep}$ [04]

Produit	2020 K Tep	2021 K Tep	Evolution	
			Quantité K Tep	(%)
Gaz naturel	79 944	99 260	19 316	24,2
Pétrole brut	46 952	47 084	133	0,3
GPL aux champs	8 686	9 222	536	6,2
Electricité primaire	167	160	-7	-4,1
Condensat	8 611	8 712	101	1,2
Combustibles solides	10	2	-8	-75,9
TOTAL	144 370	164 442	20072	13,9

La production de pétrole brut a également augmenté (1%) à mesure que le quota alloué à l'Algérie dans le cadre de l'accord des pays de l'OPEP+ s'est élevé, passant d'une moyenne de 900 kb/j en 2020 à près de 911 kb/j en 2021. Concernant la production d'électricité primaire (ENR), elle a atteint 662 GWh, en diminution de 4,1% par rapport à 2020, suite à la dégradation de la production : [04]

- Des centrales hydrauliques (-81%), passant de 49,6 GWh en 2020 à 9 GWh en 2021, due à une faible pluviométrie constatée en 2021.
- Des centrales PV (-3,5%), passant de 665 GWh en 2020 à 642 GWh en 2021.

La structure de la production d'énergie primaire commerciale reste dominée par le gaz naturel à hauteur de 60%, suivie par le pétrole (29%), comme illustre la figure I.5.

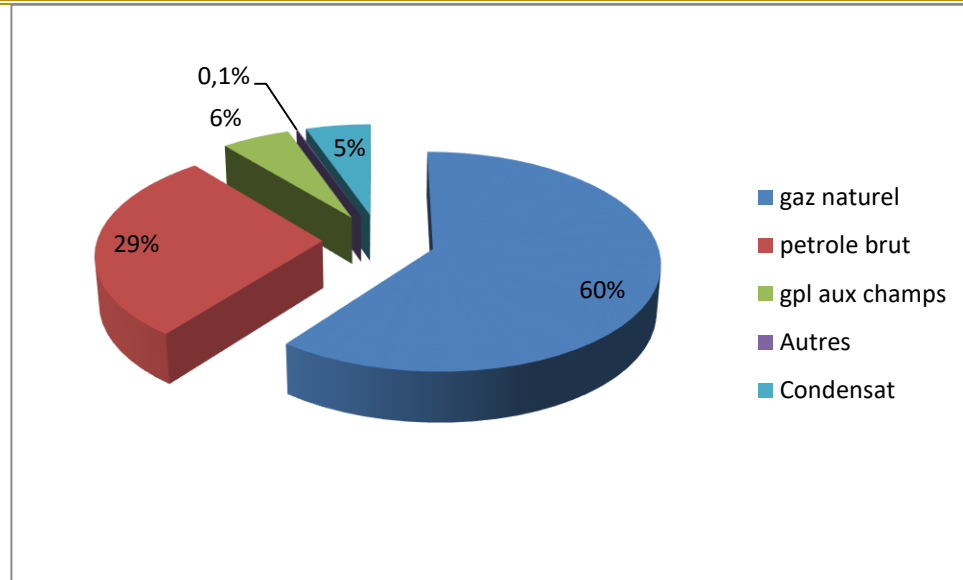


Figure I.4 : Structure de la production commerciale d'énergie primaire. [04]

Il est à souligner que malgré son développement constaté ces dernières années, la production ENR (notamment photovoltaïque et éolienne) occupe encore une place mineure dans la production d'énergie primaire commerciale. [04]

I.4 Consommation d'énergie finale

La consommation d'énergie finale s'établit à 50,2 M Tep en 2021. Après avoir baissé de -8,6% en 2020, elle a augmenté de 8,0% en 2021, pour retrouver son niveau de 2019. Elle a été tirée par la hausse de la consommation de pratiquement l'ensemble des produits énergétiques, essentiellement l'électricité et le gaz naturel. [04]

a) Par produit

L'évolution de la consommation finale, par produit, est détaillée ci-après :

- Hausse appréciable de la consommation finale d'électricité (12,7%), passant de 13,6 M Tep en 2020 à 15,3 M Tep en 2021, en raison de la croissance (4,7%) du nombre des clients de Sonelgaz à près de 11,0 millions d'abonnés en 2021, et par conséquent une hausse des besoins en électricité. [04]
- Hausse de la consommation finale du gaz naturel (6,5%) à 17,9 M Tep en 2021, tirée par l'accroissement de la consommation des clients de Sonelgaz, dont ceux du secteur des ménages

(5,1%) et clients industriels (10,9%). Le nombre d'abonnés de Sonelgaz est passé à 6,9 Millions d'abonnés, en hausse de 6,8% par rapport à 2020. [04]

- Hausse (4,2%) de la demande en produits pétroliers sur le marché national pour s'établir à 13,7 M Tep en 2021 contre 13,1 M Tep en 2020. La hausse a concerné plus particulièrement, les carburants terre (essence, gasoil et GPL/C), à la faveur de la levée, par les pouvoirs publics, des mesures de suspension du transport public et ferroviaire (voyageurs) liées à l'épidémie Covid19. [04]

S'agissant de la répartition de la consommation finale par produit, et comme illustré dans la figure I.6, le gaz naturel représente la part la plus importante (36%), suivi par l'électricité (31%) et enfin les produits pétroliers (27%). [04]

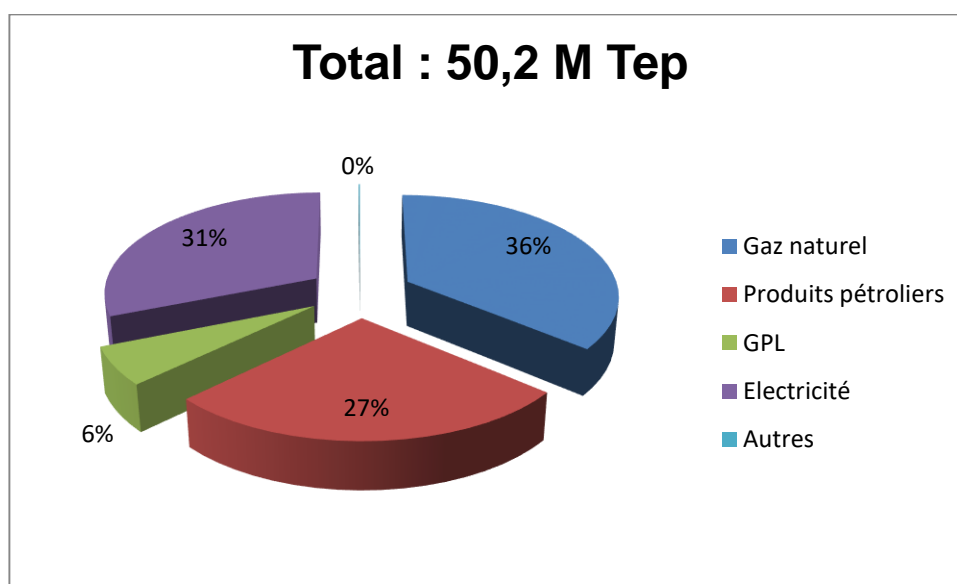


Figure I.5 : Structure de la consommation finale d'énergie par produit. [04]

b) Par Secteur

Par secteur d'activité, la consommation finale de 2021 a été caractérisée par les évolutions suivantes : [04]

- Hausse demande du secteur des « Ménages et autres » (6,2%) passant de 22,1 M Tep en 2020 à 23,4 M Tep en 2021, tirée par le sous-secteur résidentiel (4,4%) et le sous-secteur Tertiaires et autres (12,3%).
- Reprise de (7,6%) de la consommation du secteur des "transports", qui est passée de 13,5 M Tep en 2020 à 14,5 M Tep en 2021, tirée par celle des carburants terre et aérien ((gasoil 5,1%), (GPL/C

35,8%), essences (1,8%), (jet 15,1%)), en corrélation avec la reprise du transport routier et l'ouverture graduelle de l'espace aérien.

- Hausse appréciable (12%) de la consommation du secteur « Industries et BTP » à 12,2 M Tep en 2021, en rapport avec la reprise de l'activité économique, tirée notamment par les sous-secteurs ISMME, industries Agroalimentaires, Chimie et matériaux de construction.

La structure de la consommation finale reste dominée par le secteur des « Ménages & autres » (47%), suivi par le secteur du transport (29%) et enfin le secteur de « l'industrie et BTP » avec une part de 24%, comme illustré dans la figure.I.7. [04]

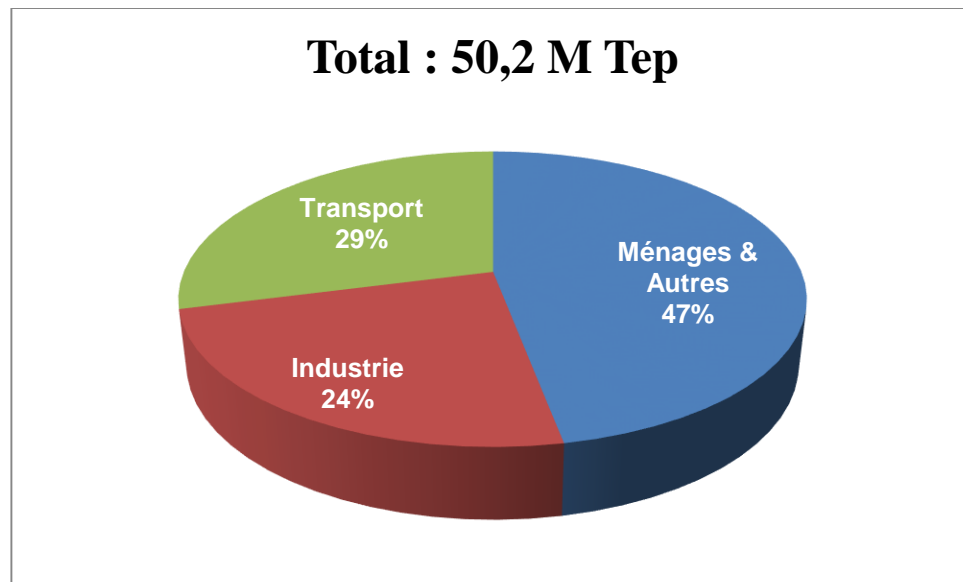


Figure I.6 : Structure de la consommation finale d'énergie par secteur d'activité. [04]

I.5 Les centrales PV en Algérie

La capacité d'énergie installée à la fin décembre 2021 en considérant l'ensemble des projets raccordés et non-raccordés au réseau s'élève à 567,1 MW dont 438,2 MW hors hydroélectricité. On compte ainsi 27,6 MW de nouvelles installations EnR, soit une croissance de près de +7% par rapport à celle cumulée à la fin décembre 2019, précise le CEREFÉ dans son dernier rapport intitulé Bilan des capacités d'énergies renouvelables installées à la fin décembre 2021. [05]

Les installations EnR raccordées au réseau (hors hydroélectricité) sont évaluées à 401,3 MW dont 12 MW solaires photovoltaïque (PV) installées en 2021 pour l'hybridation des centrales thermiques dans le Grand Sud.

"Les installations EnR raccordées au réseau n'ont augmenté que de +3% par rapport à la fin décembre 2019.

Il est à noter que 59 MWc de centrales solaires PV destinées à l'hybridation sont également prévues en 2022.

Quant aux EnR hors réseau, une capacité totale de 36,9 MW a été installée à la fin décembre 2021. Près de 15,6 MW, représentant 42% du total cumulé à la fin décembre 2021, ont été rajoutés entre 2020 et 2021, dont 4,4 MW en 2020 et 11,2MW en 2021.

Cela représente une augmentation importante de +73% par rapport aux capacités installées à la fin décembre 2019. De plus, près de 12 MW solaires PV hors réseau sont prévus en 2022, indique la même source. [05]

Tableau I.2 : Les stations photovoltaïques les plus importantes d'Algérie .[06]

Nom de la station	PROVINCE	capacité en MWc
poste de Djelfa	Djelfa	53
poste de Laghouat	Laghouat	60
poste d'Adrar	Adrar	20
poste de Saida	Saida	30
poste de Souk Ahras	Souk Ahras	15
poste de M'sila	M'sila	20

La centrale solaire d'Aïn El Apel est une centrale électro solaire algérienne située dans la commune d'Aïn El Apel, dans la wilaya de Djelfa. La centrale est située à 10 km de la commune d'Aïn El Apel et à 35 km de la ville de Djelfa. Elle s'étend sur une superficie de 120 hectares et produit plus de 230 mégawatts-heure d'électricité par jour en moyenne, avec une capacité de 53 mégawatts. Elle est composée de plus de 212 000 panneaux solaires répartis en 4 823 matrices, 1 802 boîtes de jonction réparties sur trois niveaux, 106 onduleurs et 53 transformateurs. Elle est connectée au réseau de transport d'électricité à haute tension de 60 kilovolts via une station de relèvement équipée de 3 transformateurs d'une capacité de 20 méga voltampères chacun.

Ouargla : est une ville du Nord-Est du Sahara algérien et le chef-lieu de la wilaya d'Ouargla. L'agglomération compte en 2008, dont pour la seule commune d'Ouargla.

Sa wilaya constitue un pôle économique en réserves de gaz et de pétrole, contenues sur le territoire de Hassi Messaoud. Avec 2 887 km², la commune dispose d'une superficie considérable. Ouargla possède un climat désertique chaud. Elle est la première ville du Sahara à posséder un tramway.

Ouargla est une des villes les plus anciennes du Sahara, elle connaît un essor grâce au commerce transsaharien, puis subit un déclin. Son ksar est l'un des plus grands et les plus actifs du Sud algérien .

l'efficacité des modules PV dépendent de divers facteurs tels que l'environnement, le système de modules PV et l'installation . Les facteurs environnementaux comprennent le rayonnement solaire, la température des cellules, la vitesse du vent, l'accumulation et l'ombrage de la poussière, tandis que les facteurs internes des modules PV, y compris les types de matériaux des cellules et des batteries. D'autre part, les facteurs de stabilisation sont liés à l'orientation et à l'angle d'inclinaison du module PV, à la dissipation de puissance dans les fils de connexion et aux pertes de désadaptation. Autres facteurs affectants la sortie des modules PV comprend la dégradation des modules PV, les résistances parasites et le dimensionnement des modules PV lors de l'installation

I.6 Présentation du terrain d'expérimentation :

[39]:

- Les coordonnées géographiques exactes de Ouargla, latitude et longitude — 32.1677808, 4.976654 [40].
- Les zones désertiques et les zones semi-désertiques en Algérie, y compris la province de Ouargla, l'ensoleillement estimé par an est d'environ 3500 heures par an. [41]

En Algérie, et généralement dans tout l'hémisphère nord, on privilège toujours une orientation du champ PV vers le sud. L'angle d'inclinaison est l'angle formé par le plan du panneau solaire par rapport à l'horizontale (figure I.7).

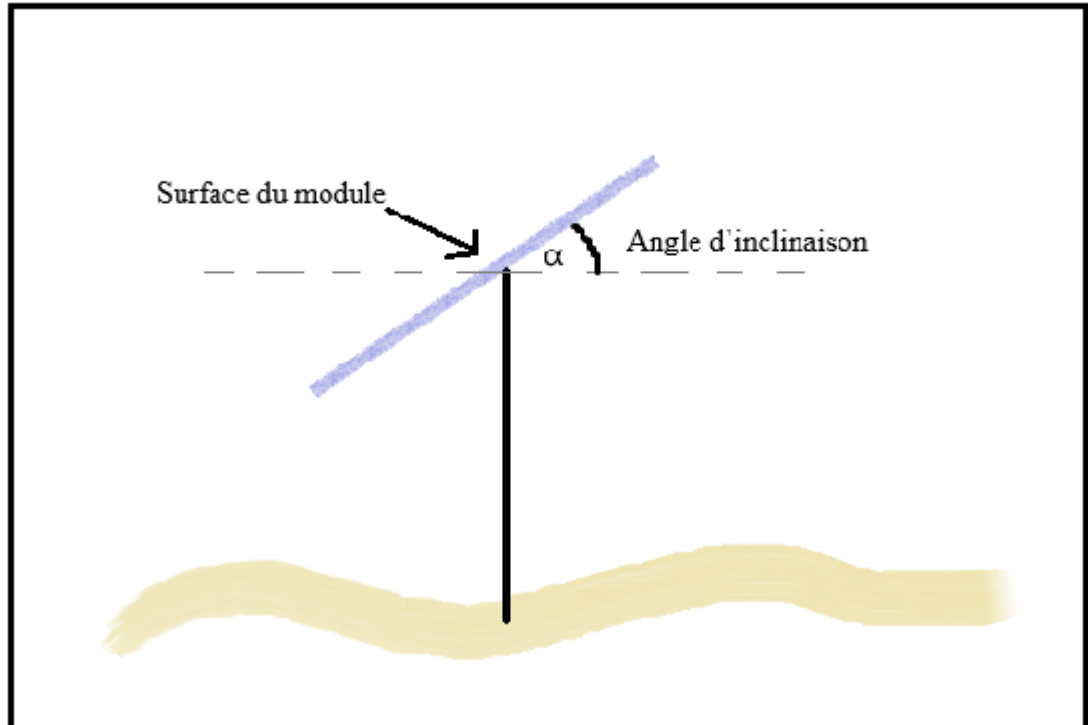


Figure I.7 :Angle d'inclinaison de module photovoltaïque.

La région de Ouargla est considérée comme une zone désertique chaude en été et quelque peu froide en hiver, et le taux d'humidité est faible par rapport aux régions du nord. Le pourcentage de précipitations annuelles est quasiment inexistant ces dernières années, mais les vents et la poussière sont périodiques tout au long de l'année, surtout à l'automne, en abondance. Le temps est chaotiquement mélangé au printemps.

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre, l'état actuel de l'énergie est présenté à l'échelle mondiale et nationale. En termes de ressources, de production et de consommation. Le contexte énergétique montre que l'économie algérienne parce qu'elle a été historiquement dépendante des hydrocarbures traditionnels, elle doit se rapprocher aux plus vite autres sources d'énergie alimentées par des énergies renouvelables pour diversifier ces sources prêtes pour sortir d'une économie trop dépendante des hydrocarbures.

Chaptire II :

Méthodes et techniques d'amélioration de la performance des systèmes photovoltaïques

II.1 INTRODUCTION

Le fonctionnement et l'efficacité des modules PV dépendent de divers facteurs tels que l'environnement, le système de modules PV et l'installation . Cependant, la puissance de sortie maximale d'un module PV est un paramètre complexe qui est affecté par de nombreux facteurs.

Ce chapitre traite des techniques de nettoyage des panneaux solaires ainsi que les technique d'améliorations liées au refroidissement.

II.2 Effet de la poussière sur la transmission de la lumière de surface du module PV

La transmission lumineuse d'un matériau est l'intensité de la lumière qui traverse le matériau à l'intensité de la lumière qui passe sans lui. Cependant, lorsque des particules de poussière s'accumulent à la surface du module photovoltaïque, une couche de poussière se forme et cette couche modifie les propriétés optiques de la surface du module photovoltaïque. En conséquence, la couche de poussière à la surface du module photovoltaïque peut diffuser, absorber ou rediriger la lumière solaire incidente, réduisant ainsi la lumière utile atteignant les cellules solaires Guruprasad Alva et tout [07].

Dans une étude qui a été menée d'effet de la poussière sur les performances des capteurs solaires en Irak, Hassan Qasem et tout [08] ont étudié l'effet du nettoyage périodique sur la capacité de production des panneaux solaires, une comparaison pratique a été faite pour évaluer les performances entre 4 panneaux solaires identiques (20 Watts), de sorte que le premier panneau a été nettoyé quotidiennement, le second a été nettoyé chaque semaine, le troisième a été nettoyé mensuellement, tandis que le quatrième a été laissé sans nettoyage ,l'expérience était réalisée pendant 6 mois. Les résultats obtenus ont montré que l'accumulation de poussière à la surface des panneaux solaires entraîne une diminution notable de la puissance générée par les panneaux solaires d'un certain pourcentage, cette diminution est causée par le pourcentage d'accumulation de poussière, et une diminution de l'efficacité relative allant jusqu'à 7%, 20%, 79% pour les panneaux nettoyés hebdomadairement, mensuellement et trimestriellement, respectivement, par rapport au panneau nettoyé.

Ibrahim I et tout [09] ont traité l'accumulation de poussière sur les systèmes photovoltaïques, l'énergie produite par le panneau a été comparée entre un panneau exposé à la poussière pendant

un an et un autre exposé à la poussière mais nettoyé tous les deux mois. Les résultats ont montré que le panneau qui a été exposée à la poussière (une année sans nettoyage) produit 35% d'énergie moins qu'un panneau propre, et le panneau nettoyé tous les deux mois produit 25 % d'énergie moins qu'un panneau propre.

II.3 Méthodes de nettoyage

II.3.1 Nettoyage manuel

Cette méthode nécessite l'intervention d'un opérateur humain pour effectuer un nettoyage manuel à l'aide d'un balai ou d'un chiffon avec des structures de supports appropriées, comme indiqué dans la Figure II.1. La qualité de la surface nettoyée est évaluée visuellement par l'opérateur pour atteindre un niveau satisfaisant ou jusqu'à ce que les particules de poussière soient complètement éliminées. Ce processus s'avère fastidieux et difficile, car les centrales solaires sont composées de plusieurs panneaux installés à une hauteur de 12 à 20 pieds ou plus du sol. Le temps requis et la sécurité de la personne et du panneau sont en danger. Pour nettoyer manuellement les panneaux, des fluides tels que des nettoyants ou des gels doivent être utilisés, ce qui peut altérer la transparence de la surface si le nettoyage n'est pas effectué correctement. Il existe également un risque des dommages physiques aux panneaux photovoltaïques qui ne peuvent pas être évités. [10]



Figure II.1 : Nettoyage manuel des panneaux solaires .[10]

II.3.2 Le nettoyage par aspiration sous vide

Un aspirateur à succion est un appareil qui utilise une pompe à air pour créer un vide partiel afin d'aspirer la poussière et la saleté, généralement des sols, des vitres, etc. En général, l'alimentation électrique est fournie au moteur de l'aspirateur qui crée la pression de succion. La

consommation d'énergie de l'aspirateur est exprimée en watts et ne justifie pas l'efficacité de l'appareil. La puissance d'entrée est convertie en flux d'air à la fin et est mesurée en watts d'air. L'aspirateur peut nettoyer correctement le panneau uniquement sur les surfaces que les coins, et cela doit être effectué manuellement, comme indiqué dans la figure II.2. Une formation adéquate de l'opérateur est nécessaire car les mouvements physiques sur le panneau avec l'aspirateur sont inévitables. Au fil du temps, la poussière accumulée provoque une absorption inefficace de l'insolation solaire. [10]



Figure II.2 : Le nettoyage à l'aide d'une aspiration sous vide. [10]

II.3.3 Nettoyage automatique

II.3.3.a Nettoyage automatisé

Le nettoyage automatisé à l'aide d'un essuie-glace incorporé comprend une lame en caoutchouc et un réservoir d'eau pour la pulvérisation d'eau avec des additifs et du produit nettoyant. Le processus est exactement similaire au nettoyage des vitres de véhicules et nécessite un mécanisme automatique pour fonctionner et accomplir la tâche. Le mécanisme fonctionne sur batterie. Cette méthode est similaire à la précédente et fonctionne automatiquement grâce à un mécanisme de contrôle approprié, mais les impacts sont similaires à ceux de la méthode précédente [10]



Figure II.3 : Les automates de nettoyage des poussières [10]

- **l'impact du nettoyage de l'ombre mobile du robot sur la chaîne électro-optique :**

Benjamin Figgis et tout [11] ont étudié l'impact du nettoyage de l'ombre mobile du robot sur la chaîne électro-optique. Ils ont prouvé que l'ombre du robot provoque une diminution importante de la puissance de la chaîne PV ainsi que le chauffage de la diode de dérivation d'un module se produisait si le robot s'arrêtait le module, mais pas pendant que le robot se déplaçait.



Figure II.4 : Configuration du banc d'essai et du robot. [11]

II.3.3.b Robots de nettoyage intelligent

La méthode consiste à installer un robot de nettoyage pour chaque rangée de panneaux photovoltaïques dans une centrale solaire, ce qui permet de les nettoyer automatiquement et régulièrement sans supervision, réduisant ainsi les coûts de main-d'œuvre. Le robot de nettoyage

intelligent fonctionne grâce à l'alimentation électrique indépendante pour le nettoyage et dispose d'un stockage d'énergie. Il utilise un système de nettoyage sans eau, qui économise de l'énergie, protège l'environnement et conserve l'eau. La fréquence de fonctionnement peut être ajustée au besoin et le site peut être nettoyé régulièrement en fonction des conditions du site. [12]



Figure II.5 : Nettoyage intelligent des panneaux solaires. [13]

Siyuan Fan et tout [14] ont fabriqué un robot de nettoyage innovant sans eau pour éliminer la poussière du distributeur photovoltaïque (PV) dans les zones où l'eau est rare.

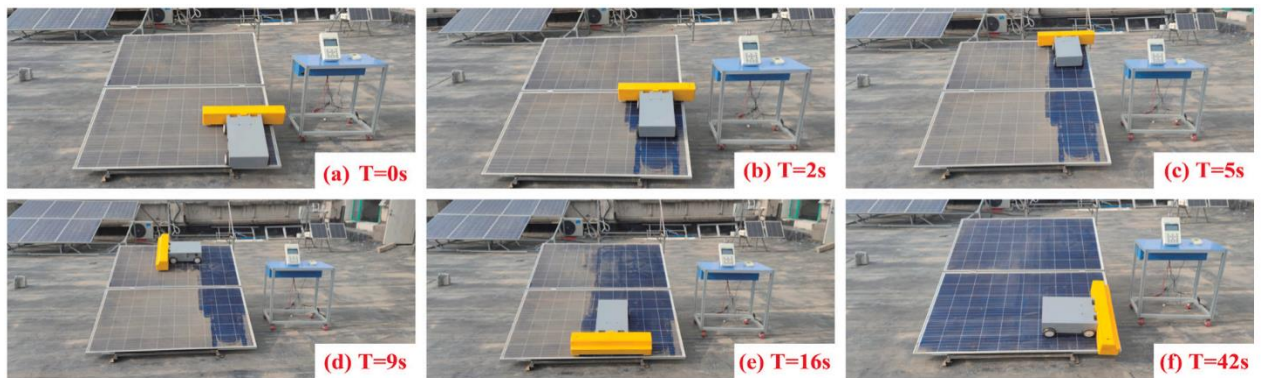


Figure II.6 : L'expérience de nettoyage du robot de nettoyage sans eau. [14]

L'efficacité de système d'adsorption a été vérifié par des expériences avec des charges de 60, 70 et 80 N et des angles d'inclinaison allant de 0° à 30°.La largeur et la hauteur de l'écart ont considérablement affecté la pression du système d'adsorption à pression. L'efficacité du robot de nettoyage sans eau a été vérifiée en évaluant la transmission lumineuse des panneaux. Les résultats ont montré que le taux moyen de dépoussiérage était de 92,46 %. [14]

II.3.3.c Vibration

Un système de vibration mécanique a été développé qui secoue les panneaux solaires deux fois par jour. Le système de vibration se compose de deux parties principales, la première est le circuit de charge et la seconde est le circuit de commande du moteur excentrique (ERM).

Le moteur ERM est installé à l'arrière du panneau solaire, loin de la surface du panneau. Ainsi, lorsque le moteur tourne et que le panneau tremble, la poussière sur la surface du panneau tombe. Le moteur est placé sur une base en fer qui est fixée au cadre du module photovoltaïque, de sorte que les vibrations du moteur ERM sont transmises au cadre du module, faisant vibrer l'ensemble du module.

Ce moteur vibrant est en fait un moteur à balourd. En d'autres termes, un poids excentriques fixé à l'arbre du moteur, ce qui crée une force centrifuge lors de la rotation. Cette force déséquilibrée déplace le moteur. Lors de déplacement à grande vitesse, le moteur tremble, c'est ce qu'on appelle une "vibration". Le moteur est placé sur une base en fer qui est fixée au cadre du module photovoltaïque, de sorte que les vibrations du moteur ERM sont transmises au cadre du module, faisant vibrer l'ensemble du module. Le moteur ERM n'est pas en contact direct avec le panneau solaire, ce qui évite la rupture du panneau. [15]

des avantages et inconvénients (différents types de nettoyage) pour panneaux photovoltaïques :

Type de nettoyage	avantages	inconvénients
manuel	pas cher	Laisse des traces sur le verre
par aspiration sous vide	Rapide et léger	Il lui faut de l'énergie
automatisé	Fonctionne à tout moment	Il a besoin d'être peaufiné
Robots intelligent	Un meilleur nettoyage à chaque fois	Cela nécessite de l'énergie et une batterie
Vibration	Efficace contre la poussière	Nettoyage incomplet

II.4 Les techniques de Refroidissement

Une partie des incidents de rayonnement sur les cellules solaires PV est réfléchi par le module PV. Un autre pourcentage du rayonnement incident est stocké dans le module PV sous forme de chaleur ; cette quantité de chaleur entraîne une augmentation de la température de surface du module PV. Le rapport entre la puissance électrique du module PV et le rayonnement solaire incident sur le module PV est appelé l'efficacité électrique du module PV, elle est exprimée par eq.II.1. [16]

$$\eta_{\text{module PV}} = \frac{\text{La puissance électrique produite par le module PV}}{\text{Le rayonnement solaire incident sur le module PV} \times \text{La surface PV}} \quad \text{II.1}$$

Les performances des panneaux solaires PV détériorent en raison de l'augmentation de leur température de fonctionnement. Par conséquent, afin de maintenir les performances électriques du module PV à un niveau acceptable, il est essentiel d'utiliser une technique de refroidissement appropriée pour abaisser sa température de surface, prolongeant ainsi sa durée de vie. La plupart des recherches sont menées pour minimiser l'effet de la température élevée sur l'efficacité électrique du module PV. Différents types de méthodes de refroidissement utilisées dans le refroidissement PV sont résumés dans la figure II.7. [17]

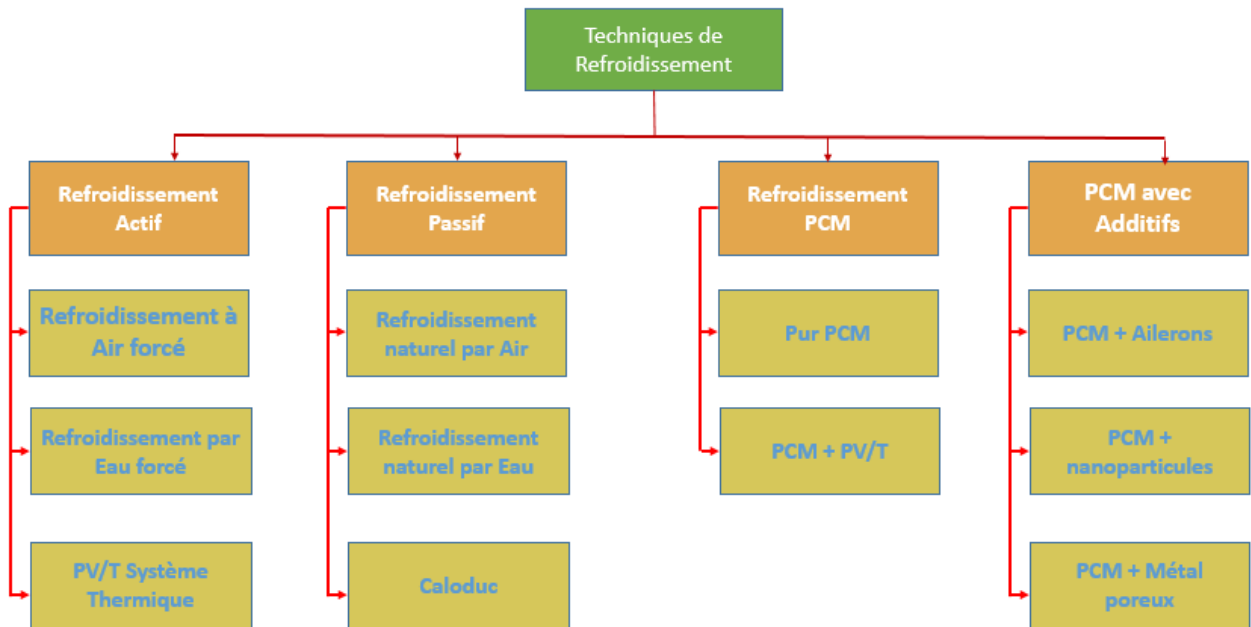


Figure II.7 : Les différentes techniques de refroidissement. [17]

II.4.1 Refroidissement actif

Cette méthode repose sur un autre dispositif mécanique pour pomper l'eau ou l'air nécessaires au refroidissement des cellules. Pour cela, elle a besoin d'une source d'alimentation continue qui a relativement une grande capacité à refroidir les cellules solaires. La puissance utilisée par le ventilateur ou la pompe est déduite de la puissance produite par la cellule, ce qui réduit la puissance nette de sortie produite par les cellules PV, et de nombreuses études ont été réalisées sur les deux types, qui seront examinées dans les sections suivantes. [18-20]

a. Refroidissement forcé par air

Amelia et tout. (2016) [21] ont réalisé une expérience pratique utilisant plusieurs ventilateurs à courant continu dirigés vers l'arrière de la cellule pour la refroidir. Il a été remarqué qu'avec l'augmentation du nombre de ventilateurs, le taux de refroidissement augmentait, ainsi que la puissance produite par la cellule, mais la puissance nécessaire pour faire fonctionner ces ventilateurs augmentait également. Dans la figure II.8 L'utilisation d'un seul ventilateur a augmenté la puissance produite de 12,93 % ; lorsque le nombre de ventilateurs est passé à 2, 3 et 4, la puissance a augmenté respectivement de 37,17 %, 41,28 % et 44,34 %. Káiser and Zamora (2013) [22] ont réalisé une expérience pour comparer la convection naturelle et la convection forcée dans le refroidissement photovoltaïque. Dans leur configuration, ils ont utilisé deux panneaux photovoltaïques ; l'un était une référence, et l'autre avait une plaque en acier en dessous pour créer un canal d'air en dessous. La première étude laissait l'air naturel circuler à travers le canal pour refroidir le photovoltaïque par convection naturelle. La deuxième étude utilisait un ventilateur centrifuge pour forcer l'air à l'intérieur du canal pour refroidir le photovoltaïque par convection forcée, comme montre la figure II.8. Les résultats ont montré que la convection forcée entraînait une baisse de la température de surface de 15 °C et une augmentation de la puissance électrique de 15 % par rapport à la convection naturelle.



Figure II.8 : Refroidissement forcé par air. [22]

Tripanagnostopoulos et tout [23] ont effectué une expérience visant à améliorer les performances des cellules photovoltaïques en les refroidissant par convection forcée d'air. Dans leur étude, ils ont utilisé trois cellules photovoltaïques, la première est une référence, la deuxième est modifiée en concevant un canal d'air à sa surface arrière, et la troisième est identique à la deuxième mais modifiée en ajoutant une mince feuille de métal au centre du canal, comme indiqué dans la figure II.9. Les résultats ont indiqué que plus le débit était élevé, plus l'augmentation de l'efficacité électrique et la réduction de la température de surface étaient importantes, et la réduction maximale de température a été de 7,8% et 9,5% respectivement pour le module avec canal d'air uniquement et le module avec canal d'air et métal mince. Une étude visant à améliorer les performances du module photovoltaïque en utilisant une technique de refroidissement par air forcé a été présentée par Sajjad et tout. [24]. Les résultats de cette étude ont été comparés à ceux des modules photovoltaïques sans refroidissement. Selon la comparaison, il a été démontré que l'utilisation de la technique de refroidissement par air entraînait une augmentation de 7,2% de l'efficacité électrique et une augmentation de 6% du rapport de puissance.

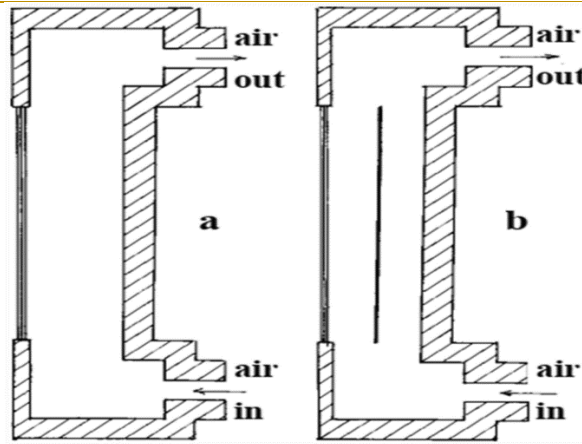


Figure II.9 : Schéma de la section transversale des modèles expérimentaux. [23]

b. Refroidissement forcé à l'eau

Krauter [25] a utilisé une pompe pour forcer l'eau à travers des trous installés sur la surface supérieure de la cellule photovoltaïque. Il a réussi à refroidir la surface de la cellule photovoltaïque et à nettoyer la poussière et les débris présents à sa surface, ce qui réduit son efficacité. Finalement, il a réussi à augmenter l'efficacité électrique de la cellule de 9%.

Odeh et Behnia [26] ont expérimentalement refroidi la cellule solaire photovoltaïque en pompant de l'eau sur la surface, comme montre la figure II.10. Ils ont enregistré les résultats au cours des saisons de l'année. Les résultats ont montré une augmentation de la production de la cellule allant jusqu'à 15% pendant la saison chaude, l'augmentation moyenne de la production de la cellule résultant du processus de refroidissement atteint 5% tout au long de l'année. La présence d'eau à la surface de la cellule a permis de refroidir sa surface, d'éliminer la poussière accumulée et d'augmenter le rayonnement solaire en raison de la réfraction des rayons solaires dans la couche d'eau.

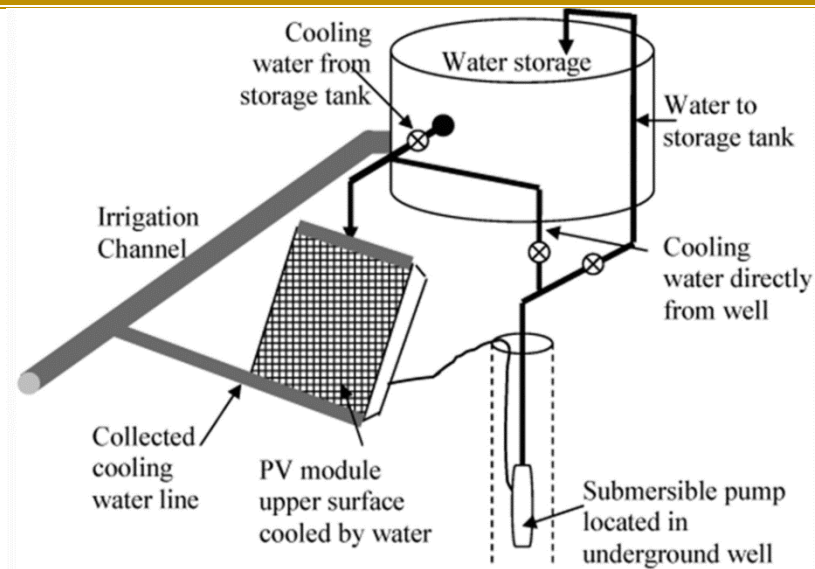


Figure II.10 : La configuration expérimentale de l'expérience [26].

c. Système thermique PV/T

Il est également possible d'utiliser une approche de refroidissement actif pour refroidir les cellules et transférer la chaleur produite par la cellule vers un moyen de refroidissement tel que l'eau. Cette eau chaude peut être utilisée à d'autres fins supplémentaires. Ozgoren et tout. [27] ont comparés expérimentalement deux cellules, la première sans aucune modification et la deuxième en ajoutant un tuyau à l'arrière de la cellule par lequel l'eau passe, ce qui refroidit la cellule. En même temps, l'eau est également utilisée comme eau chaude à des fins diverses. Les résultats ont indiqué que le rendement de conversion de la cellule PV est passé de 11,5% à 13,6%, et la valeur du rendement thermique atteint 51%. Teo et tout. [28] ont également réalisé une expérience pratique pour refroidir la cellule en utilisant le système thermique PV/T en pompant de l'air dans le conduit d'air à la surface arrière de la cellule et en contrôlant la quantité d'air avec un capteur lié à la température de la surface de la cellule PV. Les résultats de la comparaison ont prouvé que la température de surface PV conventionnelle atteint 68 °C et son rendement de conversion est de 8,6%. En revanche, dans le cas d'une cellule refroidie, la température de surface de la cellule diminue à 38 °C et le rendement de conversion atteint jusqu'à 12,5%. Les résultats ont également prouvé que le débit d'air optimal est de 0,055 kg/h. Des débits d'air plus élevés ne constituent pas une amélioration supplémentaire du processus de refroidissement, mais augmentent plutôt la puissance requise pour faire fonctionner ce ventilateur.

II.4.2 Le Refroidissement passif

Cette méthode se caractérise par l'absence du besoin d'un coût variable, ne nécessitant qu'un coût fixe pour établir le système de refroidissement et ne nécessitant pas d'alimentation pour faire fonctionner ce système. Cette méthode est représentée par le refroidissement naturel avec de l'eau ou de l'air et par l'utilisation de caloducs, mais elle améliore l'efficacité de la cellule photovoltaïque.

II.4.2.a Refroidissement naturel par air

Tripanagnostopoulos et Themelis [29] ont réalisé trois modules pour refroidir les cellules solaires photovoltaïques grâce à l'air naturel. Le premier module comprend un conduit d'air à l'arrière de la cellule ; le deuxième module comprend un conduit d'air similaire au premier module, en insérant une feuille de métal mince (TMS) au milieu de ce chemin pour augmenter le processus de refroidissement ; et le troisième module comprend des ailettes métalliques à l'arrière de la cellule pour augmenter la surface exposée à l'air et ainsi augmenter le taux de refroidissement de la cellule, comme indiqué dans la figure II.11. Les résultats ont indiqué que le module le plus efficace parmi les trois est le troisième module (les ailettes), suivi du deuxième module (TMS), puis du premier module.

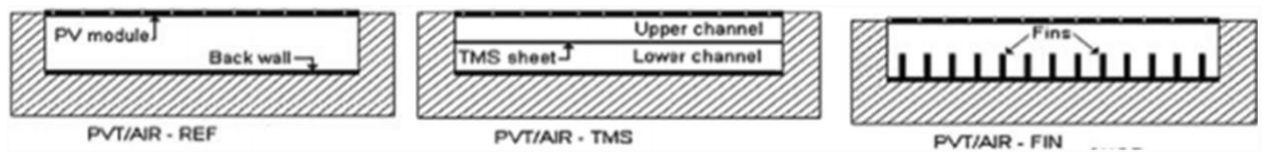


Figure II.11 : Sections transversales des modules. [29]

II.4.2.b Refroidissement naturel par l'eau

Wilson (2009) [30] a réalisé une expérience pratique dans laquelle il a utilisé l'eau disponible avec une hauteur appropriée pour qu'elle passe à l'arrière de la cellule photovoltaïque sans avoir besoin d'une pompe. La puissance nécessaire pour le débit d'eau de haut en bas correspond à l'énergie disponible dans l'eau en raison de la différence de hauteur hydraulique. La température de surface de la cellule photovoltaïque a été réduite de 60 à 30 °C, ce qui a entraîné une augmentation de l'efficacité de conversion de la cellule jusqu'à 12%. Une autre méthode consiste à refroidir les cellules en les plongeant dans un bassin d'eau. Mehrotra et tout. [31] ont réalisé une expérience pour refroidir la cellule solaire photovoltaïque en la plongeant à différentes profondeurs dans l'eau (figure II.12). Les résultats ont prouvé que plus la profondeur de l'eau est grande, plus la température

de surface de la cellule solaire photovoltaïque est basse, et donc l'efficacité de la cellule PV augmente. La plus haute efficacité électrique obtenue était de 4,76% à une profondeur de 1 cm, avec une augmentation de l'efficacité électrique de 17,8% par rapport à la cellule solaire PV à la surface de l'eau.



Figure II.12 : Panneau immergé dans l'eau [31]

II.4.2.c Tuyau de Heqt

Le caloduc plat est un équipement de changement de phase liquide-vapeur qui fonctionne comme un petit cycle de réfrigération. Il est composé de deux parties, l'une maintenue au frais (évaporateur) et l'autre chaude (condenseur), ce qui lui permet d'être utilisé pour refroidir des dispositifs électriques tels que les panneaux photovoltaïques. Il présente des avantages tels que l'absence de pièces mobiles, une structure compacte et un transfert de chaleur élevé, tandis que son inconvénient est son coût élevé. Shittu et tout. [32] ont réalisé une expérience visant à améliorer les performances des panneaux photovoltaïques en utilisant un caloduc. Ils ont créé trois modules, le premier étant un PV utilisé comme référence, le deuxième étant un PV couplé à un module thermoélectrique TEG, et le troisième étant un PV intégré à la fois au TEG et au caloduc, comme indiqué dans la figure II.13. Les résultats ont indiqué que l'efficacité électrique du troisième module est supérieure de 1,47% et de 61,01% à celle du deuxième et du premier module, respectivement.

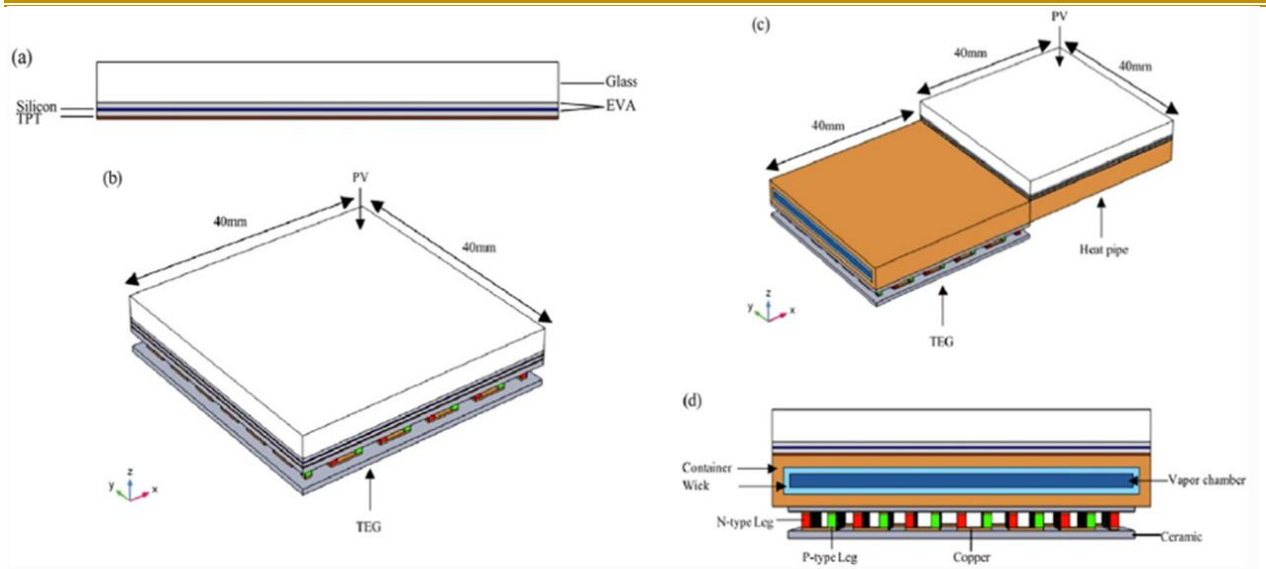


Figure II.13 : Le schéma de Shittu et tout. (2019). [32]

II.4.3 Refroidissement par MCP

Les matériaux à changement de phase (MCPs) sont utilisés pour refroidir les cellules solaires PV en absorbant la chaleur générée dans la cellule PV jusqu'à ce que la température du MCP atteigne le point de fusion (chaleur sensible). Ensuite, le MCP commence à absorber une autre partie de la chaleur générée dans la cellule PV jusqu'à ce qu'il passe de l'état solide à l'état liquide (chaleur latente). En conséquence de la chaleur absorbée par la cellule PV pendant la journée, celle-ci se refroidit et la puissance produite par la cellule PV augmente. Ensuite, pendant l'absence du soleil, la chaleur absorbée par le MCP est transférée à l'environnement, et la température du MCP diminue. Le cycle de refroidissement est ensuite redémarré le lendemain matin. Une fois de plus, de nombreuses recherches ont été menées sur cette méthode de refroidissement. Parmi les nombreuses techniques de régulation thermique des systèmes PV, l'utilisation de MCP a été proposée dans les systèmes PV en raison de son importante enthalpie de changement de phase, de sa facilité d'utilisation, de son faible coût, de sa stabilité chimique et de sa température de transition de phase applicabl [32].

Ainsi, les MCP ont été largement utilisés dans divers systèmes d'ingénierie pour la régulation thermique, le refroidissement électronique, les applications de l'énergie thermique solaire, l'industrie automobile, la conservation de l'énergie des bâtiments et la récupération de la chaleur perdue [34], [35], [36].

Pour la régulation thermique des systèmes PV, lorsque le MCP est intégré à l'arrière des cellules PV, l'énergie solaire dissipée sous forme de chaleur est captée par le MCP sous forme de chaleur latente, maintenant la température des cellules PV à un niveau acceptable et presque uniforme pendant une certaine période. [37]

➤ **Refroidissement des cellules solaires par convection forcée**

Ahmed Hussien et tout [38] ont réalisé une étude expérimentale et numérique sur le refroidissement des cellules solaires par convection forcée. L'étude a révélé que les performances des systèmes PV équipés de ventilateurs de refroidissement répartis sont bien meilleures que celles des systèmes PV équipés d'un souffleur de refroidissement concentré. L'intégration des PV avec des ventilateurs et un souffleur de refroidissement permet une réduction de la température des panneaux d'environ 9,9°C et 5,4°C respectivement. Le système permet d'atteindre une augmentation totale maximale des économies d'énergie de 7% et 3,9% pour les panneaux PV avec ventilateurs répartis et souffleur respectivement.

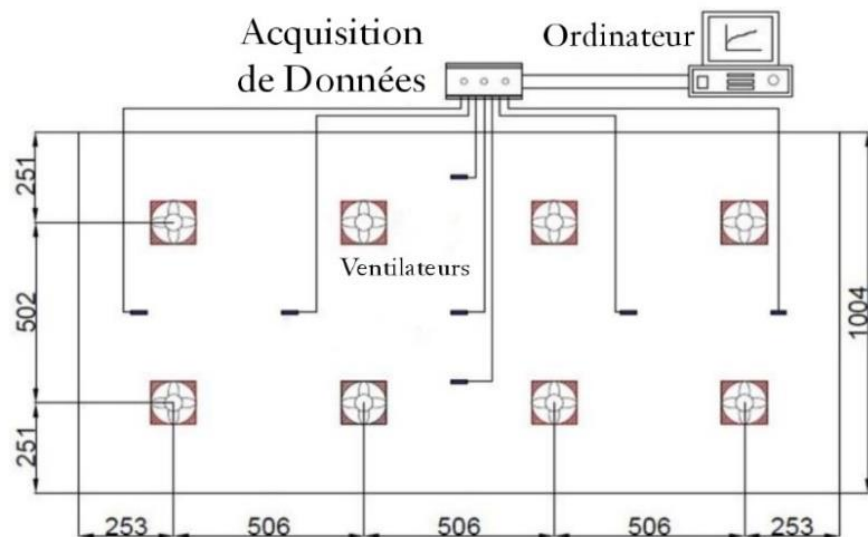


Figure II.14 : Schéma du dispositif de refroidissement des ventilateurs d'air. [38]

II.5 CONCLUSION

Ce chapitre a permis de consolider des connaissances des méthodes d'amélioration de la performance des systèmes PV englobant à la fois les études antérieures des techniques de nettoyage et de refroidissement.

Chaptire III :

Etude expérimentale et discussion des résultats

III.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous étudions expérimentalement la performance du module PV. L'étude se base sur l'effet de la poussière sur des panneaux solaires photovoltaïques en silicium monocristallin d'une puissance de 390 W. Pour cela, une comparaison est réalisée sur deux panneaux dont un est parfaitement propre, le deuxième est resté sans nettoyage.

III.2 Etude Expérimentale

III.2.1 Matériels et Méthodes :

III.2.1.a Matériels

Les matériels utilisés dans le cadre de cette étude sont présentés dans ce qui suit :

❖ **Panneaux solaires photovoltaïques**

La configuration consiste en deux modules photovoltaïques identiques en silicium monocristallin (ZGE_FM72_390) d'une puissance de 390 W, l'un est parfaitement bien nettoyée, l'autre exposé aux conditions climatiques sans nettoyage (figure.III.2), avec une inclinaison à un angle d'environ 30° et une orientation plein sud. Les paramètres spécifiques des modules sont indiqués dans le tableau.III.1.

Tableau III.3 : Caractéristiques du module ZGE _FM72_390W.

Module	Paramètre	Valeur
Silicium mono cristallin	Puissance maximale (Pmax)	390 W
	Courant à Pmax	9,53 A
	Tension à P max	41 V
	Tolerance de puissance	+/-3%
	Courant en court-circuit (Isc)	10,1 A
	Tension en circuit-ouvert (Voc)	47,7 V
	Temps nominale d'utilisation de la cellule d'utilisation de la cellule (NOCT)	1,5, 25 °C
	Dimension	1967x992x40 mm
	Tension maximale du system	1500 V
	Charge maximale de fusible	20 A

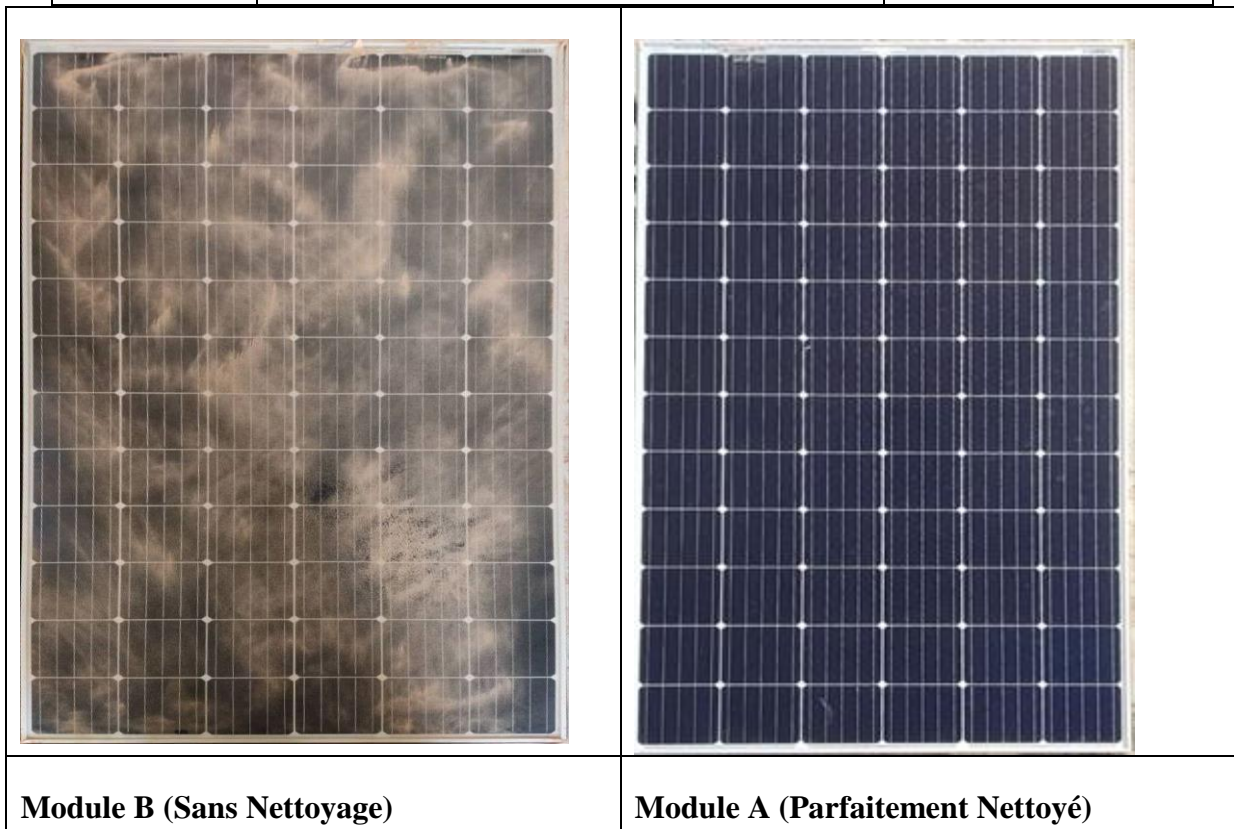


Figure III.2 : Modules photovoltaïques monocristallins.

❖ **Les Résistances :**

Pour protéger les entrées de la carte d'interface, deux résistances ont été utilisées, chacune a une capacité de 320 W avec 600V, 5,7A et 0 à 10 Ω : (Fig.III.3)



Figure III.3 : Résistance d'une capacité 10 Ω .

❖ **Multimètre Numérique**

Pour mesurer la tension et le courant, un multimètre numérique de type GDM-356 a été utilisé (Fig.III.4).



Figure III.4 : Multimètres numériques de type GDM-356.

❖ **Thermomètres :**

Pour mesurer la température ambiante, les deux températures de l'avant et de l'arrière des PV, deux thermomètres de type (TASI) sont utilisés (fig.III.5).



Figure III.5 :Thermomètres de type(TASI).

❖ **Compteur de rayonnement solaire:**

Un Compteur de rayonnement solaire (Fig.III.6) de type (Hand pyromètre 4890.20) a été utilisé pour connaître la valeur du faisceau projeté sur le panneau solaire. Ses paramètres spécifiques des modules sont indiqués dans le tableau.III.3.

Tableau III.4 : Caractéristiques de compteur de rayonnement solaire (Hand pyromètre 4890.20)

Dimension	185 x 108 x 56 mm.
source de courant	9V bloc batterie.
Pelage de mesure	0-1999 W/m ² .
Resolution	1 W/m ² .
Precision	+/-5% de plainier echelle.
Signal de sortie	100 mV □ □ 1000 W/m ²

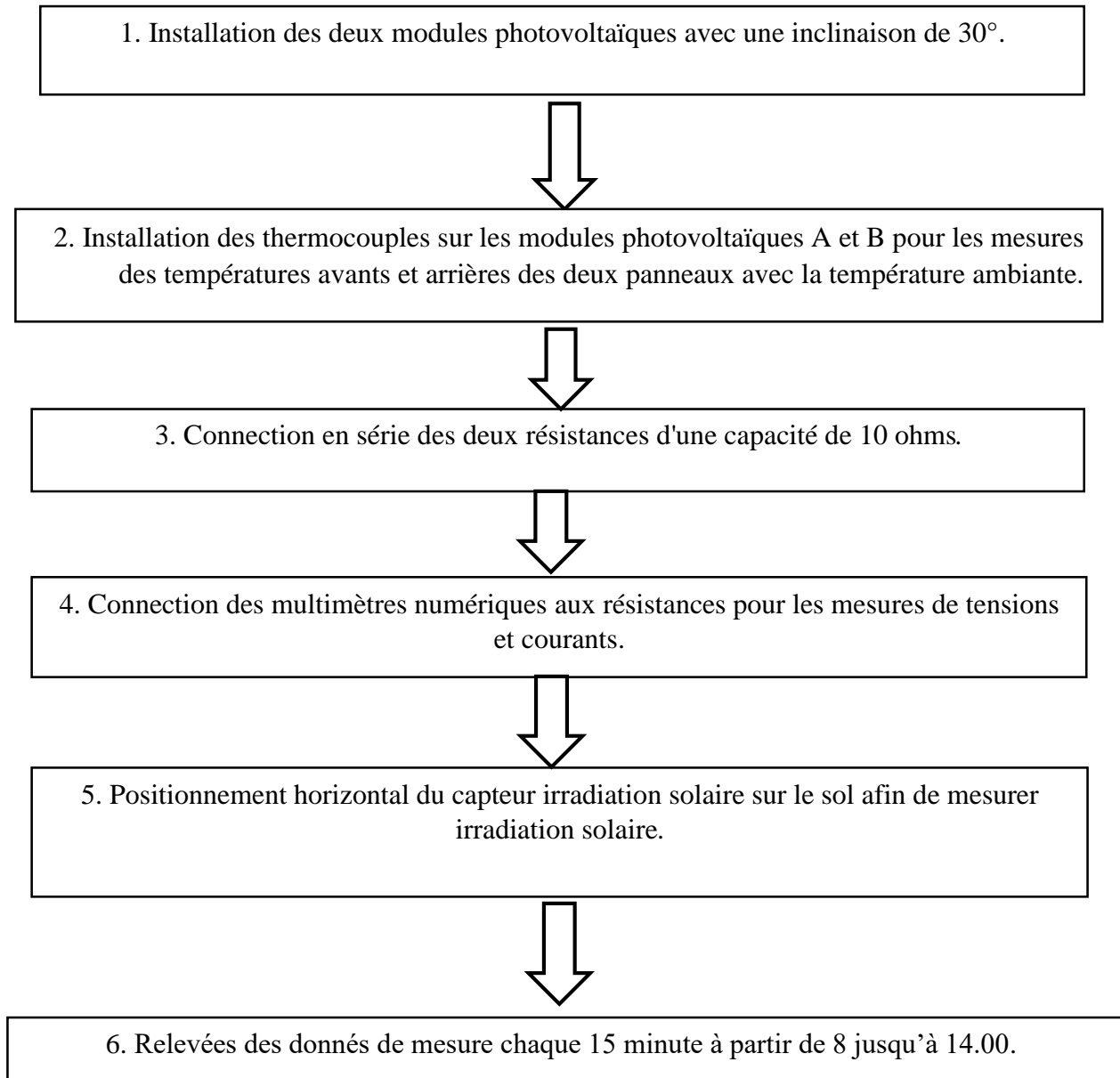


Figure III.6 : Compteur de rayonnement solaire de type (Hand pyromètre 4890.20).

III.2.1.b Méthode

❖ Première série de test (23/03/2023)

Dans un premier temps et dans le but de vérifier que les deux panneaux photovoltaïques (neufs et propres) utilisés dans notre recherche sont identiques. La première étape consiste à un test de vérification afin de confirmer que les deux panneaux ont le même rendement. Le protocole suivi est décrit dans le logigramme suivant :



un plan de protocole : afin de confirmer que les deux panneaux ont le même rendement (différent neufs et anciens)

❖ **Deuxième série de test (03/05/2023)**

Cette série de test est consacrée à l'étude de l'impact de la poussière sur la performance des modules photovoltaïques. Pour cela une comparaison a été faite entre le panneau photovoltaïque A nettoyé le jour même (**03/05/2023**), le deuxième B est laissé sans nettoyage (exposé à la poussière 3 jours à partir de **01/05/2023**). Les Relevées des données de mesures (températures avants et arrières des deux panneaux A et B, la température ambiante, irradiation solaire, tensions et courants) ont été prises chaque 15 minute à partir de 07.00 jusqu'à 14.00h.

Le reste des séries sont effectuée suivant le même protocole. Tous les tests ont été menés sous les conditions environnementales externes réelles sans nettoyage pour le module B, le module A a été nettoyé avant de commencer chaque série de test. Les expériences ont été réalisées durant des périodes de climat tempéré avec un ciel clair, et les mesures sont prises chaque 15 minute entre 8 h et 14h.

Troisième série de test (09/05/2023) : Exposition de module B à la poussière 7jours.

Quatrième série de test (16/05/2023) : Exposition de module B à la poussière 15jours.

Cinquième série de test (30/05/2023) : Exposition de module B à la poussière 30 jours.

Sixième série de test (10/06/2023) : Exposition de module B à la poussière 40 jours.

III.3 Résultats et discussion

La partie expérimentale est divisée en cinq séries de test, la première a été déroulée dans les mêmes conditions expérimentales pour les deux panneaux photovoltaïques sélectionnés , afin de vérifier la similitude et la convergence des deux panneaux photovoltaïques, ce qui assure l'exactitude des résultats obtenus dans le reste des cinq séries de tests.

Le reste des cinq séries de test sont menés dans des conditions différentes, afin d'étudier l'impact de la poussière. Il est à noter que le panneau photovoltaïque parfaitement nettoyé est désigné par Panneaux A, tandis que le deuxième panneau photovoltaïque sans nettoyage est désigné par Panneaux B.

III.3.1 Résultats des séries de test

❖ Première série de test (23/03/2023)

Deux panneaux de 390 W ($G=1000 \text{ W/m}^2$ et $T=25 \text{ C}$) ont été choisis neufs et propres pour éviter les effets de dégradation tels que : décoloration, corrosion, etc. La première série de tests se réside en comparer les deux panneaux PV dans un but de démontrer que deux panneaux (propres et neufs) fournissent la même puissance dans les conditions climatiques similaires. Les Relevées des données de mesures (la température ambiante, irradiation solaire, tensions et le courant) ont été prises chaque 15 minute à partir de 08.00 jusqu'à à 14h00.

La figure III.7 représente la variation de puissance en fonction de temps. On note que la variation de puissance est presque identique (petite différence entre 9.30et 10.30 due aux erreurs de mesure) dans les deux panneaux A et B propres et neufs ce qui confirme la similitude des deux panneaux A et B.

La figure III.8 représente la variation d'irradiation et de température ambiante en fonction de temps. La figure indique que l'augmentation du rayonnement suivi par une élévation température ambiante. La figure montre aussi la fluctuation dans les valeurs d'irradiation solaire (11.45 jusqu'à 14.00), cela est due à la présence de nuages qui les absorbent et réfléchissent.

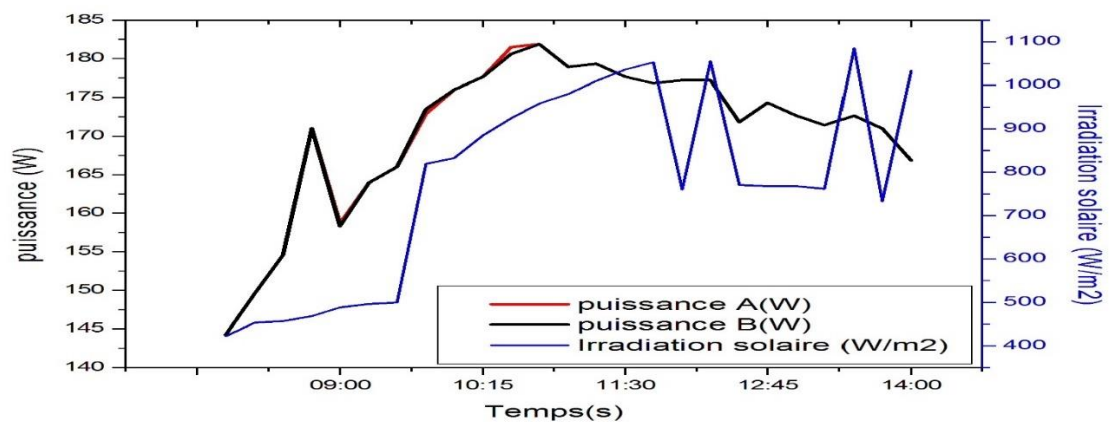


Figure III.7 : Variation du rayonnement solaire et variation d'énergie des deux panneaux en fonction du temps.

Première série de test (23/03/2023)

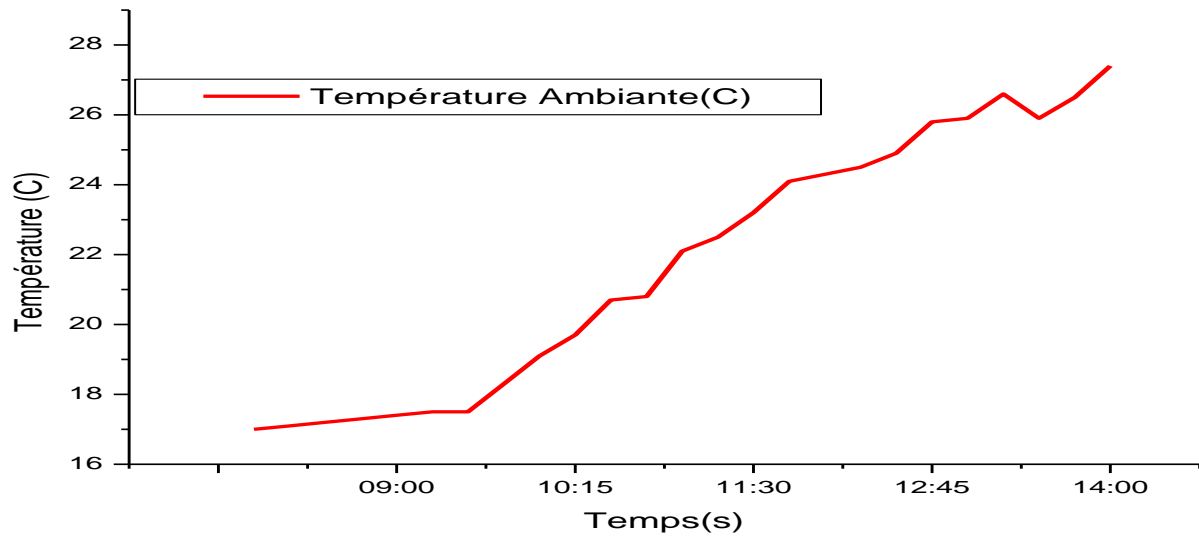


Figure III.8 : température ambiante en fonction de temps.

❖ **Deuxième série de test (Après 3 jours 03/05/2023)**

La figure III.9 présente la variation de la puissance des deux panneaux A et B en fonction du temps, on remarque que la variation de la puissance de panneau A est un peu plus que celle de panneau B cela est expliqué par l'effet des poussières accumulées sur le panneau B qui réfléchissent une partie du rayonnement solaire en réduisant la performance de panneau B.

Le changement des températures arrière des panneaux A et B, la température ambiante et le rayonnement solaire en fonction du temps sont illustrés dans la figure.III.10, on remarque que la valeur de température arrière de panneau A est toujours supérieure à celle de panneau B. Le dépôt de poussière sur la surface de panneau B entraîne une diminution du rayonnement et par la suite une réduction de la température de surface suivie par une diminution de température arrière par apport au panneau A.

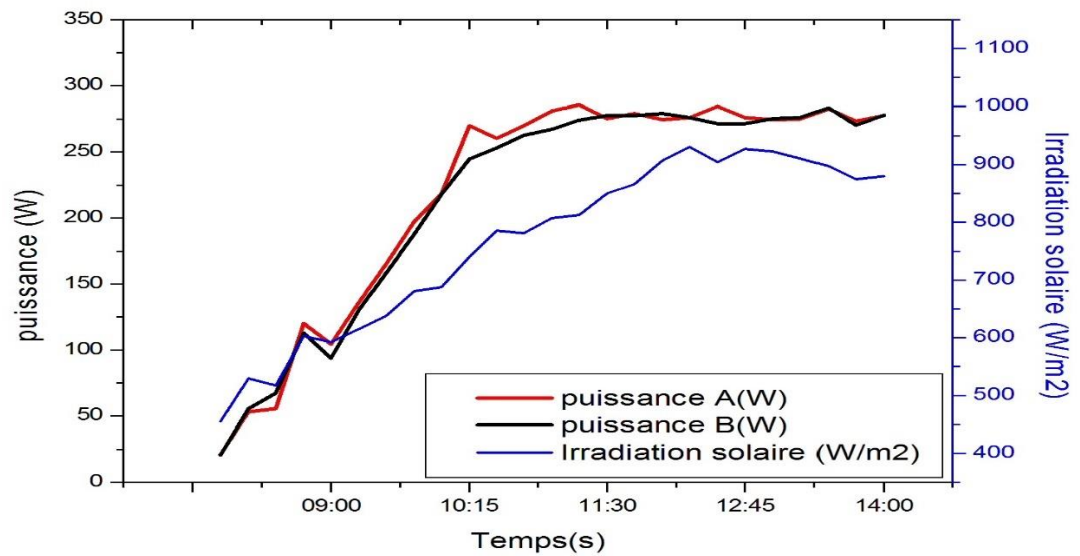


Figure III.9 : La variation du rayonnement solaire et la variation de la puissance des deux panneaux en fonction du temps de test 2.

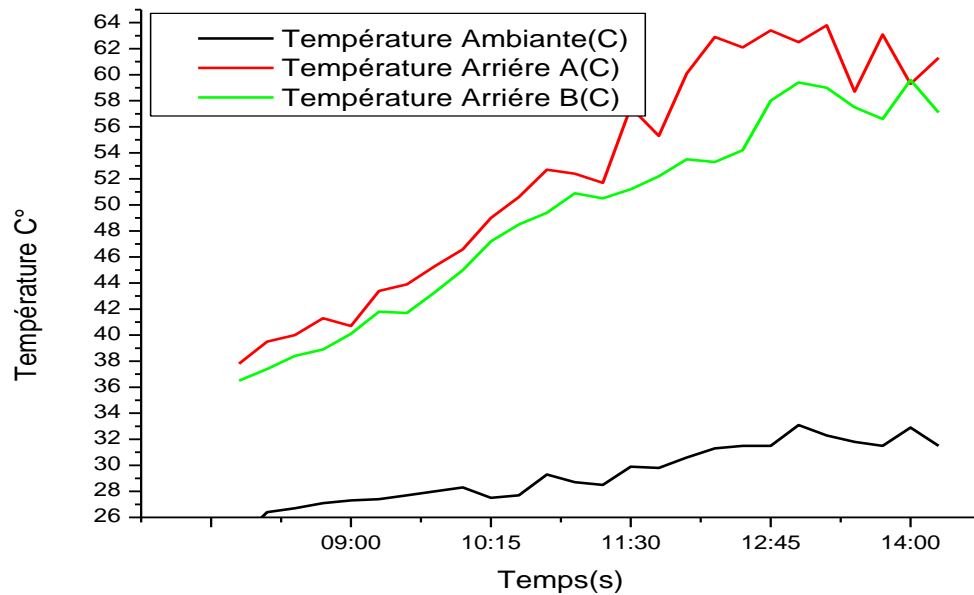


Figure III.10 : Variation des températures arrière A, B, ambiante fonction de temps test 2

❖ **Troisième série de test (Après une semaine 09/05/2023)**

La variation de puissance des panneaux A et B en fonction de temps, la variation des températures arrières A et B la température ambiante, irradiation solaire en fonction du temps sont illustrés respectivement dans les figures III.11 et III.12.

La figure.III.12 montre que la variation de puissance en fonction du temps pour les deux panneaux A et B passe par deux phases :

- La première Phase de 8 h à 11 h 30, on remarque une augmentation de puissance significatifs en fonction d'irradiation solaire dans les deux panneaux A et B.
- La deuxième phase de 11h30 à 14h, on note une fluctuation de puissance dans les deux panneaux A et B causée par une chute d'irradiation solaire (présence de nuages).

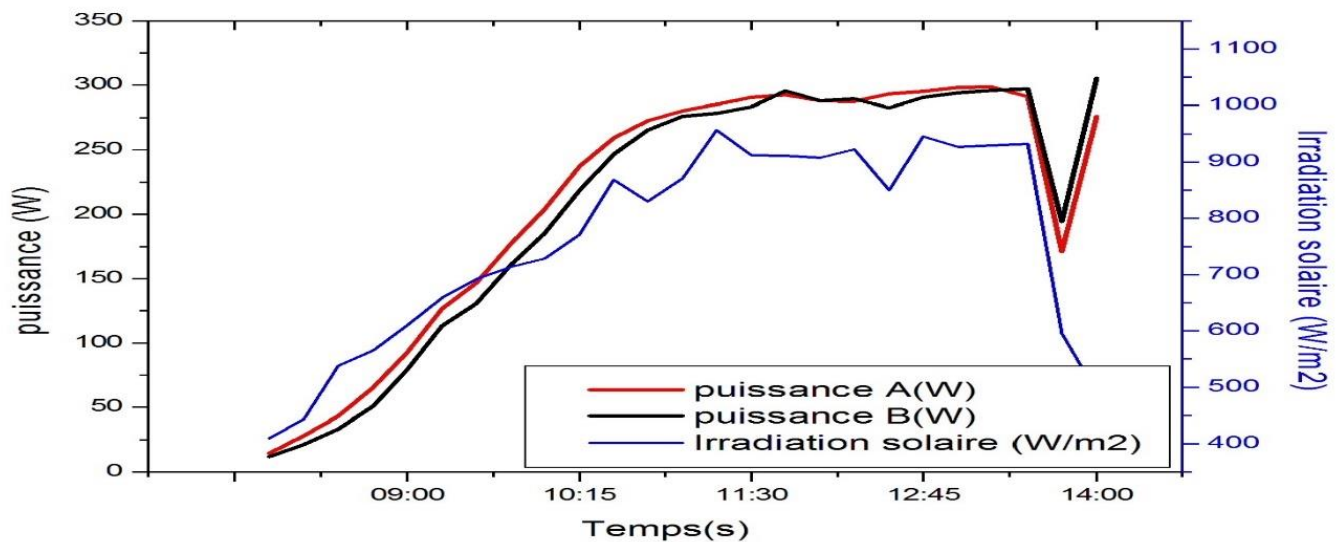


Figure III.11 : Variation du rayonnement solaire et changement d'énergie des deux panneaux en fonction du temps de test 3.

❖ **Troisième série de test (Après une semaine 09/05/2023)**

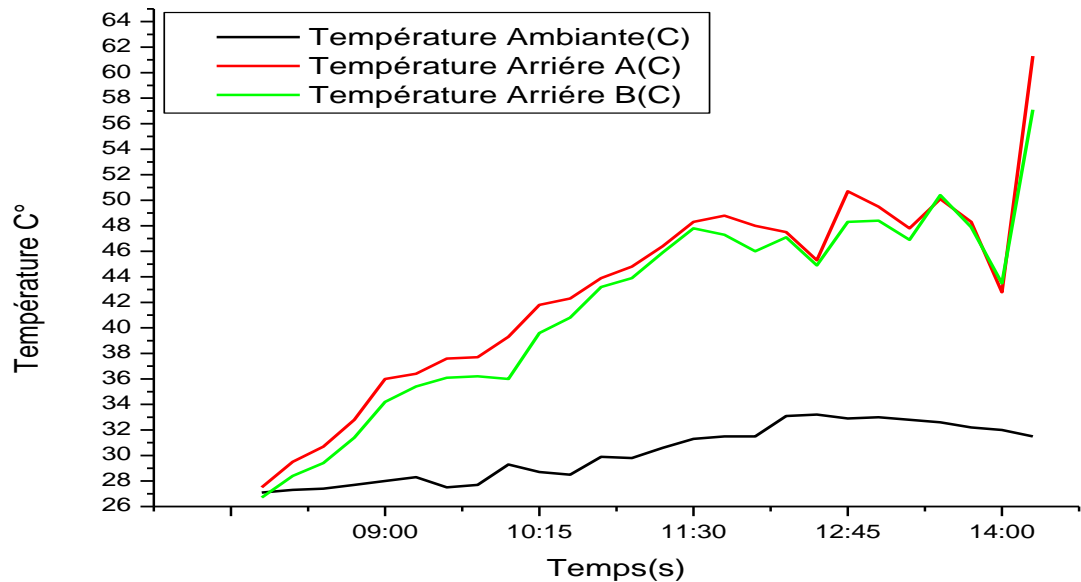


Figure III.12 : Variation des températures de fond A et B, du ambiant et en fonction de la durée du test 3.

❖ **Quatrième série de test (Après 2 semaines 16/05/2023)**

La figure.III.13 présente l'évolution de la puissance des deux panneaux A et B en fonction du temps. La période de 8 h à 10 h 30, on remarque une augmentation significative des valeurs de puissance des deux 2 panneaux A et B (25W jusqu'à 275 W) avec une légère différence de panneau A par rapport au panneau B (sans nettoyage), cette augmentation est due à l'augmentation de irradiation solaire montrée dans la figure III.14. Tandis que la période de 10h30 à14.00, on remarque une légère augmentation des valeurs de puissance des deux 2 panneaux avec une légère floculation entre 275 W et 305W due à la floculation des valeurs d'irradiation. .

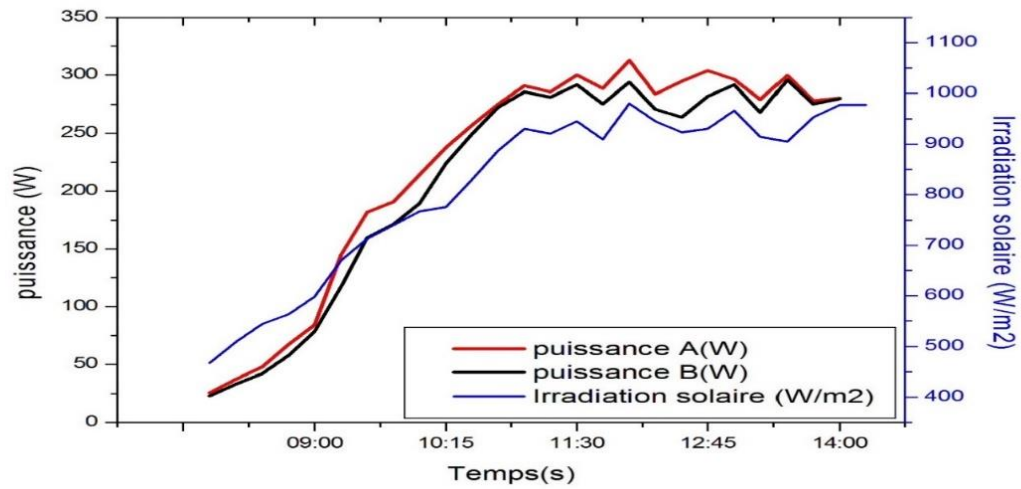


Figure III.13 : Variation du rayonnement solaire et changement de puissance des panneaux A et B en fonction du temps de test 4.

❖ **Quatrième série de test (Après 2 semaines 16/05/2023)**

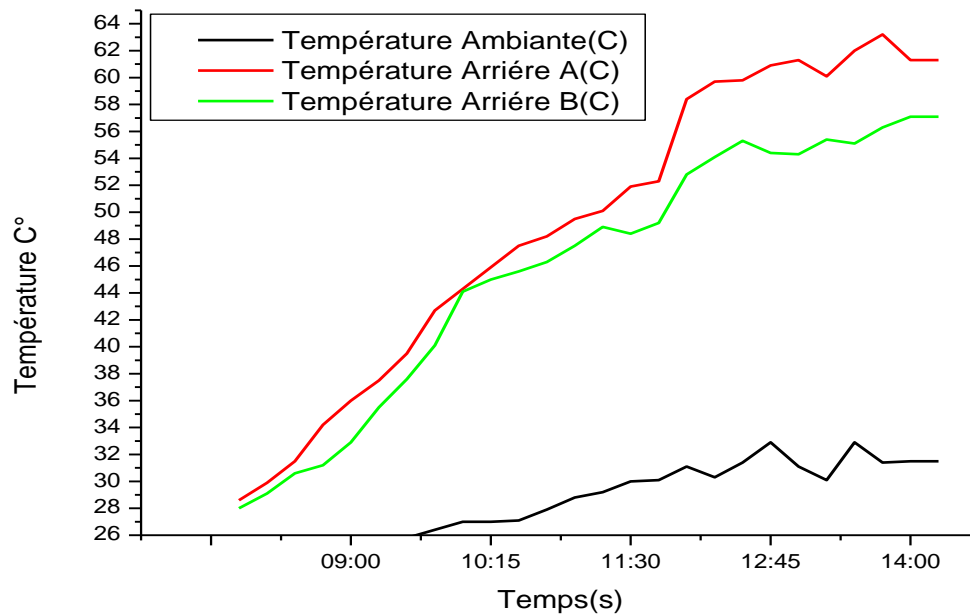


Figure III.14 : Variation des températures arrière A, B, ambiante et en fonction de temps test 4.

❖ Cinquième série de test (Après un mois 30/05/2023)

Dans cette série, les figures III.15 et III.16 illustrent respectivement la variation puissance des deux panneaux A et B en fonction du temps et la variation des valeurs températures arrière A, B, ambiante et irradiation solaire en fonction de temps.

On note une différence remarquable des valeurs de puissance entre le panneau A par rapport aux B qui est resté sans nettoyage plus de un mois.

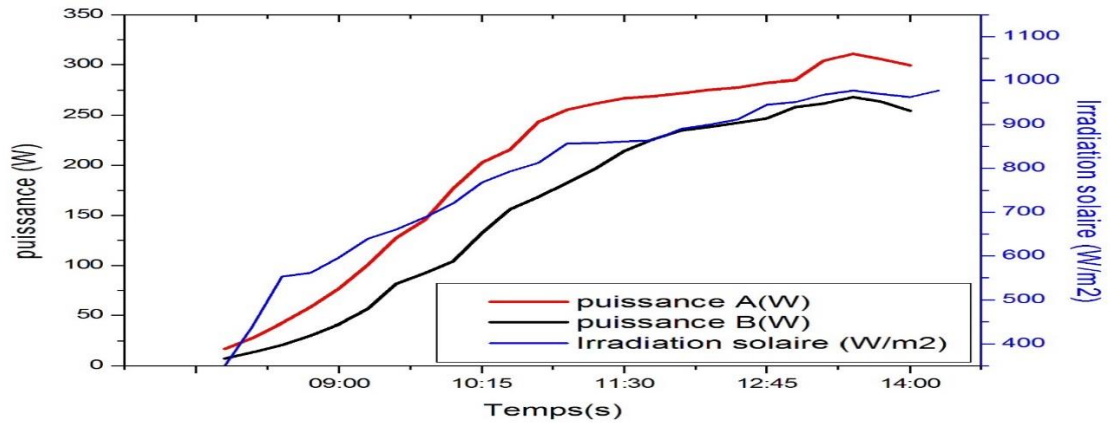


Figure III.15 : Variation du rayonnement solaire et changement de puissance des panneaux A et B en fonction du temps de test 5.

❖ Cinquième série de test (Après un mois 30/05/2023)

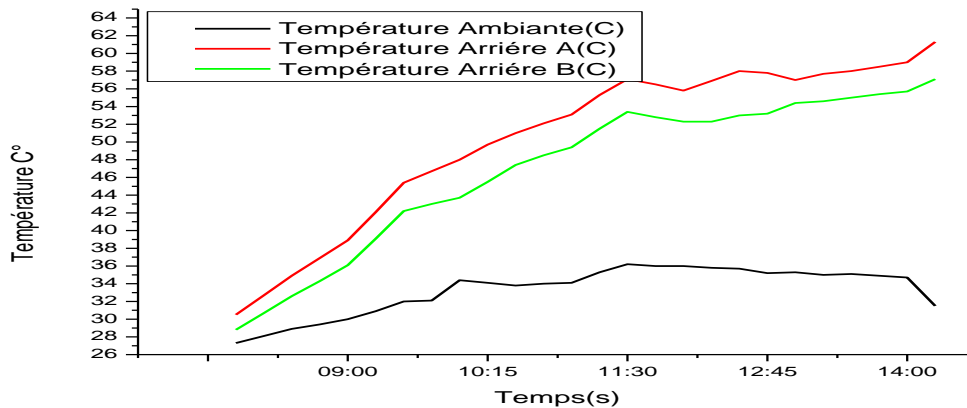


Figure III.16 : Variation des valeurs températures arrière A, B, ambiante et en fonction de temps test 5.

❖ **Sixième série de test (10/06/2023):** Exposition de module B à la poussière 40 jours.

La variation de puissance des panneaux A et B en fonction de temps, la variation des températures arrières A et B la température ambiante, irradiation solaire en fonction du temps sont illustrés respectivement dans les figures III.17 et III.18.

Dans cette série de test on remarque la grande différence dans les valeurs de puissance entre le panneau A et le panneau B après 40 jours d'exposition par rapport aux d'autres séries. De ce fait, le phénomène d'accumulation de poussière affecte sur les performances des panneaux solaires, où l'accumulation de particules de poussière à la surface des panneaux photovoltaïques reflète une grande quantité de rayonnement solaire. Par conséquent, cette réduction de rayonnement solaire affectera à l'efficacité des systèmes photovoltaïques.

De plus dans toutes les séries, l'enregistrement des valeurs de températures arrière les plus élevées sont obtenus dans le panneau A parfaitement nettoyé, ce qui explique la nécessité de refroidir les panneaux pour avoir un meilleur rendement.

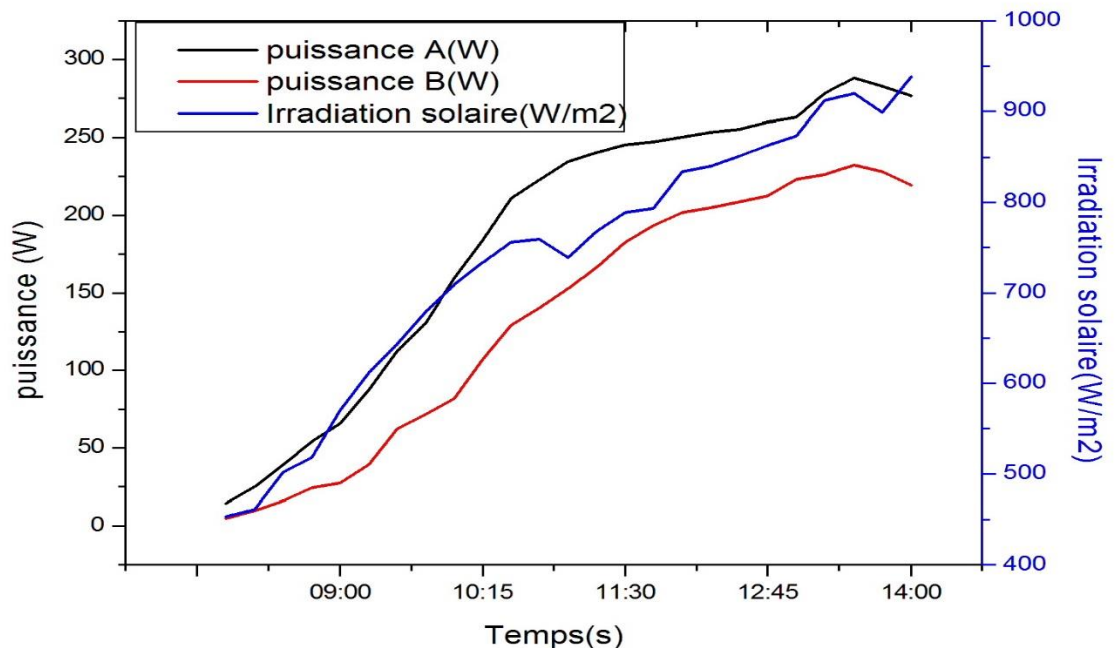


Figure III.17 : Variation du rayonnement solaire et changement de puissance des panneaux A et B en fonction du temps de test 6.

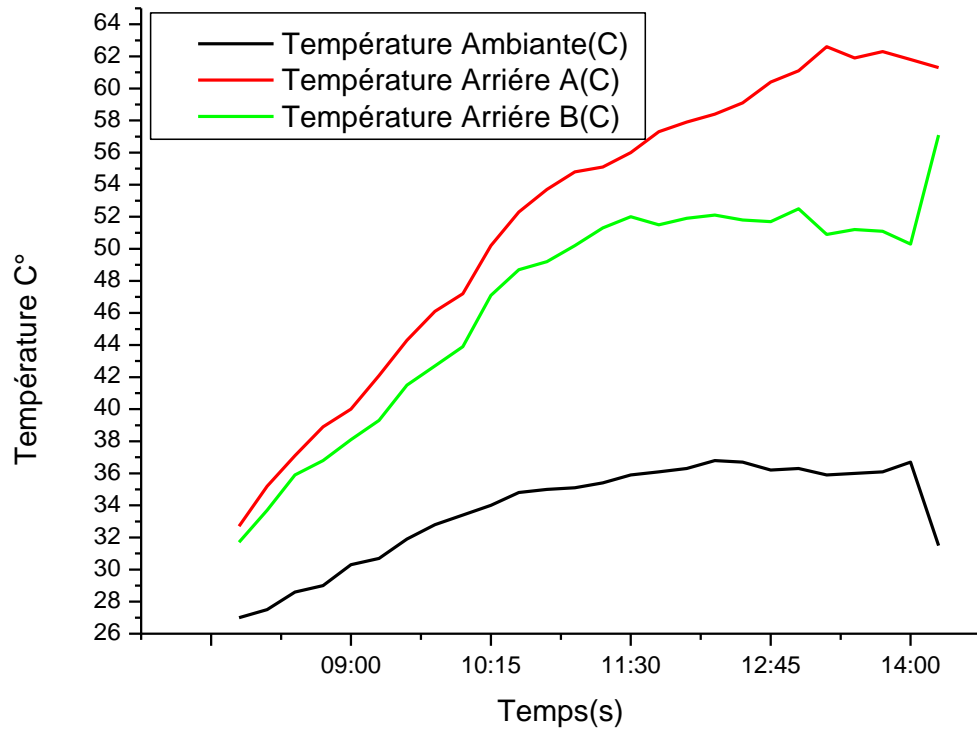


Figure III.18 : Variation des températures arrière A, B, ambiante et en fonction de temps test 6.

La figure III.19 illustre le pourcentage de réduction de puissance affecté par l'effet de poussière tout le long de la durée d'étude (3 jours, une semaine, 15 jours, un mois et 40 jours). Ce pourcentage a été calculé à partir des valeurs d'irradiation solaire qui varient entre 930 et 935 W/m^2 avec des valeurs des températures ambiantes de 32.4 et 35.2 C.

Les résultats montrent une énorme réduction de puissance de l'ordre 18.68% après 40 jours d'exposition. Comme la poussière entraîne une diminution du rayonnement sur le module PV cela conduit à une détérioration ces performances et donc le pourcentage de pertes d'énergie augmente au fur et à mesure que la poussière précipitée augmente le long de la durée d'exposition aux conditions climatiques sans un nettoyage périodique.

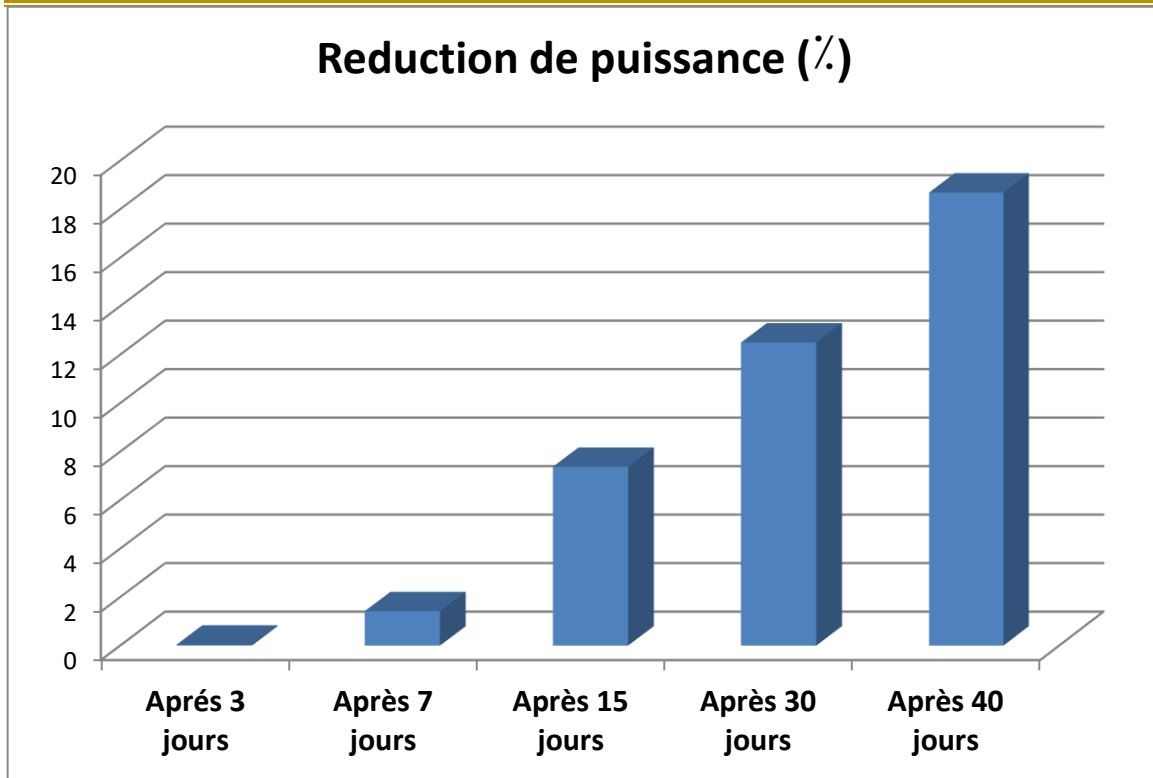


Figure III.19 : Pourcentage de réduction de puissance le long de durée d'étude.

III.4 CONCLUSION

En conclusion, au cours de notre étude expérimentale, on a constaté que la longue durée sans nettoyage a un effet négatif sur le rendement des panneaux photovoltaïques. Par conséquent, il faut nettoyer les panneaux solaires périodiquement (la période optimale dépend de la région d'installation des panneaux), et directement après les tempêtes poussiéreuses. De plus il est nécessaire de refroidir les panneaux pour augmenter leurs performances plutôt que les seulement nettoyer .

CONCLUSION GENERALE

La demande en énergie électrique ne cesse de croître de manière exponentielle par rapport à la durée de vie des énergies fossiles qui est relativement courte. Dans ce contexte, le programme Algérien des énergies renouvelables recommande une insertion des énergies renouvelables à travers les filières photovoltaïque, thermique et éolien. Les systèmes photovoltaïques portent relativement beaucoup d'avantage (gisement infini) soit pour l'électrification des sites isolés ou pour d'autres applications. Néanmoins, les conditions climatiques du désert posent la problématique de l'effet des hautes températures et du vent de sable sur le rendement énergétique dans ce type de système.

Le but principal de ce travail est l'étude expérimentale de l'effet de poussière sur les modules PV de type monocristallin de 390W. Pour cela, une comparaison a été faite sur deux panneaux dont un est parfaitement propre, le deuxième est resté sans nettoyage.

Les résultats montrent que l'accumulation de poussière affecte négativement sur la puissance générée par le module PV, La performance de panneaux diminue progressivement avec le temps de l'exposition à la poussière (la chute de puissance de 0.039%, 1.41%, 7.37 %, 12.45% et 18.68% pour respectivement 3 jours, une semaine, 15 jours, un mois et 40 jours d'exposition). De plus, le panneau solaire bien nettoyé a toujours la température arrière la plus élevée par rapport à l'autre, Il est donc nécessaire de refroidir les panneaux pour augmenter ses performances.

Malgré les résultats expérimentaux obtenus dans ce travail, on n'a pas pu déterminer la méthode appropriée pour le nettoyage des panneaux solaires photovoltaïques vu que la partie expérimentale a été réalisée dans une période très courte. Cependant cela nécessite une poursuite des études expérimentales tout au long de l'année afin de déterminer les périodes d'accumulation de poussières.

Reference

- [01] <https://www.enerdata.fr/system/files/publications/global-energy-climate-trends-2022-edition.pdf> Consulté le 6 juin 2023.
- [02] <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html> Consulté le 6 juin 2023.
- [03] Petroleum, B. (2021). Full Report—Statistical Review of World Energy 2021. British Petroleum : London, UK, 1-70.
- [04] https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/bilan_energetique_2021_63df78f2b775e.pdf Consulté le 6 juin 2023.
- [05] <https://www.aps.dz/economie/144368-enr-567-mw-de-capacite-totale-installee-au-niveau-national-a-fin-2021> , Consulté le 6 juin 2023.
- [06] <https://www.interieur.gov.dz/images/Projets-raliss-dans-le-cadre-du-programe-national-des-nergies-renouvelables-.pdf> , Consulté le 17 juin 2023.
- [07]. Alva G, Lin Y, Fang G (2017) An overview of thermal energy storage systems. Energy 144:341–378. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.037>.
- [08]. H. Qasem, T.R. Bett, H. Müllejans, H. AlBusairi, R. Gottschal, Dust effect on PV modules, Conference paper 6-8 April, 2011, Proceeding number. PVSAT-7 061.
- [09]. IBRAHIM, Mohamed, et tout. Advanced Photovoltaic test park in Egypt for investigating the performance of different module and cell technologies. In: Proceedings of the 24th Symposium Photovoltaic Solar Energy, Staffelstien, Germany. 2009.
- [10]. HUDEDMANI, Mallikarjun G., et tout. A comparative study of dust cleaning methods for the solar PV panels. Advanced Journal of Graduate Research, 2017
- [11]. Benjamin Figgis, Veronica Bermudez, Juan Lopez Garcia, Effect of cleaning robot’s moving shadow on PV string, Solar Energy Volume 254, 2023, Pages 1-7, DOI:10.1016/j.solener.2023.03.003.
- [12]. <http://xrp-solar.com/m/news/zixun/274492.html> Consulté le 16 juin 16/06/2023
- [13] <https://www.alaraby.co.uk/sites/default/files/media/images/BEA6B9E8-E000-4A86-AAD4-5BB4B084DB5B.jpg> Consulté le 16 juin 16/06/2023
- [14]. Siyuan Fan ,Wenshuo Liang ,Gong Wang ,Yanhui Zhang ,Shengxian Cao , A novel water-free cleaning robot for dust removal from distributed photovoltaic (PV) in water-scarce areas. Solar Energy Volume 241, 15 July 2022, Pages 553-563

- [15]. Al-Badra MZ, Abd-Elhady MS, Kandil HA. A novel technique for cleaning PV panels using antistatic coating with a mechanical vibrator. *Energy Rep* 2020; 6:1633–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egy.2020.06.020>
- [16] Sharaf, M., Yousef, M.S. & Huzayyin, A.S. Review of cooling techniques used to enhance the efficiency of photovoltaic power systems. *Environ Sci Pollut Res* **29**, 26131–26159 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18719-9>
- [17]. Shastry, D. M. C., & Arunachala, U. C. (2020). Thermal management of photovoltaic module with metal matrix embedded PCM. *Journal of Energy Storage*, 28, 101312.
- [18]. Abo-Elfadl, S., Yousef, M. S., & Hassan, H. (2021). Assessment of double-pass pin finned solar air heater at different air mass ratios via energy, exergy, economic, and environmental (4E) approaches. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 13776-13789.
- [19]. Hassan, H., Yousef, M. S., & Abo-Elfadl, S. (2021). Energy, exergy, economic and environmental assessment of double pass V-corrugated-perforated finned solar air heater at different air mass ratios. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43, 100936.
- [20]. ABDULMUNEM, Abdulmunem R., et tout. Enhancing PV Cell's electrical efficiency using phase change material with copper foam matrix and multi-walled carbon nanotubes as passive cooling method. *Renewable Energy*, 2020, 160 : 663-675.
- [21]. AMELIA, A. R., et tout. Cooling on photovoltaic panel using forced air convection induced by DC fan. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2016, 6.2: 526.
- [22]. Káiser, A.S., Zamora, B., 2013. Improving the electrical parameters of a photovoltaic panel by means of an.pdf 2013.
- [23]. Y. Tripanagnostopoulos, T.N. and M.S., 2001. Test results of air cooled modified Pv modules. *System* 2519–2522.
- [24]. SAJJAD, Uzair, et tout. Cost effective cooling of photovoltaic modules to improve efficiency. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2019, 14: 100420.
- [25]. KRAUTER, Stefan. Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels. *Solar energy materials and solar cells*, 2004, 82.1-2: 131-137.
- [26] ODEH, Saad; BEHNIA, Masud. Improving photovoltaic module efficiency using water cooling. *Heat Transfer Engineering*, 2009, 30.6: 499-505.

- [27] Ozgoren, M., Aksoy, M.H., Bakir, C., Dogan, S., 2013. Experimental performance investigation of photovoltaic/thermal (PV-T) system. EPJ Web Conf. 45 <https://doi.org/10.1051/epjconf/20134501106>
- [28] TEO, H. G.; LEE, P. S.; HAWLADER, M. N. A. An active cooling system for photovoltaic modules. *applied energy*, 2012, 90.1: 309-315.
- [29] TANAGNOSTOPOULOS, Y.; THEMELIS, P. Natural flow air cooled photovoltaics. In: *AIP Conference Proceedings*. American Institute of Physics, 2010. p. 1013-1018.
- [30] WILSON, Earle. Theoretical and operational thermal performance of a 'wet' crystalline silicon PV module under Jamaican conditions. *Renewable Energy*, 2009, 34.6: 1655-1660.
- [31] Mehrotra, S., Rawat, P., Debbarma, M., Sudhakar, K., 2014. Performance of a Solar Panel with Water Immersion Cooling Technique 3, 1161–1172
- [32] SHITTU, Samson, et tout. Comparative study of a concentrated photovoltaic-thermoelectric system with and without flat plate heat pipe. *Energy conversion and management*, 2019, 193: 1-14.
- [33] MAATALLAH, Taher; ZACHARIAH, Richu; AL-AMRI, Fahad Gallab. Exergo-economic analysis of a serpentine flow type water based photovoltaic thermal system with phase change material (PVT-PCM/water). *Solar Energy*, 2019, 193: 195-204.
- [34] Yousef, Mohamed S., and Hamdy Hassan. "Energy payback time, exergoeconomic and enviroeconomic analyses of using thermal energy storage system with a solar desalination system: An experimental study." *Journal of Cleaner Production* 270 (2020): 122082.
- [35] YOUSEF, Mohamed S. et HASSAN, Hamdy. An experimental work on the performance of single slope solar still incorporated with latent heat storage system in hot climate conditions. *Journal of cleaner production*, 2019, vol. 209, p. 1396-1410.
- [36] YOUSEF, Mohamed S. et HASSAN, Hamdy. Energetic and exergetic performance assessment of the inclusion of phase change materials (PCM) in a solar distillation system. *Energy conversion and management*, 2019, vol. 179, p. 349-361.
- [37] YOUSEF, Mohamed S., SHARAF, Mohamed, et HUZAYYIN, A. S. Energy, exergy, economic, and enviroeconomic assessment of a photovoltaic module incorporated with a paraffin-metal foam composite: An experimental study. *Energy*, 2022, vol. 238, p. 121807.

- [38] Ahmed Hussien , Abdelgalil Eltayesh , Hesham M. El-Batsh , Experimental and numerical investigation for PV cooling by forced convection , Alexandria Engineering Journal (2023) 64, 427–440 , 12 juin 2023
- [39] <https://arbyy.com/980997123.html> 04/06/2023

Résumé :

Le but principal de ce travail est l'étude expérimentale de l'effet de la poussière sur les performances des panneaux solaires photovoltaïques dans la région d'Ouargla. Pour cela une comparaison a été réalisée sur deux panneaux monocristallins neufs d'une puissance de 390 watts, l'un des deux est laissé exposé à la poussière tout au long des expériences, tandis que l'autre est parfaitement nettoyé à chaque expérience. Les résultats montrent que l'accumulation de poussière affecte négativement sur la puissance générée par le module PV, La performance de panneau diminue progressivement avec le temps de l'exposition à la poussière (la chute de puissance de 0.039%, 1.41%, 7.37 %, 12.45% et 18.68% pour 3 jours, une semaine, 15 jours, un mois et 40 jours d'exposition respectivement). De plus, le panneau solaire bien nettoyé a toujours la température supérieure par rapport à l'autre. Il est donc nécessaire de refroidir les panneaux pour augmenter leurs performances plutôt que les seulement nettoyer.

Mots clés : panneaux photovoltaïques, poussière, puissance, température.

الملخص

الغرض الأساسي من هذا العمل هو الدراسة التجريبية لتأثير الغبار على أداء الألواح الشمسية الكهروضوئية في منطقة ورقلة. لهذا تم إجراء مقارنة على لوحين من نوع احادي بلورة سيليسيوم بقوة 390 وات ، تُترك إحدى اللوحتين معرضة للغبار طوال التجارب ، بينما يتم تنظيف الأخرى جيدا في كل تجربة. أظهرت النتائج أن تراكم الغبار يؤثر سلبًا على الطاقة المولدة من اللوح الشمسي ، حيث ينخفض أداء الألواح تدريجياً مع وقت التعرض للغبار (انخفاض الطاقة بنسبة 0.039 % ، 1.41 % ، 7.37 % ، 12.45 % و 18.68 % لمدة 3 أيام أسبوع واحد، 15 يوماً، شهر و 40 يوماً من التعرض للغبار على التوالي). علاوة على ذلك تم تسجيل أعلى درجات حرارة في اللوح التنظيف لذلك تبريد الألواح مطلوب لزيادة جودتها بدلاً من تنظيفها فقط.

كلمات مفتاحية : الألواح الكهروضوئية ، الغبار ، الطاقة ، درجة الحرارة.

Abstract.

The main objective of the present study is to evaluate the effect of dust on the performance of photovoltaic solar panels in the Ouargla region. A comparison was performed on two new monocrystalline solar panels with a power of 390 watts for this purpose; one panel was left exposed to dust throughout the experiments, while the other was meticulously cleaned at each testing. The results show that the accumulation of dust has a negative impact on the power produced by PV modules. The performance of panels gradually decreases over time as results of dust exposure (power drops of 0.039%, 1.41%, 7.37%, 12.45% and 18.68% for exposures lasting three days, one week, fifteen days, one month, and forty days, respectively). Moreover, a clean PV module always has a greater temperature than a comparable module that is uniformly covered with dust. This presents a further issue because cooling the panels is required to increase their quality rather than just cleaning them.

Key words: photovoltaic panels, dust, power, temperature