

N° d'ordre :

N° de série :

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique**



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème

**ÉTUDE DE L'EFFET DES CHANGEMENTS DE
CONDITIONS OPERATIONNELLES SUR LES
PERFORMANCES DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES**

Devant le jury composé de :

Présenté par :

Dr. Youcef GUERFI

Président

Belkis MAHLOUS

Dr. Mokhtar GHODBANE

Encadreur

Latifa ZAHRI

Dr. Soulef LARGOT

Encadreur

Youcef TERCHA

Dr. Mohamed Laid ZENINA

Examineur

Dr. Bachir ZINE

Examineur

El-Oued (2022)

REMERCIEMENTS

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, Notre remerciement s'adresse à **Dr. Soulef LARGOT** pour son soutien moral et ses encouragements.

Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Dr. Mokhtar GHODBANE**. On le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa rigueur et sa disponibilité, son aide pratique durant notre préparation de ce mémoire.

Nous adressons également nos remerciements à tous les membres du comité de discussion, les honorables docteurs **Dr. Youcef GUERFI**, **Dr. Mohamed Laid ZENINA** et **Dr. Bachir ZINE**, qui ont bien voulu nous apporter leurs précieux conseils et observations visant à améliorer ce travail.

Nous tenons également à remercier **tous les membres de l'équipe de direction du Centre de Formation Professionnelle « Echahid CHADOU Elhachemi » à Reguiba** pour nous avoir accueillis dans leur institut et pour leur soutien en nous fournissant de nombreux appareils de mesure expérimentaux.

Notre remerciement s'adresse également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

MAHLOUS, ZAHRI & TERCHA

DEDICACE

Nous dédions ce travail à :

- ❖ A nos chers parents, source de vie, d'amour et d'affection.
- ❖ Pour nos frères et sœurs et leurs enfants, cela témoigne de l'amour, de la joie et du don qui nous unissent.
- ❖ Aux membres du corps professoral de l'Université d'El-Oued qui nous ont fourni une formation scientifique très importante.
- ❖ A tous ceux qui nous ont encouragés et conseillés.
- ❖ Pour ceux qui n'ont pas ménagé leur temps ou leurs connaissances pour répondre à nos questions.
- ❖ Pour ceux qui nous ont soutenu.
- ❖ A nos chers amis.
- ❖ A tous ceux qui nous ont accompagnés sur notre route universitaire.

MAHLOUS, ZAHRI & TERCH

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
DEDICACE	ii
TABLE DES MATIERES	iii
NOMENCLATURES	vi
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	ix
INTRODUCTION GENERALE	1
I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE	4
<i>I.1. Introduction</i>	<i>4</i>
<i>I.2. Bref sur les cellules photovoltaïques</i>	<i>5</i>
I.2.1. Historique de cellules photovoltaïques	5
I.2.2. L'interaction photon/semi-conducteur	5
I.2.3. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	7
I.2.4. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	9
I.2.5. Les filières technologiques d'une cellule photovoltaïque	10
(a) Le silicium	10
(i) Silicium monocristallin	11
(ii) Silicium polycristallin	11
(iii) Silicium en ruban autosupporté	12

(iv) Silicium en couches minces nanocristallin et amorphe	12
(b) Les cellules III-V multi-jonctions	12
(c) Cellules en couches minces	13
(i) Cellules à base de tellure de cadmium	13
(ii) Cellules à base de sélénure de cuivre indium	14
(d) Les cellules photovoltaïques organiques	15
)e(Silicium en couches minces nanocristallin et amorphe	16
I.2.6. Association des cellules	17
(a) Association en série	17
(b) Association en parallèle	18
I.3. Bref sur systèmes photovoltaïques	19
I.3.1. Types d'un système solaire photovoltaïque	19
(a) Système autonome	19
(i) Système autonome sans batterie	19
(ii) Système autonome avec batterie	20
(b) Système hybride	20
I.4. Recherche bibliographique	21
I.5. Conclusion	24
II. DISPOSITIFS ET EQUIPEMENTS EXPERIMENTAUX	26
II.1. Introduction	26
II.2. Les matériel et les outils utilisés	27
II.2.1. Les panneaux solaires photovoltaïques	27
II.2.2. Support de panneau photovoltaïque	30

II.2.3. Résistance variable (charge résistive)	33
<i>II.3. Conclusion</i>	34
III. TRAVAUX EXPERIMENTAUX, RESULTATS ET DISCUSSIONS	35
<i>III.1. Introduction</i>	35
<i>III.2. Travaux expérimentaux</i>	36
III.2.1. Le premier travail expérimental	36
III.2.2. Le deuxième travail expérimental	38
III.2.3. Le troisième travail expérimental	41
III.2.4. Le quatrième travail expérimental	43
III.2.5. Cinquième travail expérimental	45
<i>III.3. Conclusion</i>	48
CONCLUSION GENERALE ET PROSPECTIVES	49
Références	51

NOMENCLATURES

I_{0bsc}	Densité de courant d'obscurité, (A/m ²)
I_{ph}	Densité de courant photogénéré, (A/m ²)
I_{cc}	Courant de court-circuit, (A)
I_m	Courant à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule photovoltaïque, (A)
P_i	Puissance d'éclairement reçue par unité de surface, (W/m ²)
V_{co}	Tension en circuit ouvert, (V)
FF	Facteur de forme
I_{ccNp}	La somme des courants de court-circuit de (N_p) cellules en parallèle, (A)
I_{ccNs}	Courant de court-circuit de N_s cellules en série, (A)
I_s	Courant de saturation de la diode, (A)
k	Constante de Boltzmann, ($1,380649 \times 10^{-23}$)
q	Charge élémentaire ($1,60217663 \times 10^{-19}$ C)
S	Surface de la cellule photovoltaïque (m ²)
SAM	System Advisor Model
T	Température (°C)
V_{coNp}	La tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle (V)
V_{coNs}	La somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série (V)
V_m	Tension à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule photovoltaïque (V)
V_m	Tension à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule photovoltaïque (V)
η	Rendement de conversion

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I. 1 : Transitions interbandes d'électrons dans un semi-conducteur. Le cas a) correspond à un semi-conducteur à gap direct, le cas b) à un gap indirect [41].	6
Figure I. 2 : Coefficient d'absorption du silicium et profondeur de pénétration des photons en fonction de la longueur d'onde.	7
Figure I. 3 : Structure (image gauche) diagramme de bande (image droite) de cellules photovoltaïques.	8
Figure I. 4 : Caractéristiques $I=(V)$ sous obscurité et sous éclairage d'une cellule photovoltaïque [42].	10
Figure I. 5 : Répartition des matériaux sur le marché mondial du photovoltaïque [43].	11
Figure I. 6 : Exemple de deux matériaux utilisés pour fabriquer une cellule photovoltaïque organique : Phényle-C-Butyric Acid Methyl ester (PCBM) comme accepteur et Poly(3-Hexyl) Thiophène (P3HT) comme donneur [50].	16
Figure I. 7 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de (Ns) cellules en séries.	18
Figure I. 8 : Caractéristiques d'un groupement de (Np) cellules en parallèle.	19
Figure I. 9 : Exemple d'un système PV autonome sans batterie.	20
Figure I. 10 : Exemple d'un système photovoltaïque hybride.	21

CHAPITRE II : DISPOSITIFS ET EQUIPEMENTS EXPERIMENTAUX

Figure II. 1 : La localisation de la commune de Rgaiba sur la carte de l'Algérie.	26
Figure II. 2 : Localisation de la commune de Reguiba dans la Wilaya d'El-Oued.	26
Figure II. 3 : Panneaux photovoltaïques de type " RAGGIE " avec différentes puissances [18].	27
Figure II. 4 : Les deux panneaux photovoltaïques sélectionnés pour des expériences pratiques (Modèle RG-M165W).	27
Figure II. 5 : Boîte de jonction pour les panneaux photovoltaïques sélectionnés.	28
Figure II. 6 : les caractéristiques des deux panneaux photovoltaïques sélectionnés.	30
Figure II. 7 : Dimensions et caractéristiques des supports fabriqués.	31

<i>Figure II. 8 : Exemples de montages différents pour les supports de panneaux photovoltaïques (changement d'angles d'inclinaison).....</i>	<i>32</i>
<i>Figure II. 9 : Support de panneau photovoltaïque en position verticale et horizontale.</i>	<i>32</i>
<i>Figure II. 10 : La résistance électrique utilisée.</i>	<i>33</i>
<i>Figure II. 11 : La multimètre électrique utilisé.....</i>	<i>34</i>

CHAPITRE III : TRAVAUX EXPERIMENTAUX, RESULTATS ET DISCUSSIONS

<i>Figure III. 1 : Quelques photos prises lors des travaux expérimentaux.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure III. 2 : Quelques images captées lors du premier travail expérimental.</i>	<i>37</i>
<i>Figure III. 3 : L'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps (Scénario N° 1).....</i>	<i>37</i>
<i>Figure III. 4 : L'évolution de la tension du courant en fonction du temps (Scénario N° 1).....</i>	<i>38</i>
<i>Figure III. 5 : Quelques images captées lors du second travail expérimental.</i>	<i>39</i>
<i>Figure III. 6 : L'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps (Scénario N° 2).....</i>	<i>40</i>
<i>Figure III. 7 : L'évolution de la tension du courant en fonction du temps (Scénario N° 2).....</i>	<i>40</i>
<i>Figure III. 8 : Quelques images captées lors du troisième travail expérimental.</i>	<i>41</i>
<i>Figure III. 9 : L'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps (Scénario N° 3).....</i>	<i>42</i>
<i>Figure III. 10 : L'évolution de la tension du courant en fonction du temps (Scénario N° 3)...</i>	<i>43</i>
<i>Figure III. 11 : Quelques images captées lors du quatrième travail expérimental.....</i>	<i>44</i>
<i>Figure III. 12 : L'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps (Scénario N° 4)...</i>	<i>44</i>
<i>Figure III. 13 : L'évolution de la tension du courant en fonction du temps (Scénario N° 4)...</i>	<i>45</i>
<i>Figure III. 14 : Quelques images captées lors du cinquième travail expérimental.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure III. 15 : L'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps (Scénario N° 5)...</i>	<i>46</i>
<i>Figure III. 16 : L'évolution de la tension du courant en fonction du temps (Scénario N° 5)...</i>	<i>47</i>

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I. 1 : <i>Une synthèse des recherches les plus importantes de la littérature sur la technologie photovoltaïque.</i>	22
---	----

CHAPITRE II : DISPOSITIFS ET EQUIPEMENTS EXPERIMENTAUX

Tableau II. 1 : <i>les caractéristiques techniques des cellules photovoltaïques de de type RG-P165W.</i>	29
--	----

INTRODUCTION GENERALE

La production d'énergie est un défi mondial important, car les besoins énergétiques des sociétés industrielles, des entreprises et des usages domestiques ne cessent d'augmenter. De plus, les pays, en particulier les pays en développement, ont besoin de plus en plus d'énergie pour mettre en œuvre leurs projets de développement. Actuellement dans le monde la principale source d'énergie est les énergies de source fossile, sachant que ces sources menacent directement l'environnement du fait des émissions de gaz à effet de serre qui en résultent et contribuent ainsi directement à la dégradation et à la pollution de l'environnement [1]. De plus, les sources d'énergie fossiles sont menacées d'épuisement, ce qui signifie que leur exploitation continue et excessive conduira à l'épuisement du stock de ressources naturelles.

Le monde entier recherche aujourd'hui des solutions alternatives dans l'espoir de vivre une période de transition durant laquelle il pourra passer des sources d'énergie fossiles (gaz, pétrole, etc.) à s'appuyer sur des sources plus permanentes et moins polluantes de l'environnement, représentées dans l'exploitation de diverses sources d'énergies renouvelables, où la plupart des pays du monde ont recommencé à adapter leurs sources d'énergie renouvelables (telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, l'énergie géométrique et l'énergie de la biomasse, etc.) en fonction de ses besoins énergétiques pour une utilisation dans les domaines industriels, domestiques et institutionnels de toutes sortes [2, 3]. Ainsi, chaque pays, y compris l'Algérie, recherche des sources d'énergie propres et permanentes auprès de Mère Nature, et tente de généraliser l'exploitation de ces sources propres sur l'ensemble du territoire national, en fonction de la disponibilité des conditions climatiques appropriées et de la quantité d'énergie demande dans ces endroits [4-19].

L'énergie solaire est la source la plus importante d'énergies renouvelables, car c'est la lumière et la chaleur émises par le soleil que l'homme exploite depuis l'Antiquité en utilisant un ensemble de méthodes technologiques en constante évolution. Les techniques d'utilisation de l'énergie solaire comprennent l'utilisation de l'énergie thermique du soleil, que ce soit pour le chauffage direct ou dans le cadre d'un processus de conversion mécanique pour le mouvement ou l'énergie électrique, ou pour générer de l'électricité par des phénomènes photovoltaïques à l'aide de panneaux photovoltaïques, en plus des conceptions architecturales qui dépendent de l'exploitation de l'énergie solaire, qui sont des techniques qui peuvent contribuer de manière

significative à résoudre certains des problèmes les plus urgents du monde aujourd'hui. Il existe de nombreux types de capteurs solaires, y compris les capteurs solaires plans, les concentrateurs solaires et les panneaux photovoltaïques [20, 21], où la recherche scientifique moderne cherche à améliorer les performances de ces capteurs de plusieurs manières, dont la plus importante est l'utilisation de fluides de travail contenant des nanoparticules [2, 3, 22-25]. Donc, la plupart des sources d'énergie renouvelables disponibles à la surface de la Terre sont attribuées au rayonnement solaire en plus des sources d'énergie secondaires (l'énergie éolienne, l'énergie des vagues, l'hydroélectricité et la biomasse, etc.). Il convient de noter que seule une petite partie de l'énergie solaire disponible a été utilisée dans la vie humaine. L'énergie électrique est générée à partir de l'énergie solaire par des générateurs thermiques (les centrales solaires pour produire de l'électricité qui dépendent des Réflecteurs Linéaires de Fresnel ou les Collecteurs cylindro-parabolique, etc.) ou des panneaux photovoltaïques [26-28]. Une fois l'énergie solaire convertie en énergie électrique, seule l'ingéniosité humaine contrôle ses utilisations [29-31]. D'autres applications qui dépendent de l'exploitation de l'énergie solaire sont le chauffage de l'eau [23, 24, 32-35], la climatisation [36-38], la distillation et le dessalement de l'eau, la cuisson, le séchage des fruits et légumes [39], etc.

Le sujet de ce travail porte sur la possibilité d'exploiter des panneaux photovoltaïques pour produire de l'électricité dans des zones désertiques comme la région d'El-Oued, qui est connue pour son secteur agricole, qui est l'un des secteurs qui consomment de l'électricité en très grande quantité, et d'ici l'idée de choisir ce sujet est venue. Ce travail sera expérimental, où deux panneaux photovoltaïques identiques seront sélectionnés, puis leurs caractéristiques seront comparées en fonction du changement des conditions de fonctionnement et des conditions climatiques, c'est-à-dire qu'il s'agira d'un panneau photovoltaïque comme un repère et que l'autre changera ses conditions de fonctionnement, alors la comparaison sera faite sur la base de l'intensité et la tension de l'électricité, c'est-à-dire que la puissance du panneau photovoltaïque. Cette étude permettra aux étudiants de :

- Mieux connaître les énergies renouvelables, notamment solaires ;
- En savoir plus sur l'électricité photovoltaïque ;
- Identifier et savoir raccorder un panneau photovoltaïque à un système ;

- Investigation de divers paramètres (conditions de fonctionnement ou météorologiques) qui réduisent les performances d'un panneau photovoltaïque ;
- Lier les connaissances acquises académiquement aux connaissances acquises expérimentalement.

Concernant le plan de travail suivi dans ce mémoire, il est le suivant :

- Introduction générale ;
- Chapitre N° 1 : il contient une recherche bibliographique sur les systèmes photovoltaïques ;
- Chapitre N° 2 : il est dédié à l'introduction de dispositifs et d'équipements expérimentaux
- Chapitre N° 3 : il a été consacré à la présentation des scénarios qui ont été menés au cours des travaux expérimentaux, à la présentation et à la discussion des résultats obtenus ;
- Conclusion générale.

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction

Le phénomène de production d'électricité à partir de la lumière a été découvert au début du 19e siècle, mais il n'a été appliqué qu'au milieu du 20e siècle. La première cellule photovoltaïque a été développée pour les programmes spatiaux aux États-Unis, où les cellules étaient peu nombreuses et chères. Le développement des cellules photovoltaïques comme source d'énergie a commencé dans les laboratoires des États-Unis d'Amérique au début des années soixante-dix du XXe siècle.

Les cellules photovoltaïques sont constituées de semi-conducteurs (principalement du silicium) qui sont compressés dans une tranche spécialement traitée pour former un champ électrique, positif à une extrémité et négatif à l'autre. Lorsque l'énergie lumineuse atteint la cellule, des électrons sont libérés des atomes du semi-conducteur. Pour simplifier le problème, les photons de la lumière solaire excitent les électrons à un état d'énergie plus élevé pour générer de l'électricité. Les électrons sont collectés sous la forme d'un courant électrique si des conducteurs électriques sont connectés aux extrémités négative et positive. Les cellules photovoltaïques doivent être protégées des éléments et sont généralement stockées sous une enceinte en verre. Lorsque plus d'énergie est nécessaire que la capacité d'une seule cellule, les cellules sont connectées électriquement pour former des panneaux photovoltaïques ou solaires. Et un panneau suffit pour alimenter un téléphone. Pour alimenter une usine ou une maison en électricité, un large éventail de panneaux photovoltaïques doit être créé. Le système photovoltaïque est constitué de cellules solaires connectées électriquement les unes aux autres pour former une unité de production d'énergie électrique. Les modules sont conçus pour fournir de l'énergie électrique à une certaine tension, généralement 12 volts. La quantité d'électricité générée dépend de la quantité de lumière tombant sur l'unité. Il est possible de former un ensemble de modules en les reliant entre eux. Les cellules photovoltaïques produisent un courant constant. Les cellules peuvent être connectées en série ou en parallèle pour produire le courant ou la tension souhaité.

Dans ce chapitre, la plupart des informations et données relatives au développement des cellules photovoltaïques, ainsi que des panneaux et systèmes photovoltaïques seront présentées et se concluront par une recherche récente dans la littérature.

I.2. Bref sur les cellules photovoltaïques

I.2.1. Historique de cellules photovoltaïques

La cellule photovoltaïque est l'un des composants les plus importants des panneaux photovoltaïques, car la cellule convertit la lumière du soleil et les photons qui y tombent en énergie électrique qui peut être utilisée pour faire fonctionner des charges électriques. Le développement de la technologie des cellules solaires est dû à un article de 1839 du physicien français Antoine César Becquerel, qui a observé l'effet photoélectrique en testant une électrode solide dans une solution d'électrolyte, car il a vu la tension se produire lorsque la lumière tombe sur l'électrode. Par la suite, la première véritable cellule solaire a été construite vers 1883 par Charles Frits, qui a utilisé des jonctions formées en superposant du sélénium (un semi-conducteur) avec une fine couche d'or. En plus, Albert Einstein expliqua le phénomène photoélectrique en 1912, mais il fallut attendre le début des années 50 pour sa mise en application pratique dans la réalisation d'une cellule PV en silicium d'un rendement de 4,5% [40]. En 1941, les cellules solaires au silicium ont été inventées par Russell Ohl avec une efficacité de conversion d'énergie inférieure à 1%. En 1954, trois chercheurs américains (Gerald Pearson, Calvin Fuller et Daryl Chapin) ont conçu une cellule solaire en silicium capable d'atteindre un rendement de conversion d'énergie de 6 % avec la lumière directe du soleil. Ils ont créé un réseau de plusieurs bandes de silicium (Chacun a la taille d'une lame de rasoir), et les a mis à la lumière du soleil, et a capturé les électrons libres et les a transformés en courant électrique, car ces trois inventeurs sont les premiers à fabriquer des panneaux photovoltaïques.

I.2.2. L'interaction photon/semi-conducteur

Selon N. Oleksiy [41], il existe deux types de transitions selon l'écart (gap) entre les bandes de valence et de conduction, qui représente une caractéristique fondamentale des semi-conducteurs.

- Quand le minimum de la bande de conduction et le maximum de la bande de valence coïncident dans l'espace des k , il s'agit d'un gap direct. Comme le montre

la figure I.1(a), les transitions inter bandes s'effectuent verticalement, et sont donc radiatives. Ceci illustre le fonctionnement des semi-conducteurs binaires III-V, tels que « GaAs et CdTe », beaucoup utilisés en optoélectronique.

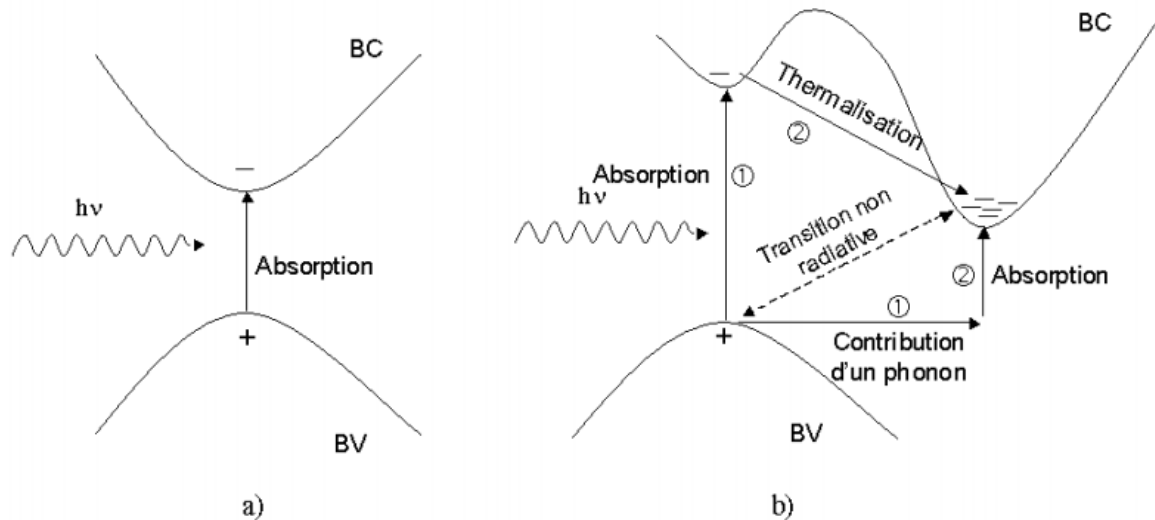


Figure I. 1 : *Transitions interbandes d'électrons dans un semi-conducteur. Le cas a) correspond à un semi-conducteur à gap direct, le cas b) à un gap indirect) [41].*

- La transition indirecte (comme le cas du silicium), les transitions électroniques entre les extrema des bandes sont obliques, donc non radiatives puisqu'elles impliquent un changement du vecteur d'onde de l'électron [41]. Donc, les électrons du sommet de la bande de valence peuvent toutefois être directement excités vers le minimum relatif central de la bande de conduction grâce à un photon de plus grande énergie. Pour que la transition s'effectue dans le gap indirect (Voir la Figure I.1(b)), il faut qu'un phonon soit au préalable absorbé (ou émis) par l'électron, afin que le vecteur d'onde de ce dernier corresponde au maximum de la bande de valence, pour absorber un photon. Notons que la valeur du gap indirect du silicium est de 1,12 eV à 300 K (ce qui correspond à une longueur d'onde de 1107 nm), mais celle du premier gap direct vaut 3,4 eV (soit 365 nm) [41].

Comme le montre la figure I.2 (cas du silicium), l'interaction entre les photons et un semi-conducteur se traduit par une caractéristique essentielle (le coefficient d'absorption) du matériau dans le domaine photovoltaïque. Il traduit le nombre de photons absorbés par unité

d'épaisseur du matériau en fonction de leur longueur d'onde, où a été constaté que pour des longueurs d'onde inférieures à 365 nm, la majorité des photons incidents sont absorbés dans les 100 premiers nanomètres du matériau [41]. L'interaction photon/électron au sein du semi-conducteur se traduit finalement par la génération d'une paire électron-trou, qui modifie localement la conductivité du matériau.

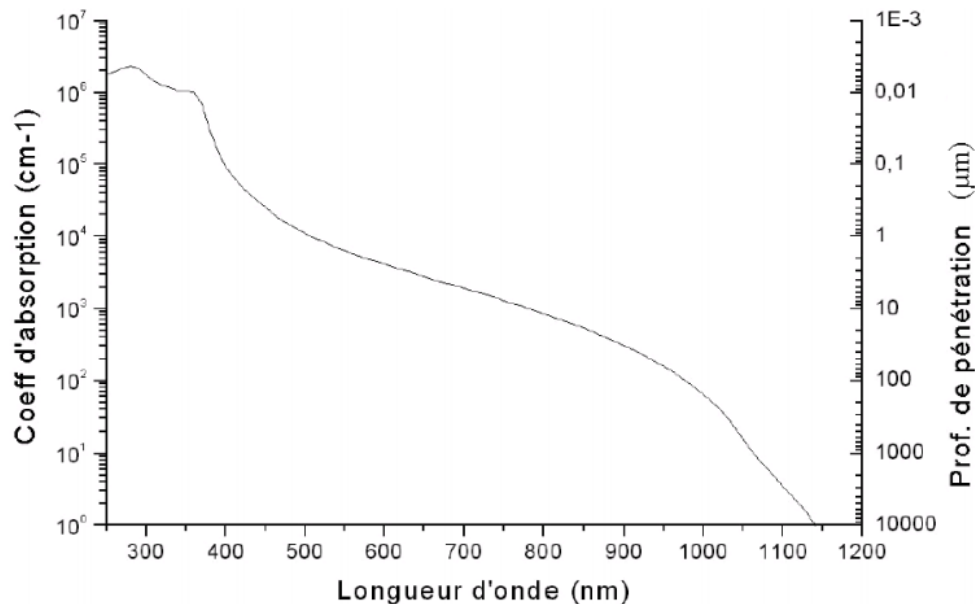


Figure I. 2 : Coefficient d'absorption du silicium et profondeur de pénétration des photons en fonction de la longueur d'onde.

I.2.3. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque permet la génération d'énergie électrique en convertissant la lumière du rayonnement solaire en électricité directe à l'aide de semi-conducteurs porteurs de l'effet photovoltaïque. Cette conversion repose sur trois mécanismes :

- Absorption des photons par le matériau constituant le dispositif ;
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création de paires électron/trou dans le matériau semi-conducteur ;
- Collecte des particules générées dans le dispositif.

Les matériaux qui composent les cellules photovoltaïques doivent avoir deux niveaux d'énergie et être suffisamment conducteurs pour permettre le passage du courant, d'où l'importance des semi-conducteurs dans l'industrie photovoltaïque.

Afin de collecter les particules générées, un champ électrique est nécessaire pour dissocier les paires électron/trou générées. A cet effet, les jonctions PN sont le plus souvent utilisées. D'autres structures telles que les hétérojonctions et les Schottky peuvent également être utilisées.

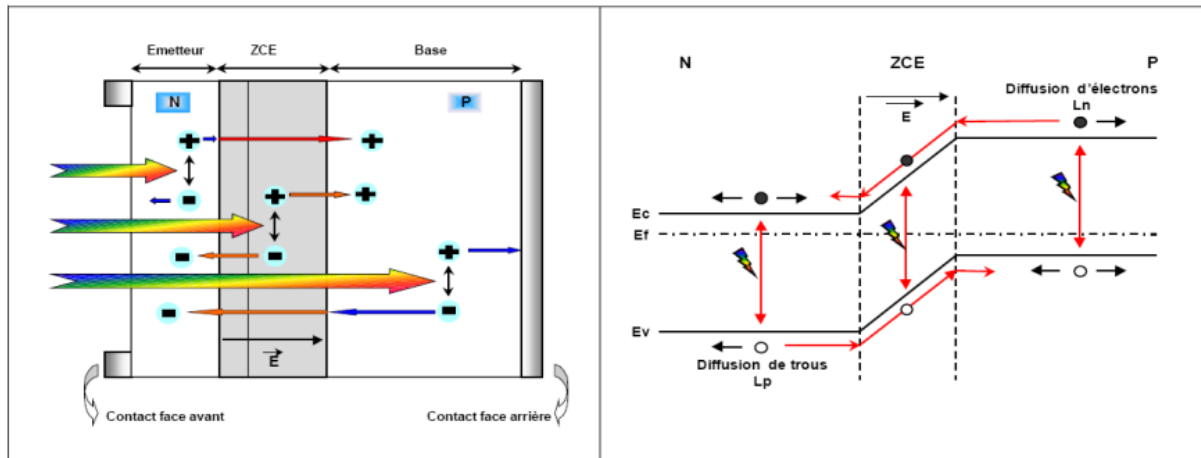


Figure I. 3 : Structure (image gauche) diagramme de bande (image droite) de cellules photovoltaïques.

Les photons incidents créent des porteurs dans les zones n et p et dans la zone de charge d'espace. Les photos porteuses auront un comportement différent suivant la région :

- Photo courant de diffusion : dans la zone « n » ou « p », les porteurs minoritaires qui atteignent la zone de charge d'espace sont envoyés par le champ électrique dans la zone « p » (pour les trous) ou dans la zone « n » (pour les électrons) où ils seront majoritaires. On aura un photo courant de diffusion ;
- Photo courant de génération : dans la zone de charge d'espace, les paires électron/trou créées par les photons incidents sont dissociées par le champ électrique « p », où les électrons vont aller vers la région « n » et les trous vers la région « p ».

Ces deux contributions s'ajoutent pour donner un photo courant résultant (I_{ph}). C'est un courant de porteurs minoritaires. Il est proportionnel à l'intensité lumineuse.

I.2.4. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

Le courant délivré à une charge par une photovoltaïque photocellule éclairée est donné par l'équation (I.1).

$$I(V) = I_{ph} - I_{obs}(V) \quad (I.1)$$

Avec (I_{ph}) est le courant photogénéré et (I_{obs}) est le courant d'obscurité.

Pour une cellule photovoltaïque idéale, Le courant est calculé comme indiqué dans l'équation (I.2).

$$I(V) = I_{ph} - I_s (\exp(qV / kT) - 1) \quad (I.2)$$

Avec (I_s) est le courant de saturation de la diode, (q) est la charge élémentaire, (k) est la constante de Boltzmann et (T) est la température.

Comme le montre la figure I.4, dans une cellule photovoltaïque, il y a deux courants s'opposent (courant sous obscurité et courant sous éclairement). A partir de la caractéristique $I(V)$ de la cellule photovoltaïque, on déduit les paramètres électriques propres à la cellule et notamment :

- (I_{CC}) est courant de court-circuit en Volt (obtenu pour $V=0$) ;
- (V_{CO}) est la tension en circuit ouvert en Ampère (obtenue pour $I=0$) ;
- (I_m) est le courant à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule photovoltaïque en Ampère ;
- (V_m) est la tension à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule photovoltaïque en Volt ;
- (η) est le rendement de conversion ;
- (FF) est le facteur de la forme.

Quant au rendement (η), il représente le rapport entre la puissance électrique maximale fournie et la puissance solaire incidente.

$$\eta = \frac{V_m I_m}{P_i S} = \frac{FF V_{co} I_{cc}}{P_i S} \quad (I.3)$$

Avec (P_i) est la puissance d'éclairement reçue par unité de surface et (S) d'une cellule photovoltaïque.

Quant au facteur de la forma (FF), il représente le rapport entre la puissance maximale délivrée sur la charge ($V_m I_m$) et le produit des coefficients ($V_{co} I_{cc}$).

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{co} I_{cc}} \quad (I.4)$$

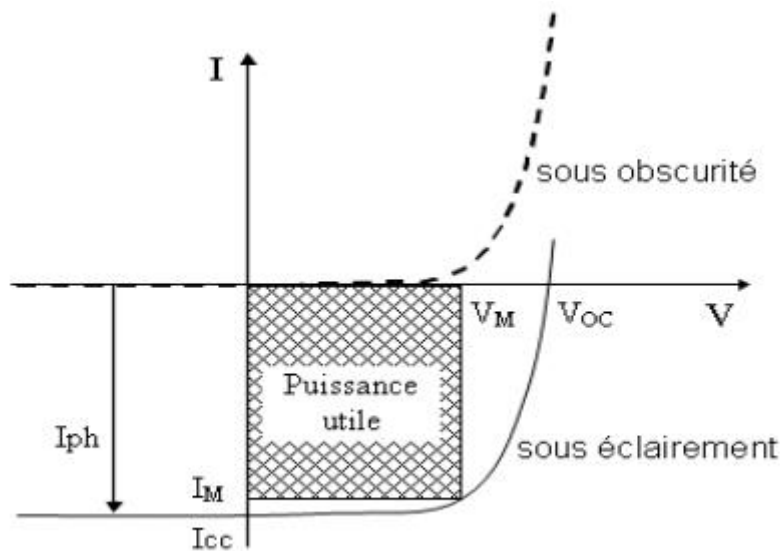


Figure I. 4 : Caractéristiques $I=(V)$ sous obscurité et sous éclairage d'une cellule photovoltaïque [42].

I.2.5. Les filières technologiques d'une cellule photovoltaïque

(a) Le silicium

La filière silicium représente actuellement 99% du marché des modules photovoltaïques comme le montre la Figure 1.5. Il est l'un des éléments les plus abondants sur Terre, parfaitement stable et non toxique. On trouve plusieurs technologies pour le photovoltaïque siliciums détaillés ci-après ; d'une part les cellules à base de silicium massif (monocristallin, polycristallin, rubans) dites de première génération, et qui constituent à l'heure actuelle

l'essentiel des modules photovoltaïques commercialisés et d'autre part la technologie à base de silicium en couche mince.

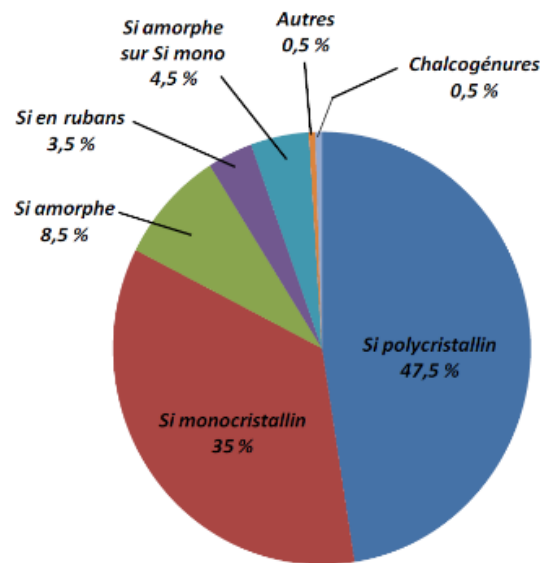


Figure I. 5 : Répartition des matériaux sur le marché mondial du photovoltaïque [43].

(i) Silicium monocristallin

Il existe deux méthodes par lesquelles il est possible d'obtenir du silicium monocristallin de qualité microélectronique, mais nécessitant cependant une dépense d'énergie considérable, proche du MWh [44]. Les siliciums obtenus sont appelés Cz (méthode Czochralski) et FZ (Float Zone), et permettent d'obtenir des rendements de conversion records en laboratoire, de l'ordre de 25 % pour des cellules de 4 cm² (Université de New South Wales, Australie) [42, 45], soit supérieurs de huit points à ceux de l'industrie. Les inconvénients de cette technologie sont les rendements faibles obtenus sous un faible éclairage et surtout le coût prohibitif de production des matériaux.

(ii) Silicium polycristallin

Le silicium polycristallin est produit par des techniques de croissance qui assurent la formation d'une structure colonnaire avec de gros cristaux (dénommé silicium multicristallin) afin de limiter les effets néfastes des joints de grains. Cependant, le matériau multicristallin est d'une part contrainte et disloquée, et d'autre part contaminé par des impuretés résiduelles de la matière première de silicium. Cette dernière est en partie constituée par des rebuts de l'industrie

de la microélectronique, c'est-à-dire le silicium monocristallin Cz ou FZ. Les rendements de conversion industriels, qui étaient de l'ordre de 8 à 10% avant 1980, sont actuellement de 16 à 17 % pour des grandes plaquettes de 200 cm² [42, 45]. Il s'agit de la technologie la plus représentée sur le marché du photovoltaïque car elle allie à la fois des rendements de conversion élevés avec un coût de production faible par rapport à la filière silicium monocristallin.

(iii) Silicium en ruban autosupporté

Les techniques de production de silicium cristallin en rubans autosupportés ont été très séduisantes sur le plan technologique. La plus connue est basée sur l'effet de capillarité entre deux lèvres de carbone. Ces rubans ont connu de nombreux développements au niveau de la recherche et, pour certains d'entre eux, jusqu'à la conception de chaînes de production préindustrielles. Cependant, la vitesse de croissance linéaire extrêmement lente (quelques cm/min) pousse les industriels à abandonner progressivement cette technologie. Les meilleurs rendements obtenus sont néanmoins de l'ordre de 15 % [45, 46].

(iv) Silicium en couches minces nanocristallin et amorphe

Depuis les années 1970, des recherches intensives ont été entreprises pour utiliser du silicium non cristallisé, c'est-à-dire à l'état amorphe. Ce sont les cellules des calculatrices ou des montres. Le silicium amorphe présente plusieurs avantages, en particulier son fonctionnement possible en intérieur sous faible éclairément contrairement au silicium cristallin, son fort coefficient d'absorption, sa faible consommation énergétique durant le cycle de production et son aptitude à être déposé sur des grandes surfaces (de l'ordre de 1 m²). Cependant, les cellules photovoltaïques à base de silicium amorphe présentent de faibles rendements (inférieurs à 10 % au niveau industriel) et une diminution assez rapide de leurs performances au cours du temps [43].

(b) Les cellules III-V multi-jonctions

Le marché des cellules MJ III-V est dominé par les cellules triple-jonction avec un coût de fabrication de l'ordre de 20 000 USD/m², soit environ 50 USD/Watt pour une efficacité de l'ordre de 40% sous concentration. Ce coût élevé provient de plusieurs facteurs, dont le coût élevé et la rareté de la matière première en matériaux III-V. Le coût du substrat (Ge ou GaAs dans ce cas) représente une fraction importante (>50%) du coût d'une cellule solaire. Autres facteurs contribuent, tels que les métallisations en or ou argent qui coûtent relativement cher,

ainsi que les limitations imposées par la vitesse de croissance par épitaxie. Pour cela, nous pouvons agir sur deux leviers en particulier pour baisser le coût des cellules MJ ; d'une part l'optimisation de la quantité de matière à utiliser et d'autre part l'amélioration des procédés de croissance.

En principe, la réutilisation de substrat est ainsi une approche prometteuse et consiste à réaliser la croissance d'une cellule sur un substrat III-V puis la détacher du substrat pour les apporter sur un autre substrat à bas coût comme le silicium. Ainsi, le substrat III-V peut être réutilisé pour réaliser d'autres croissances. Horowitz et al. Montrent qu'avec cinq réutilisations du substrat, le prix des MJ pourrait être divisé par quatre dans une approche moyen terme. L'empilement mécanique des cellules MJ sur un substrat de silicium apparaît comme une autre approche fiable dont l'objectif est de produire des cellules MJ III-V sur des substrats adaptés, mais moins coûteux. À long terme, les cellules MJ ont donc le potentiel de voir leur coût réduit possiblement d'une dizaine de fois. Malgré cela, leur coût par Watt ne leur permettrait pas d'être compétitives par rapport aux cellules standards à base de silicium. La concentration solaire, permettant de réduire la taille de la cellule, doit donc être utilisée [47].

(c) Cellules en couches minces

(i) Cellules à base de tellure de cadmium

Le photovoltaïque au tellure de cadmium (CdTe) est une technologie photovoltaïque (PV) basée sur l'utilisation du tellure de cadmium, une couche mince de semi-conducteurs conçue pour absorber et convertir la lumière solaire en électricité. Le tellure de cadmium PV est la seule technologie à couches minces à moindre coût que les cellules solaires conventionnelles à base de silicium cristallin dans les systèmes à plusieurs kilowatts. Sur la base du cycle de vie, le CdTe PV présente la plus faible empreinte carbone, la plus faible consommation d'eau et le plus court délai de récupération énergétique de toutes les technologies solaires. Le temps de retour énergétique de moins d'un an de CdTe permet des réductions de carbone plus rapides sans déficits énergétiques à court terme.

La toxicité du cadmium est une préoccupation environnementale atténuée par le recyclage des modules CdTe à la fin de leur durée de vie, même si des incertitudes subsistent et que l'opinion publique reste sceptique à l'égard de cette technologie. L'utilisation de matériaux rares peut également devenir un facteur limitant l'évolutivité industrielle de la technologie

CdTe à moyen terme. L'abondance du tellure – dont le tellure est la forme anionique – est comparable à celle du platine dans la croûte terrestre et contribue de manière significative au coût du module. Le photovoltaïque CdTe est utilisé dans certaines des plus grandes centrales photovoltaïques au monde, telles que la ferme solaire Topaz. Avec une part de 5,1% de la production photovoltaïque mondiale, la technologie CdTe représentait plus de la moitié du marché des couches minces en 2013. La société First Solar, basée à Tempe, en Arizona, est un important fabricant de technologie CdTe [48].

(ii) Cellules à base de sélénure de cuivre indium

Une cellule solaire en cuivre-indium-gallium-sélénure (ou cellule CIGS, parfois une cellule CI(G)S ou CIS) est une cellule solaire à couche mince utilisée pour convertir la lumière solaire en énergie électrique. Il est fabriqué en déposant une mince couche de cuivre, d'indium, de gallium et de sélénure sur un support en verre ou en plastique, ainsi que des électrodes à l'avant et à l'arrière pour recueillir le courant. Le matériau ayant un coefficient d'absorption élevé et absorbant fortement la lumière du soleil, un film beaucoup plus mince est nécessaire par rapport aux autres matériaux semi-conducteurs. CIGS est l'une des trois principales technologies PV à couche mince, les deux autres étant le tellure de cadmium et le silicium amorphe. Comme ces matériaux, les couches CIGS sont suffisamment minces pour être flexibles, leur permettant d'être déposées sur des substrats flexibles. Cependant, comme toutes ces technologies utilisent généralement des techniques de dépôt à haute température, les meilleures performances proviennent normalement des cellules déposées sur du verre, même si les avancées dans le dépôt à basse température des cellules CIGS ont effacé une grande partie de cette différence de performance. CIGS surpasse le silicium polycristallin au niveau de la cellule, mais l'efficacité de son module est encore inférieure, en raison d'une conversion ascendante moins mature.

La part de marché des films minces stagne autour de 15%, laissant le reste du marché PV aux cellules solaires conventionnelles en silicium cristallin. En 2013, la part de marché des seuls CIGS était d'environ 2% et toutes les technologies à couches minces combinées sont tombées en dessous de 10%. Les cellules CIGS continuent d'être développées, car elles promettent d'atteindre une efficacité similaire à celle du silicium, tout en maintenant leurs faibles coûts, comme c'est généralement le cas pour la technologie des couches minces. Les principaux fabricants de systèmes photovoltaïques CIGS étaient les sociétés maintenant en

faillite Nanosolar et Solyndra. Le leader actuel du marché est la société japonaise Solar Frontier, Global Solar et GSHK Solar qui produisent des modules solaires sans métaux lourds tels que le cadmium ou le plomb [49].

(d) Les cellules photovoltaïques organiques

La production d'électricité d'origine photovoltaïque pourrait se baser sur l'utilisation des matériaux organiques en complément du silicium. La fabrication des cellules photovoltaïques organiques nécessite une collaboration étroite entre les chimistes qui synthétisent les matériaux, les physiciens de l'état solide qui les caractérisent et les ingénieurs qui préparent les cellules et qui mesurent leurs propriétés.

Plusieurs raisons justifient l'utilisation des matériaux organiques pour la fabrication des cellules photovoltaïques. La plus importante se trouve dans les avantages particuliers de ces matériaux : ils peuvent être mis en forme facilement, par voie sèche (évaporation sous vide) ou par voie humide (Tournette, jet d'encre), avec des techniques simples, issues de l'industrie de la microélectronique. De plus, les quantités de matériaux utilisés sont relativement petites, les films ayant des épaisseurs de l'ordre de 100 nm. Enfin l'ingénierie moléculaire permet d'adapter les valeurs du gap et des niveaux d'énergie HOMO et LUMO. C'est pour cela que les recherches dans ce domaine sont très actives à travers le monde ; mais des problèmes restent à résoudre et ce type de cellule n'est pas encore commercialisé [50].

Une cellule Photovoltaïque Organique (OPV) est généralement fabriquée sur un substrat de verre recouvert d'ITO (couche mince – 150 nm – d'oxyde d'indium et d'étain possédant des bonnes propriétés de transparence dans le visible et de conductivité électrique). Ce substrat constitue l'anode du dispositif. Parfois, on remplace le verre par une feuille plastique souple recouverte également d'ITO. Les cellules ont des dimensions de quelques cm², ce qui est suffisant pour les caractériser. Elles mettent en œuvre deux types de matériaux organiques qui ont des électronégativités différentes. Le plus avide d'électrons est qualifié d'accepteur (A), l'autre, celui qui cède facilement ses charges négatives, est appelé donneur (D). C'est une différence avec les cellules en silicium. Il est d'usage de classer les matériaux selon leur masse molaire (M_w). Pour des valeurs de (M_w) élevées, on a des composés macromoléculaires (polymères), alors que pour des masses molaires plus petites, on les qualifie de matériaux moléculaires. Les polymères ne peuvent pas être déposés par évaporation sous vide. Un

exemple de matériaux accepteur (PCBM, matériau moléculaire) et donneur (P3HT, polymère) est donné sur la figure I.6 [50].

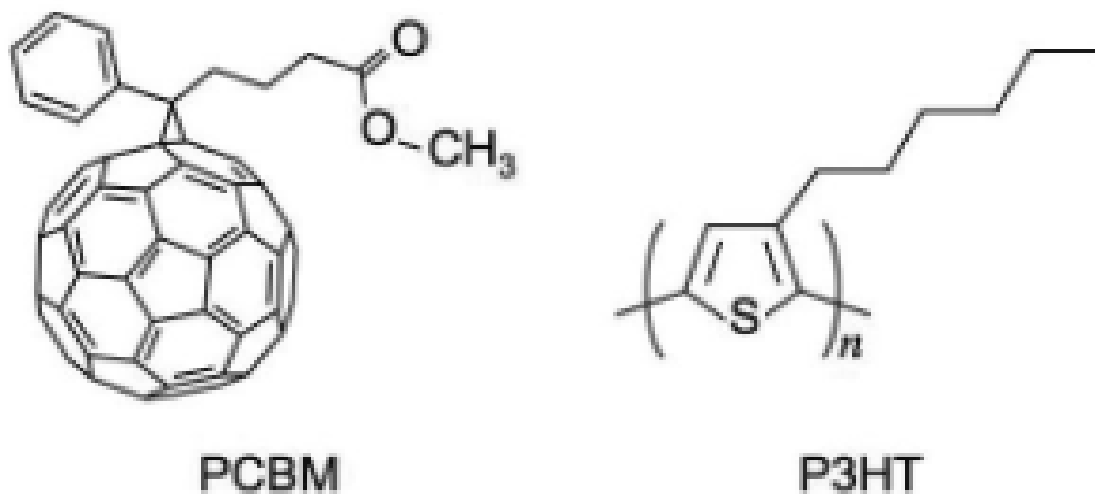


Figure I. 6 : Exemple de deux matériaux utilisés pour fabriquer une cellule photovoltaïque organique : Phényle-C-Butyric Acid Methyl ester (PCBM) comme accepteur et Poly(3-Hexyl) Thiophène (P3HT) comme donneur [50].

En 1978, les chercheurs de l'IBM Thomas J. Watson Research Center prévoyaient que les valeurs des rendements η des OPV pourraient dépasser les 1 %. Ce rendement n'a été atteint que 8 ans plus tard, en 1986. Jusqu'en l'an 2000, cette valeur a parfois été reproduite, mais elle n'a jamais été améliorée. Ce n'est que depuis le début du XXI^e siècle que le rendement a commencé à croître régulièrement, pour atteindre aujourd'hui les 6 %. Des modèles, basés sur les matériaux et les technologies actuellement utilisés, montrent qu'un rendement de 10 % est envisageable à moyen terme [50].

(e) Silicium en couches minces nanocristallin et amorphe

L'utilisation du silicium a été intensivement étudiée depuis les années 1970. Non cristallisé, c'est-à-dire à l'état amorphe. Ce sont les cellules de la calculatrice ou Regardez. Le silicium amorphe présente plusieurs avantages, notamment son fonctionnement. Contrairement au silicium cristallin, il peut être utilisé à l'intérieur en basse lumière, son fort coefficient d'absorption, sa faible consommation d'énergie pendant le cycle de production et il est capable de déposer sur de grandes surfaces (environ 1 mètre carré). Cependant, Les cellules

photovoltaïques à base de silicium amorphe (moins de 10% au niveau industriel) et leurs performances se dégradent assez rapidement dans le temps. L'avenir des couches de silicium amorphe pourrait connaître mariage avec le silicium cristallin. En effet, les hétérostructures à base de silicium amorphe/silicium cristallin (la structure HIT de Sanyo) a des rendements en laboratoire de plus de 16% et de 21% en production industrielle [51].

I.2.6. Association des cellules

(a) Association en série

Une association de (N_s) cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultante de groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule, un tel regroupement est représenté par la figure 1.7. L'équation (I.5) résume les caractéristiques électriques d'une association série de (N_s) cellules.

$$V_{CON_s} = N_s * V_{CO}; I_{CC} = I_{CCN_s} \quad (I.5)$$

Où (V_{CON_s}) est la somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série et (I_{CCN_s}) est le courant de court-circuit de N_s cellules en série.

Ce système d'association est généralement le plus communément utilisé pour les modules photovoltaïques du commerce. Comme la surface de cellules devient de plus en plus importante, le courant produit par une seule cellule augmente régulièrement au fur et à mesure de l'évolution technologique alors que sa tension reste toujours très faible. L'association série permet ainsi d'augmenter la tension de l'ensemble et donc d'accroître la puissance de l'ensemble [52].

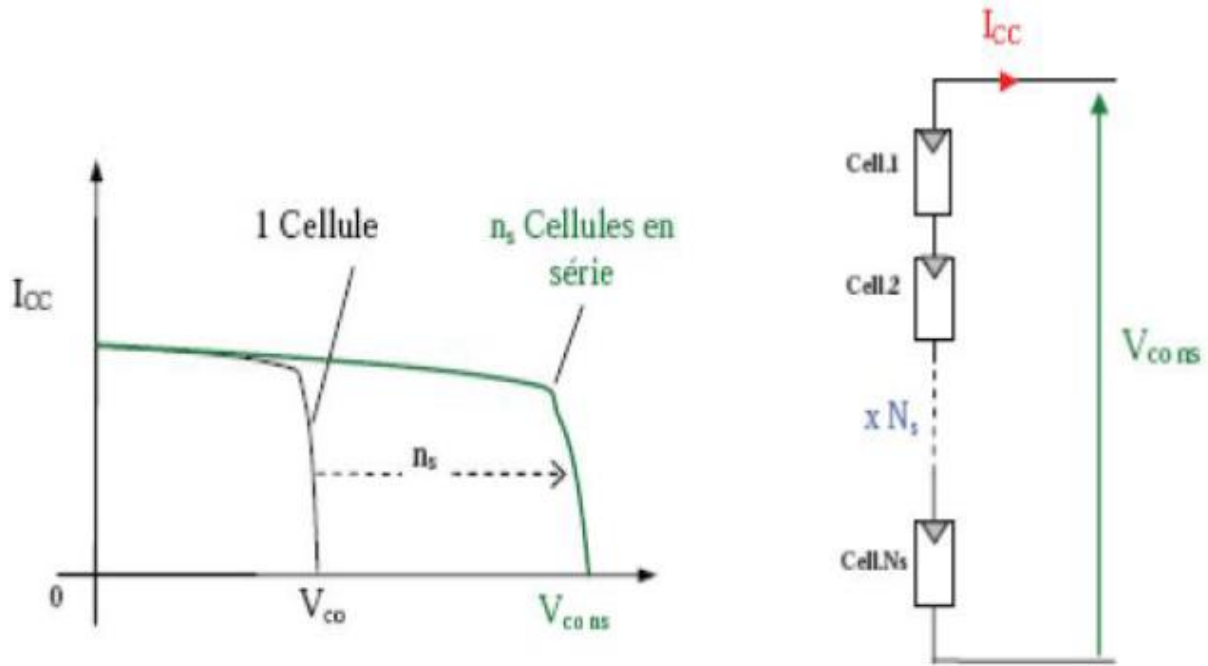


Figure I. 7 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de (N_s) cellules en séries.

(b) Association en parallèle

Une association parallèle de (N_p) cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créée. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants. L'équation (1.6) et la figure 1.8 résument les caractéristiques électriques d'une association parallèle de (N_p) cellules [53].

$$I_{CC_{N_P}} = N_P * I_{CC}; V_{CO} = V_{CO_{N_P}} \quad (I.6)$$

Avec ($I_{CC_{N_P}}$) est la somme des courants de court-circuit de (N_p) cellules en parallèle, et ($V_{CO_{N_P}}$) est la tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.

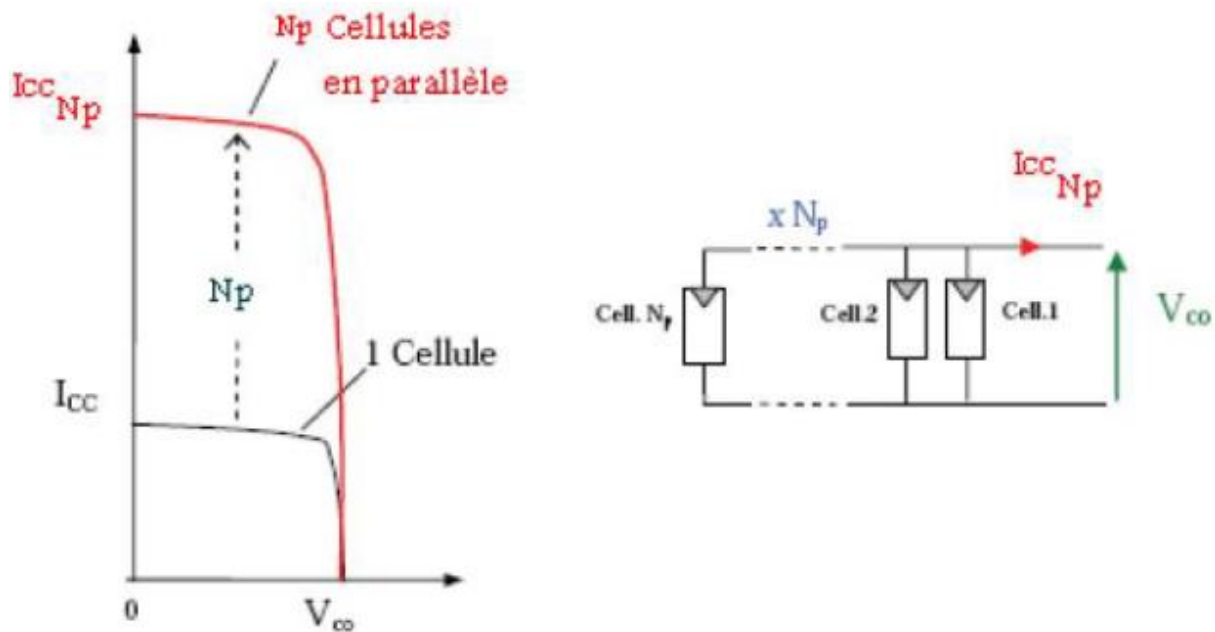


Figure I. 8 : Caractéristiques d'un groupement de (N_p) cellules en parallèle.

I.3. Bref sur systèmes photovoltaïques

Le système photovoltaïque est constitué par une source d'énergie (générateur photovoltaïque), une interface de puissance (les convertisseurs statique DC-DC et DC-AC avec un système de commande) et une charge.

I.3.1. Types d'un système solaire photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques sont actuellement divisés en trois catégories : Autonome, hybride et raccordé au réseau électrique.

(a) Système autonome

Le rôle des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés dans une zone isolée du réseau électrique. Les systèmes photovoltaïques autonomes sont actuellement divisés en deux types :

(i) Système autonome sans batterie

Ce type de système ne requiert pas de stockage d'électricité, soit parce que la production d'énergie des cellules est suffisante sous un faible éclairage (exemple : calculatrice), soit que le temps de fonctionnement de la charge n'est pas critique (Un exemple est le pompage

photovoltaïque pendant la journée pour faire fonctionner une pompe à eau pour remplir un réservoir, comme le montre la figure I.9).

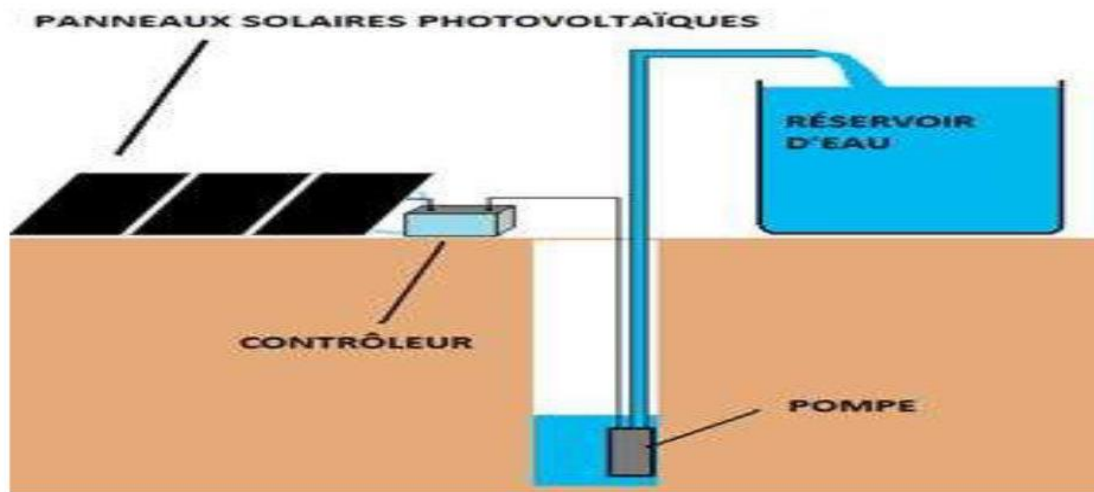


Figure I. 9 : Exemple d'un système PV autonome sans batterie.

(ii) Système autonome avec batterie

C'est le système photovoltaïque le plus commun. Le champ PV sert de chargeur pour la batterie. L'électricité peut alors être utilisée en tout temps. (Ex. l'éclairage d'une maison dans la nuit).

(b) Système hybride

Un système hybride à sources d'énergie renouvelables (SHSER) est un système électrique, comprenant plus d'une source d'énergie, parmi lesquelles une au moins est renouvelable. Ce type de système s'applique particulièrement bien à des sites éloignés où il est important d'avoir de l'électricité à tout moment, où les coûts de transport de carburant sont élevés où il n'est pas encore rentable d'utiliser le système photovoltaïque seul avec les batteries. Ils sont souvent utilisés pour de très nombreuses applications d'intérêt sensible et stratégique comme les relais de télécommunication, les postes frontaliers, l'habitat isolé, etc., hors réseau d'électricité conventionnelle [54].

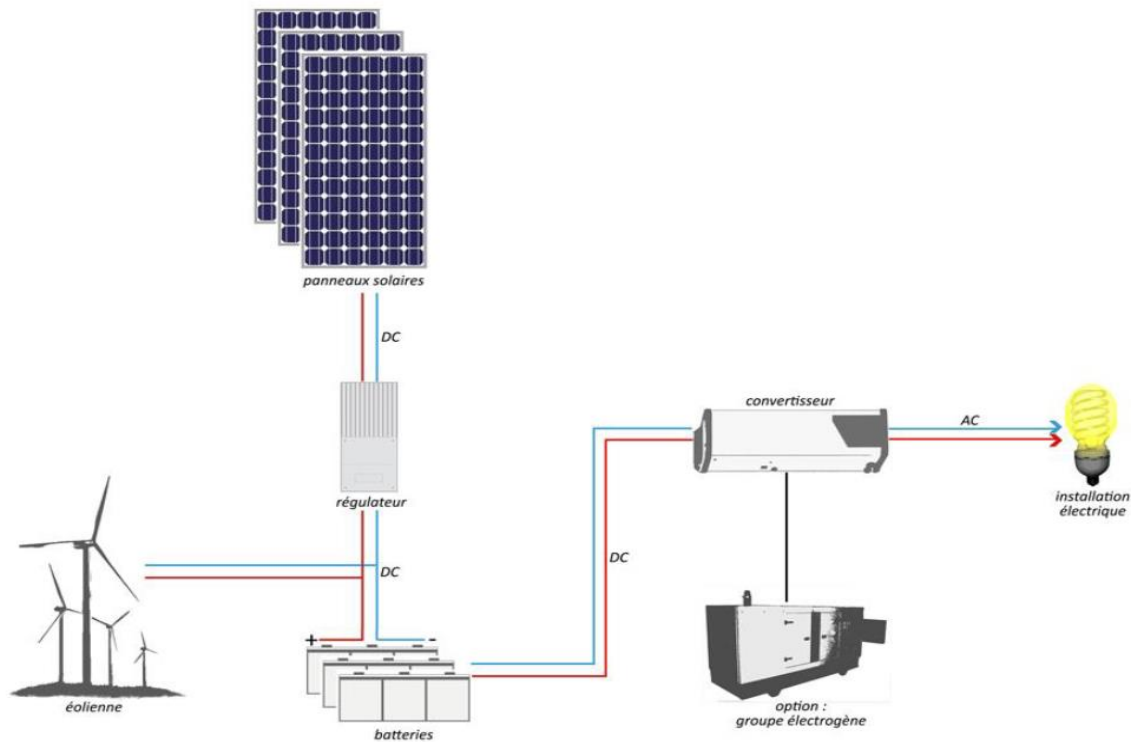


Figure I. 10 : Exemple d'un système photovoltaïque hybride.

I.4. Recherche bibliographique

Une cellule PV est un dispositif électronique spécialisé composé de semi-conducteurs qui convertit l'énergie lumineuse en énergie électrique à l'aide de divers phénomènes chimiques et physiques. Elle est également connue sous le nom de cellule solaire. La conversion d'énergie dans une cellule PV est appelée l'effet photoélectrique, qui a été découvert par le physicien français Edmond Becquerel en 1839. Les cellules PV n'ont eu d'application pratique dans la technologie des satellites que dans les années soixante du siècle dernier, et les panneaux solaires photovoltaïques (constitués d'unités de cellules) ont commencé à atteindre les toits à la fin des années quatre-vingt, et l'énergie photovoltaïque a considérablement augmenté depuis le début du XXI^e siècle, de lors de la construction d'immenses fermes solaires photovoltaïques. Comme mentionné dans la littérature, les cellules photovoltaïques sont utilisées dans les détecteurs infrarouges, les calculateurs d'intensité lumineuse, les ventilateurs solaires, les radiateurs solaires et les panneaux solaires pour produire de l'énergie électrique pour les maisons ou les bureaux. Un panneau solaire se compose de centaines ou de milliers de cellules photovoltaïques installées ensemble comme une énorme cellule unitaire. Le tableau 1 ci-dessous contient un

résumé des recherches scientifiques les plus importantes menées sur les systèmes photovoltaïques.

Tableau I. 1 : *Une synthèse des recherches les plus importantes de la littérature sur la technologie photovoltaïque.*

La référence et l'année	Résumé des travaux
Lujean et al. (2020) [55]	Ce travail aborde les fonctionnalités et les évolutions des différents types de collecteurs solaires, où il explique les dernières avancées technologiques dans ce domaine, notamment dans le cadre des différents types de panneaux solaires, à savoir les panneaux PVs, les collecteurs solaires thermiques, les panneaux photovoltaïques-thermiques (PV/T) et les collecteurs solaires à concentration.
Sampaio et al. (2018) [56]	L'objectif de ce travail est de déterminer l'évolution technologique des cellules photovoltaïques à travers l'analyse des brevets, où Les brevets sur les cellules photovoltaïques se concentrent dans le domaine des semi-conducteurs pour la conversion du rayonnement solaire en énergie électrique, dans le domaine des générateurs pour la conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique et dans le domaine des panneaux solaires adaptés aux structures de toit.
Pal et Mukherjee (2021) [57]	Ce travail a introduit un algorithme de suivi de point maximum basé sur la population pour surmonter les problèmes d'ombrage partiel dans la technologie solaire photovoltaïque, où l'algorithme proposé réduit le temps de suivi et améliore l'efficacité PV.
Liu et al. (2021) [58]	Ce travail présente une interface de récolte hybride thermoélectrique et photovoltaïque à un seul inducteur, où la technologie de multiplexage temporel est proposée pour récolter les sources à double énergie dans un cycle

	de fonctionnement, fournissant plus de puissance de charge dans un volume de système plus petit.
Bullich-Massagué et al. (2020) [59]	Ce travail est une revue de la littérature des technologies de stockage d'énergie pour les centrales photovoltaïques à grande échelle.
Gu et al. (2020) [60]	Ce travail est une revue de la littérature et contient un aperçu de la technologie photovoltaïque bifaciale (bPV).
Takyi et Laryea (2021) [61]	Ce travail est une comparaison des performances des technologies de modules solaires photovoltaïques installées dans le désert du Ghana et à la région de Kumasi exactement.
Zaite et al. (2021) [62]	Dans ce travail, l'amélioration des performances des cellules PV utilisant la technologie de refroidissement radiatif nocturne dans un panneau PV/T, où la méthode proposée permet de profiter du potentiel annuel du phénomène radiatif nocturne qui a permis d'économiser 18,49 kWh en tant que gain annuel d'énergie électrique
Miravet-Sánchez et al. (2022) [63]	Ce travail portait sur l'exploitation de la technologie solaire photovoltaïque dans les communautés rurales isolées d'Amérique latine et des Caraïbes, où cette technologie a contribué à réduire la propagation du dioxyde de carbone dans ces régions, ce qui signifie que l'exploitation des systèmes photovoltaïques est une excellente solution environnementale.
Wu et al. (2022) [64]	Cette étude propose un système de cellules photovoltaïques distribuées à faible coût et à haut rendement basé sur la technologie Internet des objets, qui est utilisé pour le suivi et la surveillance automatiques des groupes de cellules PV, réalise la conception intégrée et la production de ces systèmes.
Fernandez-Solas et al. (2021) [65]	Cette étude porte sur l'effet de la dégradation optique des performances spectrales de la technologie photovoltaïque, où cette étude comprenait une recherche de la littérature sur ce phénomène.

Lucchi et al. (2022) [66]	Cette étude a permis d'identifier les technologies photovoltaïques exploitées dans les bâtiments historiques et les zones protégées, sur la base du cadre législatif en Italie et en Suisse, où l'installation d'électricité photovoltaïque dans ces lieux permettra de réduire la consommation d'électricité.
Gharzi et al. (2020) [67]	Ce travail a permis d'identifier les techniques possibles permettant le refroidissement des modules photovoltaïques et photovoltaïques à concentration, car cette étude comprenait une recherche dans la littérature sur les aspects fondamentaux et thermiques, l'utilisation des nanotechnologies et l'amélioration des performances des systèmes photovoltaïques de toutes sortes.
Su et al. (2021) [68]	Ce travail consiste à utiliser les panneaux photovoltaïques-thermiques (PV/T) à concentration pour améliorer la production de biométhane en valorisant le biogaz dans la digestion anaérobie. L'analyse annuelle des performances indique que par rapport à la conception conventionnelle, la nouvelle conception permet d'économiser 2,6 % de consommation de gaz naturel, réduit de 48,38 % la quantité d'électricité du réseau électrique et augmente 86,08 % de la quantité de production de biométhane. En outre, la nouvelle conception peut fournir 829,4 MWh d'électricité au réseau électrique en un an. Cette recherche fournit une nouvelle façon d'utiliser le biogaz en l'intégrant aux technologies d'utilisation solaire.
Wu et al. (2022) [69]	Cette étude comprenait une revue de la littérature sur les techniques d'auto-nettoyage pour réduire l'accumulation de poussière et de glace sur les systèmes photovoltaïques en utilisant un revêtement hautement résistant à l'eau.

I.5. Conclusion

Ce chapitre a permis de consolider les connaissances sur la technologie photovoltaïque. Commenant par la définition des cellules photovoltaïques (principe de leur fonctionnement,

matériaux disponibles pour leur fabrication, etc.), puis le système photovoltaïque a été abordé (composants du système, capacité, usages, etc.), et ce chapitre se termine par une recherche approfondie dans la littérature sur la base de références récentes dans ce domaine.

CHAPITRE II : DISPOSITIFS ET EQUIPEMENTS EXPERIMENTAUX

II. DISPOSITIFS ET EQUIPEMENTS EXPERIMENTAUX

II.1. Introduction

Afin d'étudier l'effet des changements des conditions météorologiques et des conditions de fonctionnement sur les performances de deux panneaux photovoltaïques avec des caractéristiques de fabrication identiques (deux panneaux photovoltaïques avec les mêmes caractéristiques techniques ont été utilisés dans les expérimentations), de nombreuses expériences pratiques ont été menées sur deux panneaux photovoltaïques au niveau du Centre de Formation Professionnelle « Echahid CHADOU Elhachemi » à Reguiba (Coordonnées 33° 33' 51" Nord, 6° 42' 44" Est), Wilaya d'El Oued, Algérie. Ce deuxième chapitre abordera les étapes de préparation de ces expérimentations, notamment l'achat de systèmes photovoltaïques, la fabrication d'un support pour celui-ci, ainsi que la fourniture de instruments de mesure.



Figure II. 1 : *La localisation de la commune de Reguiba sur la carte de l'Algérie.*

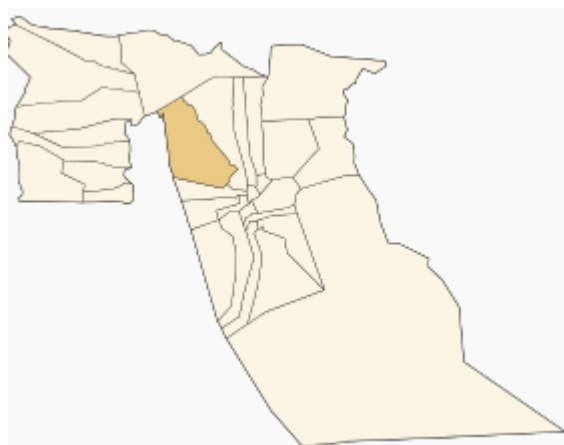


Figure II. 2 : *Localisation de la commune de Reguiba dans la Wilaya d'El-Oued.*

II.2. Les matériel et les outils utilisés

II.2.1. Les panneaux solaires photovoltaïques

Après les recherches qui ont été menées pour choisir le type de panneaux photovoltaïques, et après consultation de quelques spécialistes dans le domaine de l'électricité photovoltaïque, deux panneaux photovoltaïques de type RAGGIE (Voir la figure II.3) ont été sélectionnés, où les deux panneaux photovoltaïques sélectionnés ont les mêmes caractéristiques techniques et leur puissance était de 165 watts (Modèle RG-M165W).

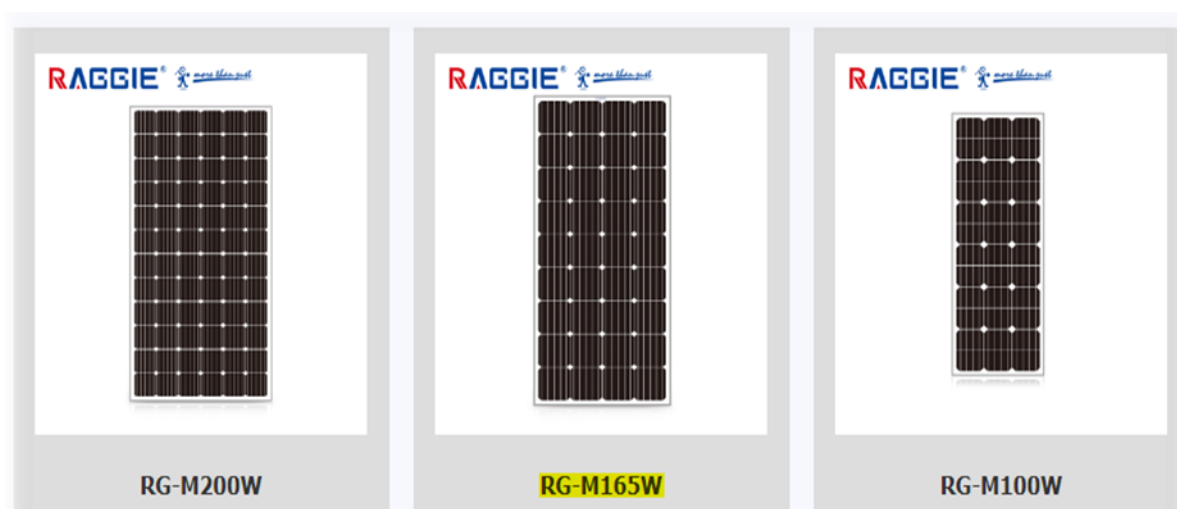


Figure II. 3 : *Panneaux photovoltaïques de type " RAGGIE " avec différentes puissances [18].*

La figure II.4 montre les dimensions et la capacité des deux panneaux photovoltaïques sélectionnés pour des expériences pratiques, et la figure II.5 montre les boîtes de jonction des panneaux PVs sélectionnés.



Figure II. 4 : *Les deux panneaux photovoltaïques sélectionnés pour des expériences pratiques (Modèle RG-M165W).*

Comme le montre la figure II.6, les caractéristiques des deux panneaux photovoltaïques sélectionnés sont les suivantes :

- Il a une faible dégradation (10% de l'énergie est perdue en 10 ans) ;
- Peut résister à une pression de vent élevée, à une charge de neige et à une température élevée ;
- Il a une efficacité de conversion élevée et stable pour assurer la plus haute qualité ;
- Il a une boîte de jonction IP 65 (particules complètes de protection de l'environnement et étanche);
- Garantie cinq (05) ans avec une durée de vie estimée à 25 ans ;
- Fabrication selon les normes et caractéristiques ISO 9001 [18].

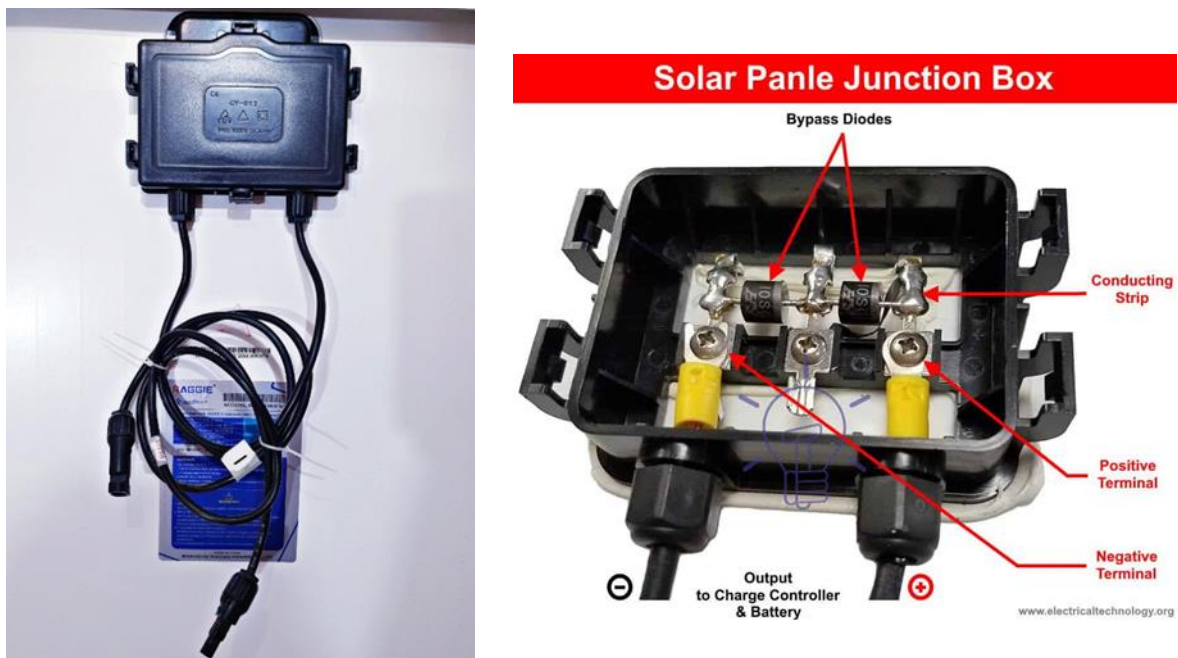


Figure II. 5 : Boîte de jonction pour les panneaux photovoltaïques sélectionnés.

Les panneaux PVs de type RG-P165W sont constitués de cellules en silicium polycristallin assemblées sur une seule carte de manière spécifique, où ils sont fabriqués selon des normes strictes et un contrôle de qualité élevé. Les panneaux PVs de type RG-P165W sont irradiés par la lumière du soleil et le rayonnement lumineux peut être directement ou indirectement converti en énergie électrique par des effets photoélectriques ou

photochimiques. Par rapport à la production d'électricité traditionnelle, la production d'énergie solaire est plus économe en énergie et plus respectueuse de l'environnement, et suit le concept de développement durable. Le tableau II.1 contient les caractéristiques techniques des cellules photovoltaïques de de type RG-P165W.

Tableau II. 1 : *les caractéristiques techniques des cellules photovoltaïques de de type RG-P165W.*

Item	Caractéristique
Nom du produit	RAGGIE 165W
Taille	1470x670x35mm
Tension maximale	17,7 V
Intensité maximale (courant)	9,43 A
Cellule solaire	Silicium polycristallin 156x156
Boîte de jonction	IP65
Connecteur	Connecteur compatible MC4

Les panneaux PVs en silicium polycristallin (de type RG-P165W) présentent les avantages d'une efficacité de conversion élevée et d'une longue durée de vie des cellules en silicium monocristallin, ainsi que des processus de préparation de matériaux relativement simples pour les cellules à couches minces en silicium amorphe. Le rendement de conversion est généralement légèrement inférieur à celui des cellules solaires mono silicium. Le problème de la dégradation de l'efficacité, et il est possible de préparer sur des matériaux de substrat peu coûteux, le coût est bien inférieur à celui des cellules en silicium monocristallin, et l'efficacité est supérieure à celle des cellules à couches minces en silicium amorphe. En plus, les cellules PV en silicium polycristallin sont préférées pour leurs matières premières

abondantes, leur faible coût, leur efficacité de conversion élevée et leur bonne stabilité. Ils occupent également la part principale du marché des cellules PV en ligne avec les besoins de la société.

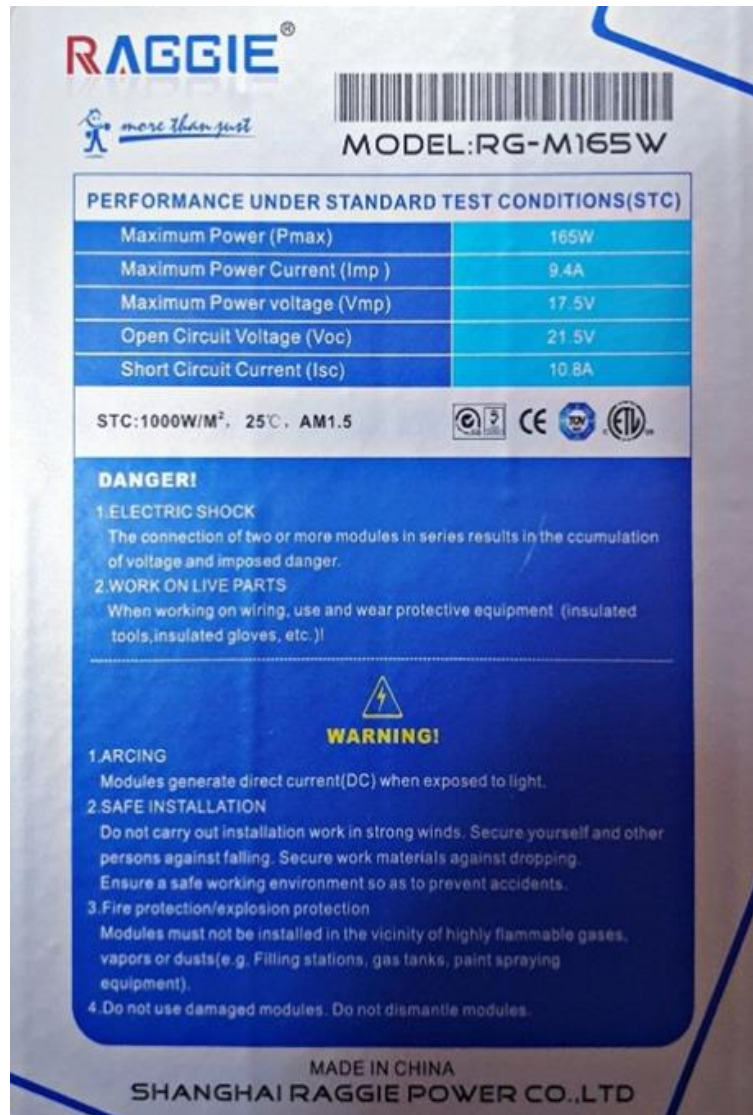


Figure II. 6 : les caractéristiques des deux panneaux photovoltaïques sélectionnés.

II.2.2. Support de panneau photovoltaïque

Lorsque les panneaux photovoltaïques ont été obtenus, le processus de fabrication des supports pour les panneaux solaires a commencé dans un atelier de soudage spécial, et ils ont été fabriqués de telle manière qu'ils pouvaient être changés et tournés à différents angles et dans différentes directions selon les exigences des expériences pratiques qui seront conduites ultérieurement, afin d'obtenir les résultats les plus précis possibles.



Figure II. 7 : Dimensions et caractéristiques des supports fabriqués.

Les caractéristiques du support de panneau photovoltaïque fabriqué sont :

- Suivi vertical : c'est la possibilité de modifier l'angle d'inclinaison du panneau photovoltaïque à des angles d'inclinaison appropriés pour permettre le suivi de l'angle d'élévation du soleil du lever au coucher du soleil (voir la figure II.8);
- Suivi horizontal : c'est la possibilité de suivre le mouvement du soleil d'Est en Ouest lors d'expériences pratiques à différents angles de rotation.

C'est-à-dire que le support de panneau photovoltaïque fabriqué se déplace avec un double système de suivi (vertical et horizontal).



Figure II. 8 : Exemples de montages différents pour les supports de panneaux photovoltaïques (changement d'angles d'inclinaison).

Les supports fabriqués permettent également de porter le panneau photovoltaïque en position verticale, ou en position horizontale transversale comme indiqué sur la figure II.9.

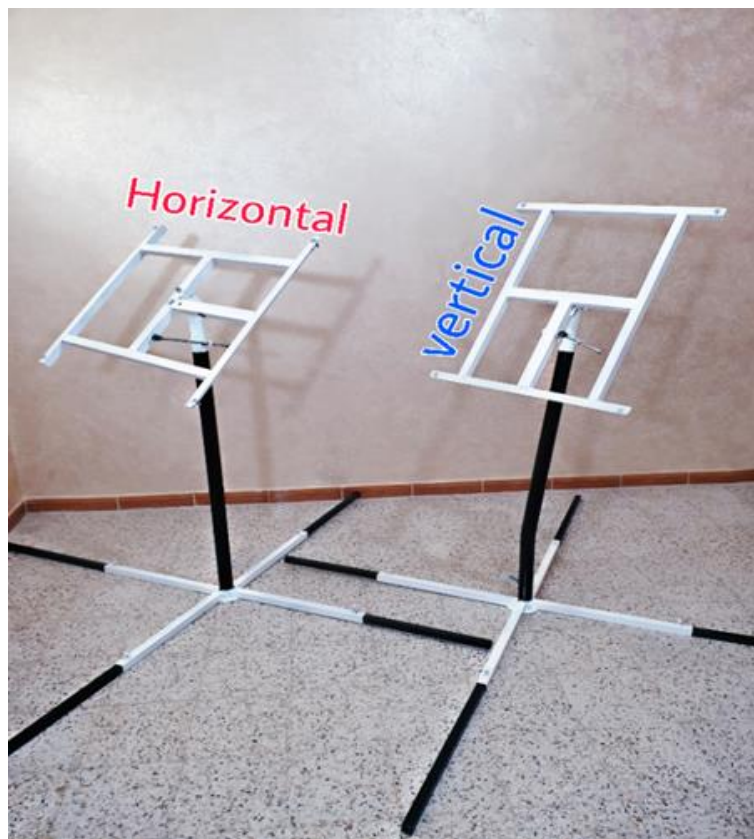


Figure II. 9 : Support de panneau photovoltaïque en position verticale et horizontale.

II.2.3. Résistance variable (charge résistive)

Afin de connaître la puissance des panneaux PVs étudiés, un circuit électrique a été constitué composé :

- D'un panneau photovoltaïque (voir la figure II.4);
- D'une résistance variable (charge résistive) (voir la figure II.10);
- D'un ampèremètre (un multimètre « matrice mx20 ») (voir la figure II.11);
- D'un voltmètre (un multimètre).



Figure II. 10 : La résistance électrique utilisée.

Les caractéristiques du multimètre utilisé sont :

- Gaine de protection très résistante avec fonction béquille/accrochage ;
- Affichage 4.000 pts rétroéclairé ;
- Barographe analogique rapide 42 segments, 20 mes/s ;
- Précision de base Vdc 0,3 % ;
- Mode DATA HOLD, test de diode, test de continuité sonore, mode REL ;
- Autonomie 500 h avec une pile 9 V ;
- Protection électrique élevée 1000 V/Cat. II - 600 V/Cat. III.



Figure II. 11 : La multimètre électrique utilisé.

II.3. Conclusion

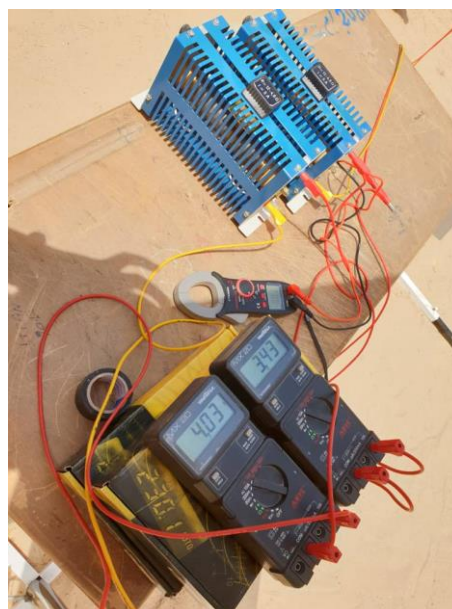
Ce chapitre contient des détails sur les préparatifs d'expériences pratiques (préparation des panneaux photovoltaïques, de leur support et de divers appareils de mesure), et dans le chapitre suivant, les étapes expérimentales seront présentées, ainsi que les résultats obtenus et leur discussion.

CHAPITRE III : TRAVAUX EXPERIMENTAUX, RESULTATS ET DISCUSSIONS

III. TRAVAUX EXPERIMENTAUX, RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, un ensemble d'expériences pratiques réalisées sur des panneaux photovoltaïques le 11 Mai 2022 au Centre de Formation Professionnelle de Reguiba sera présenté. Le travail expérimental qui a été mené consiste en cinq scénarios, le premier sera mené dans les mêmes conditions expérimentales pour les 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 quatre scénarios. Quant aux quatre scénarios restants, ils seront menés dans des conditions d'exploitation différentes. Il est à noter que le panneau photovoltaïque spécifique sera désigné par le PV n°1, tandis que le deuxième panneau photovoltaïque variable sera désignée par le PV n°2. La figure III.1 montre quelques photos qui ont été prises pendant les travaux expérimentaux.



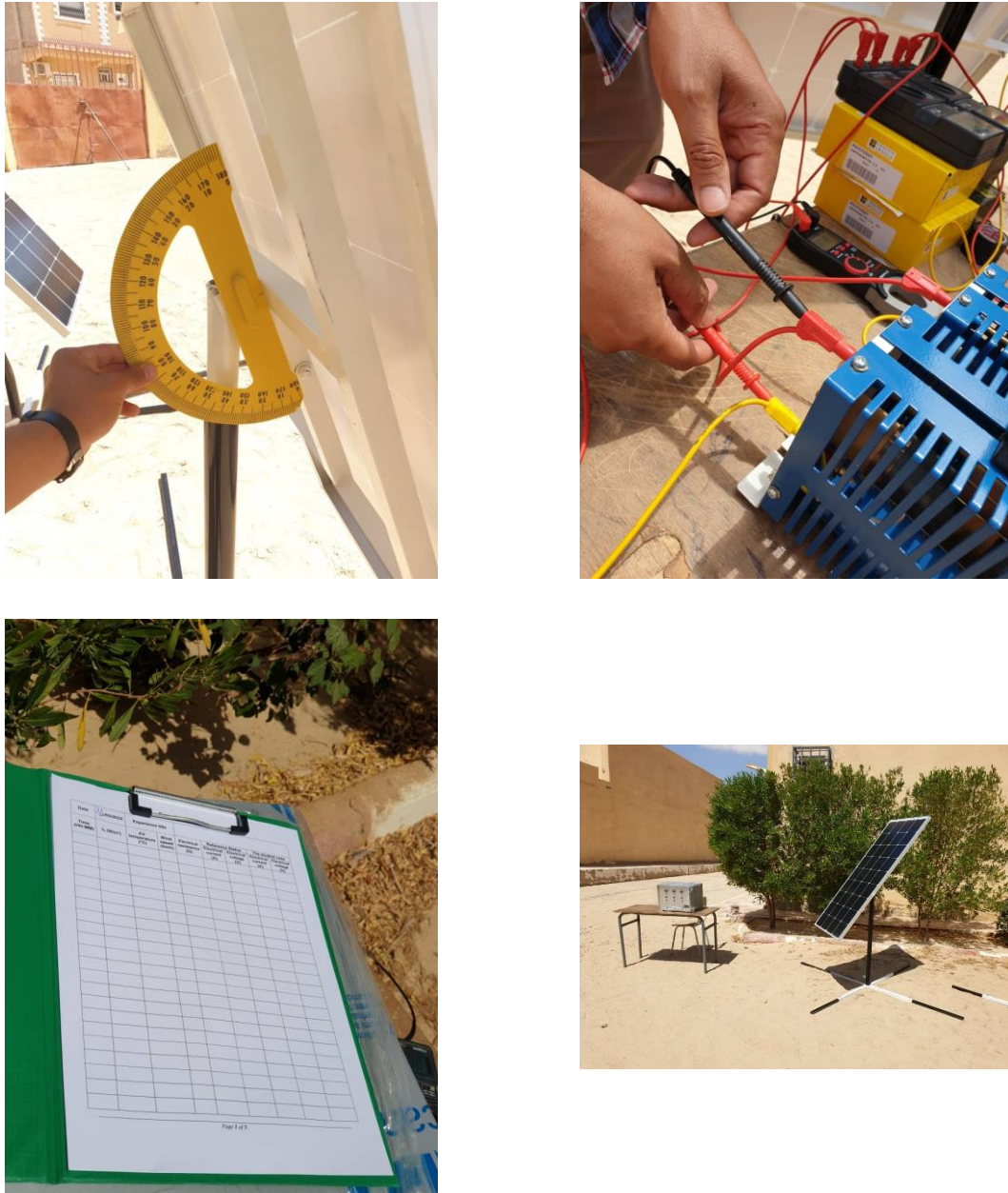


Figure III. 1 : Quelques photos prises lors des travaux expérimentaux.

III.2. Travaux expérimentaux

III.2.1. Le premier travail expérimental

Les conditions du premier travail expérimental sont les suivantes :

- Temps : de 10h00 à 11h00 ;
- La résistance électrique est fixe et égale à 4,5 Ohms ;

- L'angle d'inclinaison du PV n° 1 est égal à l'angle d'inclinaison du PV n° 2, c'est-à-dire ($\beta_1 = \beta_2 = 30^\circ$) ;
- Les deux panneaux photovoltaïques sont fixes (non rotatifs) et orientés vers le sud.

La figure III. 2 montre quelques images captées lors du premier travail expérimental.

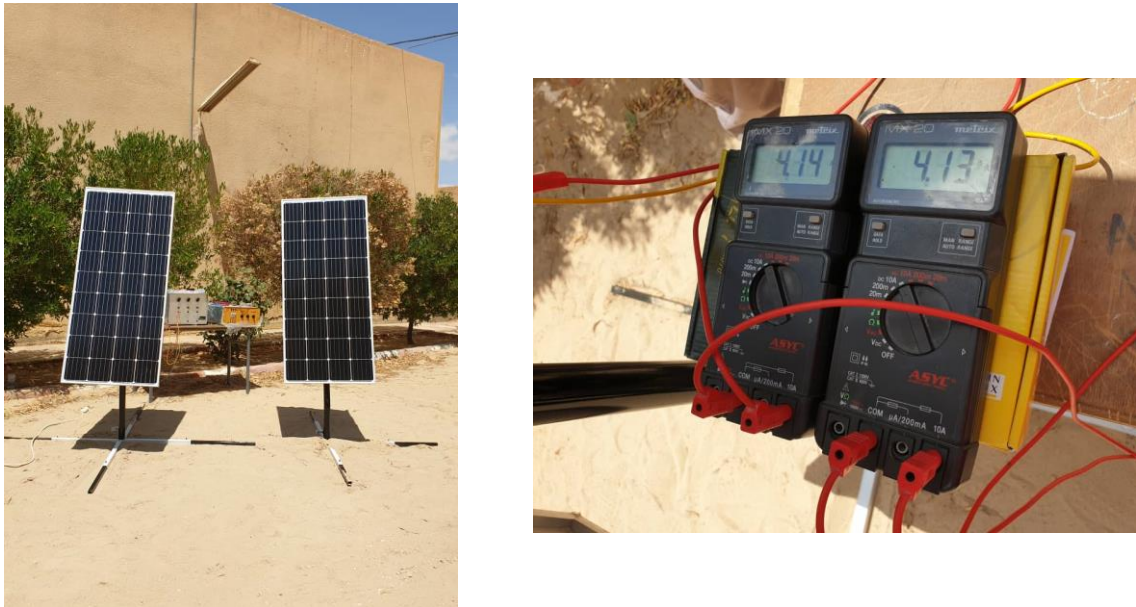


Figure III. 2 : Quelques images captées lors du premier travail expérimental.

La figure III.3 montre l'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps.

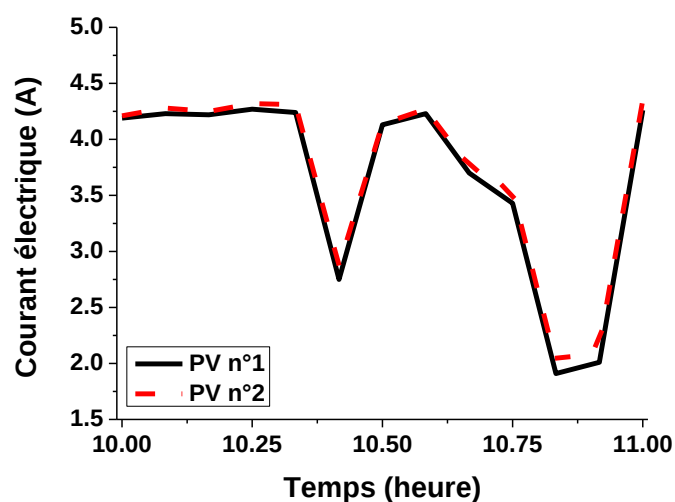


Figure III. 3 : L'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps (Scénario N° 1).

D'après la figure III.3, on remarque que l'intensité du courant obtenue à partir des panneaux photovoltaïques est très proche avec une différence moyenne de 0,069 Ampère, ce qui témoigne de la similitude des deux panneaux photovoltaïques sélectionnés. La valeur la plus élevée de l'intensité du courant fournie par le PV n°1 était de 4,27 A à 10h15, et pour le PV n°2 elle atteignait 4,35 à 11h00.

La figure III.4 montre l'évolution de la tension du courant en fonction du temps.

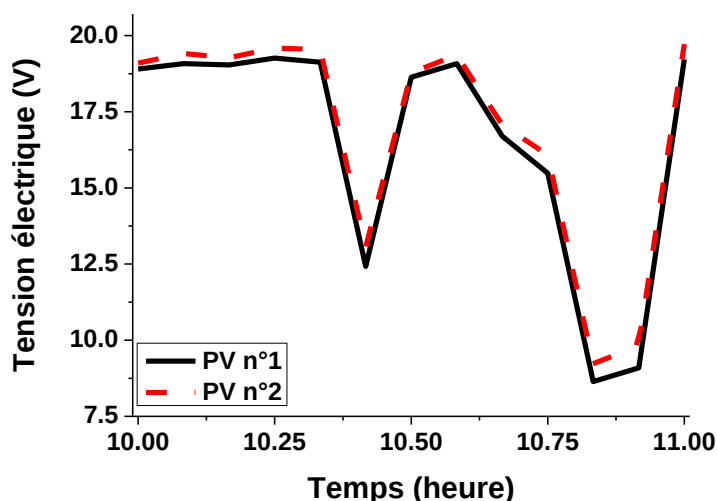


Figure III. 4 : *L'évolution de la tension du courant en fonction du temps (Scénario N° 1).*

D'après la figure III.4, on remarque que la tension du courant obtenue à partir des panneaux photovoltaïques est très proche avec une différence moyenne de 0,41 Volt, ce qui témoigne de la similitude des deux panneaux photovoltaïques sélectionnés. La valeur la plus élevée de la tension du courant fournie par le PV n°1 était de 19,27 V à 10h15, et pour le PV n°2 elle atteignait 19,73 à 11h00.

Les résultats présentés dans les deux figures (III.3 et III.4) ont prouvé l'exactitude des résultats obtenus, ainsi que le fait que la production des deux panneaux (PV n°1 et PV n°2) est très proche dans les mêmes conditions de fonctionnement.

III.2.2. Le deuxième travail expérimental

Le second travail expérimental a été mené dans ces conditions expérimentales :

- Temps : de 11h05 à 12h05 ;
- La résistance électrique est fixe et égale à 4,5 Ohms ;

- L'angle d'inclinaison du PV n° 1 est égal à l'angle d'inclinaison du PV n° 2, c'est-à-dire ($\beta_1 = \beta_2 = 30^\circ$);
- Le PV n°1 est fixe (non rotatif) et orienté vers le sud ;
- Le PV n°2 tourne pour suivre la trajectoire du Soleil d'est en ouest au moment de cette expérience

La figure III. 5 montre quelques images captées lors du second travail expérimental.

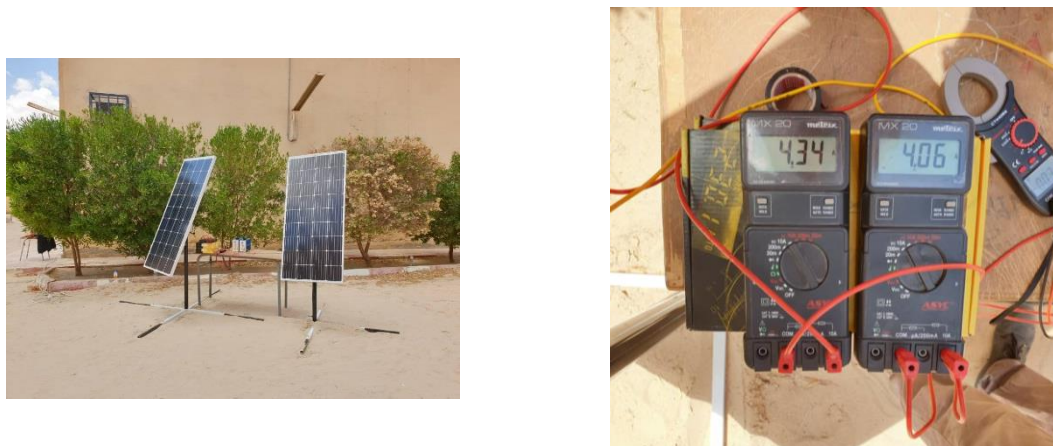


Figure III. 5 : *Quelques images captées lors du second travail expérimental.*

L'intensité et la tension du courant électrique sont respectivement indiquées sur les deux figures (III.6 et III.7). Pour les deux figures, il a été constaté que les performances du PV n°2 sont meilleures que celles du premier (PV n°1), du fait qu'il reçoit le plus de rayonnement solaire à sa surface de réception parce qu'il tourne pour suivre la course du soleil pendant la deuxième période de travail expérimental, qui est estimée à soixante minutes. Quant aux valeurs maximales de l'intensité et de la tension du courant pour les deux panneaux photovoltaïques, elles sont les suivantes :

- PV n°1 : ($I_{\max} = 4,47$ A et $V_{\max} = 20,17$ V) ;
- PV n°2 : : ($I_{\max} = 4,51$ A et $V_{\max} = 20,45$ V).

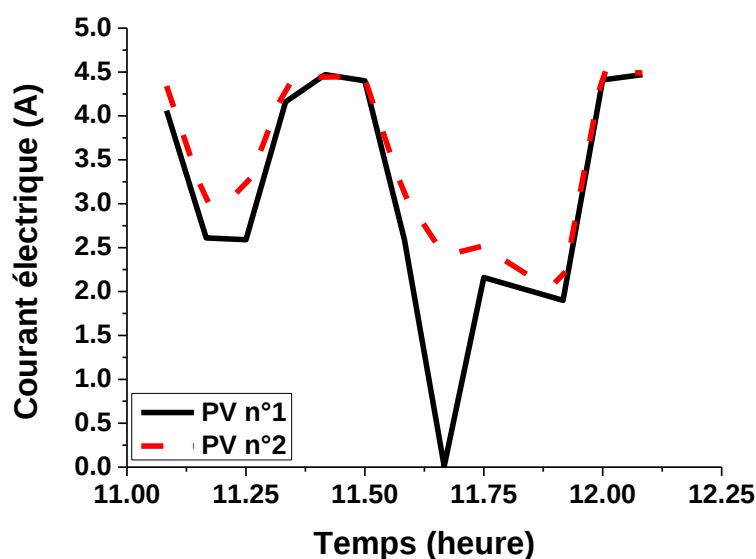


Figure III. 6 : L'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps (Scénario N° 2).

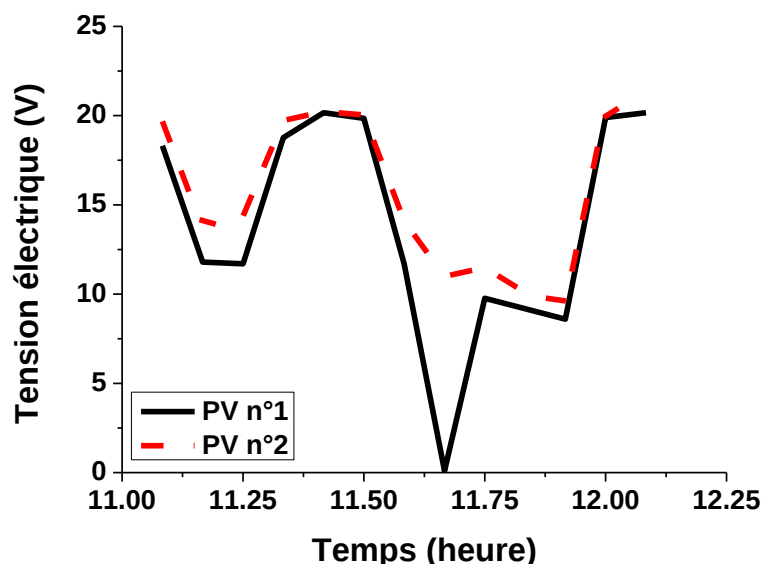


Figure III. 7 : L'évolution de la tension du courant en fonction du temps (Scénario N° 2).

Il a également été noté que les conditions climatiques, en particulier le rayonnement solaire, avaient un impact direct sur les performances des panneaux photovoltaïques, car il a été noté que l'intensité du courant diminuait à 0,01 A et la tension du courant diminuait à 0,092 pour le PV n°1 en raison de nuages épais à 11h40. Dans le même temps et dans les mêmes conditions, il a été constaté que le PV n°2 donnait de meilleures performances ($I = 2,41$ A et $V = 11$ V) du fait de l'angle d'inclinaison approprié par rapport au PV n°1. Sur cette base, il est conclu que les panneaux photovoltaïques équipés d'un système de suivi sont meilleurs dans leur

performance que les panneaux photovoltaïques fixés, et ne tournent pas pour suivre le mouvement du soleil d'est en ouest.

En pratique, il est plus économique d'installer un système solaire fixe par rapport à un système qui suit le mouvement du soleil sur deux axes, parce que le système PV mobile coûte cher à installer et à entretenir, et qu'il nécessite une maintenance régulière. Au final, la productivité des PV mobiles n'augmente pas plus de 15% [70], et donc on retrouve toujours dans les grands projets commerciaux (champs photovoltaïques) le système PV fixe est toujours utilisé car il est moins cher et ses performances sont acceptables. Sur cette base, les prochaines expériences pratiques de ce mémoire seront menées sur des systèmes photovoltaïques stationnaires (fixes).

III.2.3. Le troisième travail expérimental

Les conditions du troisième travail expérimental sont les suivantes :

- Temps : de 12h10 à 13h10 ;
- La résistance électrique est fixe et égale à 4,5 Ohms ;
- L'angle d'inclinaison du PV n° 1 est égal à ($\beta_1 = 30^\circ$) ;
- L'angle d'inclinaison du PV n° 2 est égal à ($\beta_2 = 45^\circ$) ;
- Les deux panneaux photovoltaïques sont fixes (non rotatifs) et orientés vers le sud.

La figure III. 8 montre quelques images captées lors du troisième travail expérimental.

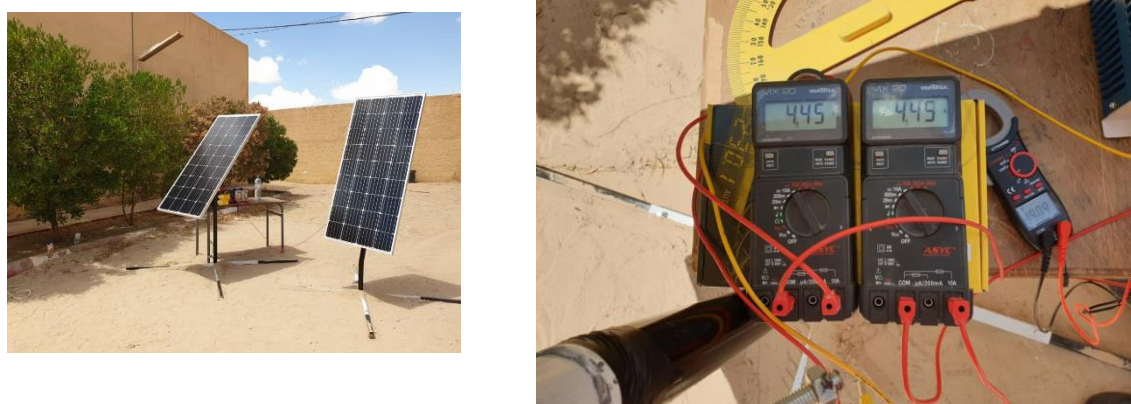


Figure III. 8 : Quelques images captées lors du troisième travail expérimental.

L'intensité et la tension du courant électrique sont respectivement indiquées sur les deux figures (III.9 et III.10). Pour les deux figures, il a été constaté que les performances du PV n°2 sont meilleures que celles du premier (PV n°1), du fait qu'il reçoit le plus de rayonnement solaire perpendiculairement à sa surface de réception, c'est-à-dire que l'angle d'inclinaison ($\beta_2 = 45^\circ$) permet une plus grande utilisation de la zone de réception du PV n°2 (surface de réception du PV n°2) et est presque verticale par rapport au cas du PV n°1 ($\beta_2 = 30^\circ$), car l'angle d'élévation du soleil change et l'angle d'inclinaison ($\beta_2 = 45^\circ$) est proportionnel à la plupart des angles d'élévation du soleil contrairement à l'angle d'inclinaison ($\beta_2 = 30^\circ$).

Quant aux valeurs maximales de l'intensité et de la tension du courant pour les deux panneaux photovoltaïques, elles sont les suivantes :

- PV n°1 : ($I_{\max} = 4,48$ A et $V_{\max} = 20,21$ V) ;
- PV n°2 : ($I_{\max} = 4,59$ A et $V_{\max} = 20,81$ V).

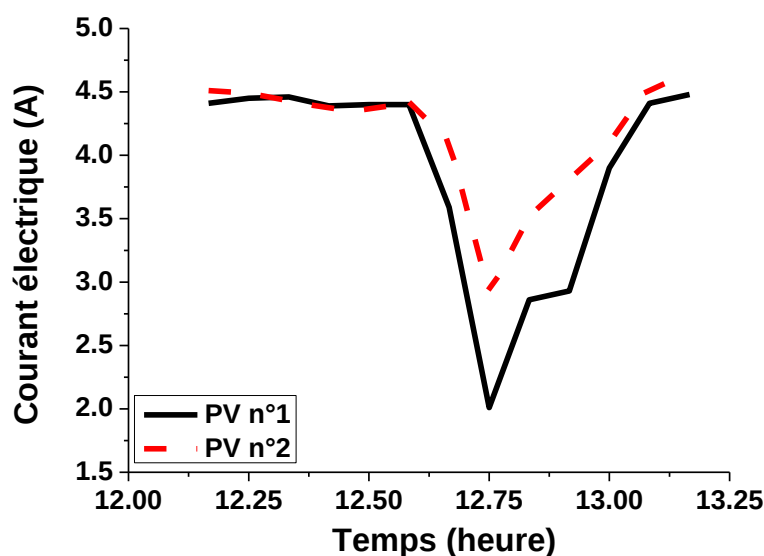


Figure III. 9 : L'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps (Scénario N° 3).

Encore une fois, l'effet des conditions climatiques sur les performances des panneaux photovoltaïques apparaît à 12h45 au passage des nuages, comme il a été enregistré ($I = 2,01$ A et $V = 9,1$ V) pour le PV n°1 et ($I = 2,91$ A et $V = 13,25$ V) pour le PV n°2. Donc, l'absence de rayonnement solaire affecte directement l'efficacité des panneaux photovoltaïques utilisés.

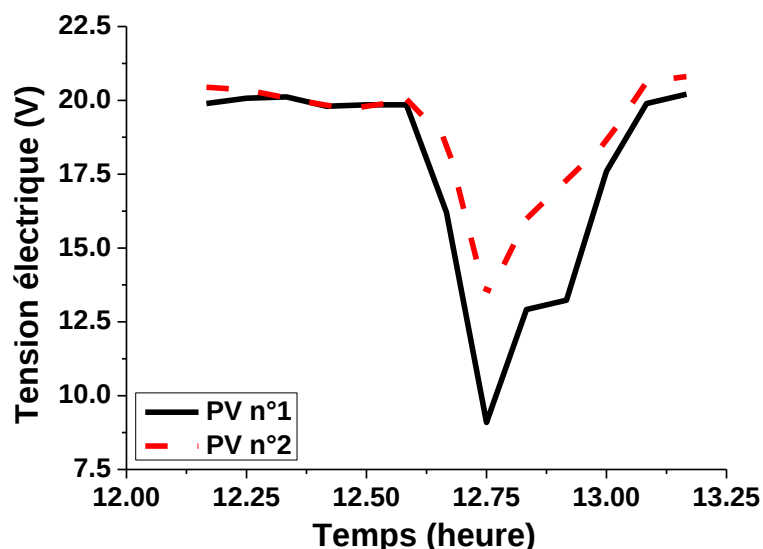


Figure III. 10 : L'évolution de la tension du courant en fonction du temps (Scénario N° 3).

On mentionne ici qu'il est bon de changer l'angle d'inclinaison des panneaux PVs à chaque saison afin que les rayons du soleil soient le plus perpendiculaire possible aux panneaux PVs photovoltaïques, mais cela est possible lorsque l'installation est destinée à un usage privé (le toit de la maison, quelques panneaux PVs dans un petit établissement, etc.), afin d'assurer une production maximale d'électricité produite à partir de ces panneaux photovoltaïques en fonction des conditions climatiques pour chaque saison séparément.

III.2.4. Le quatrième travail expérimental

Les conditions du quatrième travail expérimental sont les suivantes :

- Temps : de 13 :15 à 14 :15 ;
- La résistance électrique est fixe et égale à 4,5 Ohms ;
- L'angle d'inclinaison du PV n° 1 est égal à ($\beta_1 = 30^\circ$) ;
- L'angle d'inclinaison du PV n° 2 est égal à ($\beta_2 = 180^\circ$) ;
- Les deux panneaux photovoltaïques sont fixes (non rotatifs) et orientés vers le sud.

La figure III. 11 montre quelques images captées lors du quatrième travail expérimental.



Figure III. 11 : Quelques images captées lors du quatrième travail expérimental.

L'intensité et la tension du courant électrique sont respectivement indiquées sur les deux figures (III.12 et III.13).

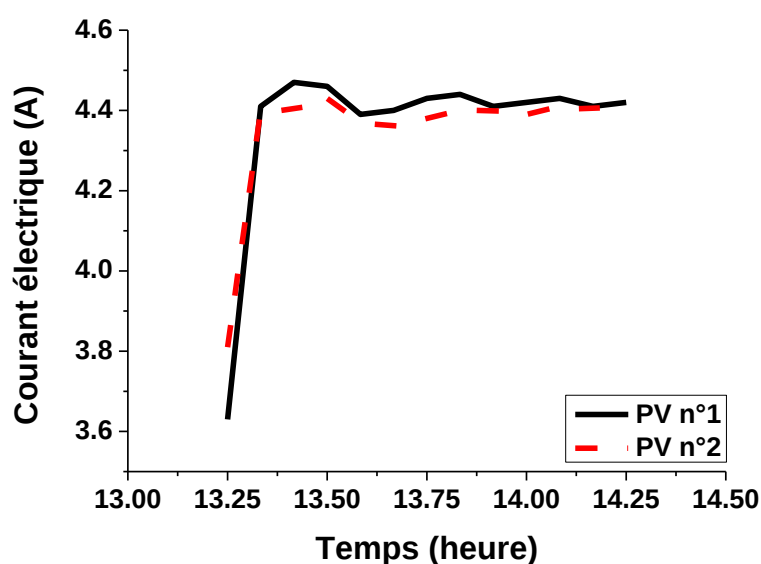


Figure III. 12 : L'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps (Scénario N° 4).

A travers les résultats des deux figures (III.12 et III.13), on constate que les deux angles d'inclinaison ($\beta_1 = 30^\circ$ et $\beta_2 = 180^\circ$) donnent des résultats proches, mais l'angle d'inclinaison ($\beta_1 = 30^\circ$) est meilleur que les angles d'inclinaison ($\beta_2 = 180^\circ$) car le PV n°1 reçoit les rayons qui lui sont réfléchis (le rayonnement solaire diffusé) par le milieu environnant tel que (ciel, vitres, feuilles d'arbres, murs, etc.). Quant au PV n°2, à cet angle ($\beta_2 = 180^\circ$), il ne reçoit que le rayonnement solaire direct et réfléchi (diffusé) du ciel.

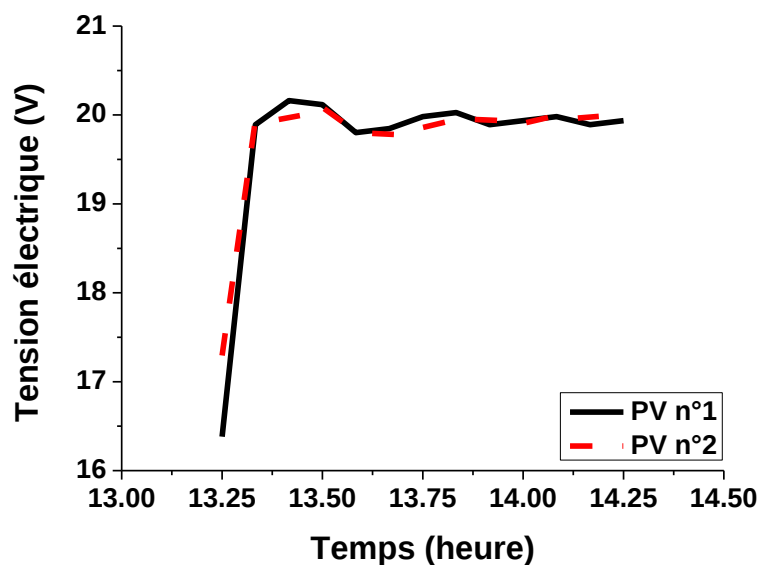


Figure III. 13 : L'évolution de la tension du courant en fonction du temps (Scénario N° 4).

Quant aux valeurs maximales de l'intensité et de la tension du courant pour les deux panneaux photovoltaïques, elles sont les suivantes :

- PV n°1 : ($I_{\max} = 4,47$ A et $V_{\max} = 20,16$ V) ;
- PV n°2 : ($I_{\max} = 4,43$ A et $V_{\max} = 20,09$ V).

III.2.5. Cinquième travail expérimental

Les conditions du cinquième travail expérimental sont les suivantes :

- Temps : de 14 h20 à 15h20 ;
- La résistance électrique est fixe et égale à 4,5 Ohms ;
- L'angle d'inclinaison du PV n° 1 est égal à l'angle d'inclinaison du PV n° 2, c'est-à-dire ($\beta_1 = \beta_2 = 30^\circ$) ;
- Les deux panneaux photovoltaïques sont fixes (non rotatifs) et orientés vers le sud ;
- La surface de réception du PV n°1 est propre, mais surface de réception du PV n°2 est poussiéreuse (sale avec de la poussière) comme le montre la figure III.14 qui contient quelques images captées lors du cinquième travail expérimental.



Figure III. 14 : Quelques images captées lors du cinquième travail expérimental.

L'intensité et la tension du courant électrique sont respectivement indiquées sur les deux figures (III.15 et III.16).

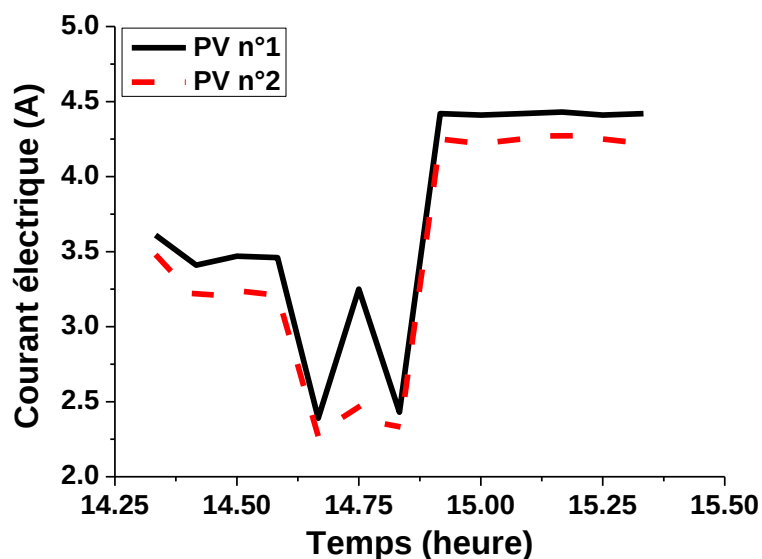


Figure III. 15 : L'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps (Scénario N° 5).

L'effet de la poussière sur la surface de réception du PV n°2 est très net, car on observe qu'il y a une divergence entre les résultats du PV n°1 et les résultats du PV n°2, et la préférence

pour le PV n°1 est parce qu'il est propre, et cette conclusion est basée sur les résultats obtenus dans le premier travail expérimental, parce que les conditions expérimentales pour le premier travail expérimental et le cinquième sont similaires, sauf que dans le cinquième travail, le PV n°2 est poussiéreuse, comme indiqué dans Figure III.14. Donc, le phénomène d'accumulation de poussière affecte les performances globales des panneaux solaires, où l'accumulation de particules de poussière à la surface des panneaux photovoltaïques reflète une grande quantité de rayonnement solaire disponible. Ainsi, on réduit le rayonnement solaire incident net reçu par les panneaux. Par conséquent, cette réduction affectera la production d'énergie et l'efficacité des systèmes photovoltaïques. Par conséquent, il est suggéré de nettoyer périodiquement les panneaux photovoltaïques pour éviter cette chute et pour s'assurer que le rayonnement solaire incident est à sa valeur la plus élevée dans les conditions météorologiques correspondantes [71]. Quant à la meilleure et la plus simple façon de nettoyer les panneaux photovoltaïques, c'est d'utiliser de l'eau savonneuse, avec la nécessité d'utiliser une éponge ou un chiffon doux comme celui utilisé pour nettoyer les lunettes.

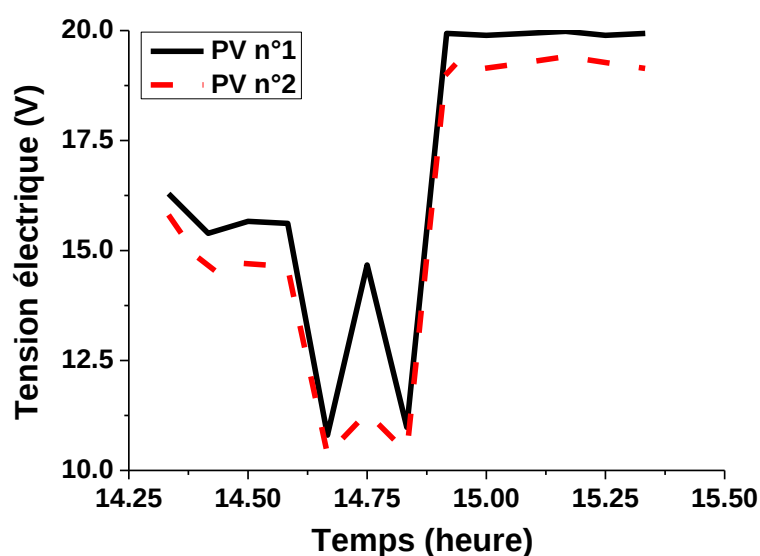


Figure III. 16 : L'évolution de la tension du courant en fonction du temps (Scénario N° 5).

Quant aux valeurs maximales de l'intensité et de la tension du courant pour les deux panneaux photovoltaïques, elles sont les suivantes :

- PV n°1 : ($I_{\max} = 4,49$ A et $V_{\max} = 19.99$ V) ;
- PV n°2 : ($I_{\max} = 4,28$ A et $V_{\max} = 19.41$ V).

III.3. Conclusion

En conclusion, le respect des angles d'inclinaison est important lors de l'installation des panneaux photovoltaïques, où les paramètres du site, les coordonnées du lieu d'installation du PV, les conditions d'installation des panneaux PVs, ainsi que l'influence des conditions climatiques conditions (rayonnement solaire, vitesse du vent et température de l'air entourant la plaque photovoltaïque) doivent être prises en compte.

CONCLUSION GENERALE ET PROSPECTIVES

Ce travail est une étude expérimentale sur deux panneaux photovoltaïques (type RAGGIE, Modèle RG-M165W) aux caractéristiques techniques similaires, mais dans des conditions expérimentales différentes, où de nombreuses expériences pratiques ont été menées sur les deux panneaux PVs au niveau du Centre de Formation Professionnelle « Echahid CHADOU Elhachemi » à Reguiba (Coordonnées 33° 33' 51" Nord, 6° 42' 44" Est), Wilaya d'El Oued, Algérie. Des travaux expérimentaux ont été menés le 11 Mai 2022, et voici un ensemble des résultats les plus importants qui ont été obtenus :

- Les deux panneaux photovoltaïques ont été vérifiés comme étant similaires dans leur productivité dans le premier travail expérimental.
- A l'angle d'inclinaison ($\beta_2=30^\circ$), le PV suivant le soleil (PV n°2) a donné de meilleures performances que le PV fixe (PV n°1), ce que montrent les résultats du second travail expérimental. Cela montre l'effet direct de la quantité de rayonnement solaire reçue par le panneau photovoltaïque sur ses performances, car le suivi permet d'augmenter la quantité de rayonnement solaire reçue par le PV.
- Le troisième travail expérimental a montré que le PV n°2 avec angle d'inclinaison ($\beta_2=45^\circ$) donne de meilleures performances que le PV n°1 avec angle d'inclinaison ($\beta_1=30^\circ$), car l'angle d'inclinaison ($\beta_2=45^\circ$) permet au rayonnement solaire d'être directement perpendiculaire le plus longtemps à la surface de réception du PV.
- Quant au quatrième travail expérimental, on constate que les deux angles d'inclinaison ($\beta_1 = 30^\circ$ et $\beta_2 = 180^\circ$) donnent des résultats proches, mais l'angle d'inclinaison ($\beta_1 = 30^\circ$) pour le PV n°1 est meilleur que les angles d'inclinaison ($\beta_2 = 180^\circ$) pour le PV n°2, car le PV n°1 reçoit les rayons qui lui sont réfléchis (le rayonnement solaire diffusé) par le milieu environnant tel que (ciel, vitres, feuilles d'arbres, murs, etc.), mais le PV n°2 à ($\beta_2 = 180^\circ$) ne reçoit que le rayonnement solaire direct et réfléchi (diffusé) du ciel.

- Le cinquième travail expérimental a prouvé que le nettoyage périodique des panneaux photovoltaïques augmente leur performance.

Tous les résultats obtenus dans les expériences pratiques sont très logiques, et cela a contribué à la bonne compréhension cognitive du principe de fonctionnement des panneaux photovoltaïques, car cette technologie est une branche importante des énergies renouvelables solaires que l'Algérie cherche à exploiter fortement sur tout le territoire national à travers le début de l'établissement de champs d'électricité photovoltaïque.

Prospectives

Malgré les résultats expérimentaux distingués obtenus lors d'expériences scientifiques, la période de temps pendant laquelle les expériences pratiques ont été menées est limitée. Par conséquent, il est nécessaire à l'avenir de continuer à faire d'autres expériences pratiques sur les panneaux PVs, et elles doivent être en toutes saisons afin de suivre le comportement du système énergétique des panneaux PVs tout au long de l'année.

REFERENCES

- [1] R. Zhar, A. Allouhi, M. Ghodbane, A. Jamil, K. Lahrech, Parametric analysis and multi-objective optimization of a combined Organic Rankine Cycle and Vapor Compression Cycle, *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 47 (2021) 101401. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101401>.
- [2] Z. Said, M. Ghodbane, B. Boumeddane, A.K. Tiwari, L.S. Sundar, C. Li, N. Aslfattahi, E. Bellos, Energy, exergy, economic and environmental (4E) analysis of a parabolic trough solar collector using MXene based silicone oil nanofluids, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 239 (2022) 111633. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.111633>.
- [3] M. Ghodbane, Z. Said, A.K. Tiwari, L. Syam Sundar, C. Li, B. Boumeddane, 4E (energy, exergy, economic and environmental) investigation of LFR using MXene based silicone oil nanofluids, *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 49 (2022) 101715. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101715>.
- [4] A. Khechekhouche, B. Benhaoua, M.E.H. Attia, Z. Driss, A. Manokar, M. Ghodbane, Polluted groundwater treatment in southeastern Algeria by solar distillation, *Algerian Journal of Environmental Science and Technology* 6(1) (2020) <https://www.aljest.net/index.php/aljest/article/view/269/0>.
- [5] A. Sadoun, A. Khechekhouche, I. Kemerchou, M. Ghodbane, B. Souyei, Impact of natural charcoal blocks on the solar still output, *Heritage and Sustainable Development* 4(1) (2022) 61-66. <https://doi.org/10.37868/hsd.v4i1.80>.
- [6] M. Ghodbane, B. Boumeddane, Numerical modeling of a parabolic trough solar collector at Bouzaréah, Algeria, *Int J Chem Pet Sci.* 4(2) (2015) 11-25. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/4604>.
- [7] M. Ghodbane, B. Boumeddane, Numerical simulation of a solar-driven ejector refrigeration cycle coupled to a parabolic trough concentrator, *International Journal of Chemical and Petroleum Sciences* 5(1) (2016) 1-12. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/4608>.
- [8] D. Benmenine, M. Ghodbane, M.E. Soudani, H. Abdelouahed, A. Massiv, N. Elsharif, A small parabolic trough collector as a solar water heater: an experimental study in Ouargla region, Algeria, *International Journal of Energetica* 5(2) (2020) 1-6. <http://dx.doi.org/10.47238/ijeca.v5i2.141>.
- [9] M. Ghodbane, B. Boumeddane, Estimating solar radiation according to semi empirical approach of PERRIN DE BRICHAMBAUT: application on several areas with different climate in Algeria, *International Journal of Energetica* 1(1) (2016) 20-29. <https://dx.doi.org/10.47238/ijeca.v1i1.12>.
- [10] M. Ghodbane, B. Boumeddane, A parabolic trough solar collector as a solar system for heating water: a study based on numerical simulation, *International Journal of Energetica* 2(2) (2017) 29-37. <https://dx.doi.org/10.47238/ijeca.v2i2.32>.
- [11] M. Ghodbane, B. Boumeddane, A. Khechekhouche, D. Benmenine, Study of a solar air conditioning system with ejector, *International Journal of Energetica* 5(1) (2020) 14-21. <https://dx.doi.org/10.47238/ijeca.v5i1.115>.

-
- [12] M. Ghodbane, B. Boumeddane, S. Largot, N.E. Heniat, Simulation numérique d'un concentrateur cylindro-parabolique en El Oued, Algérie, *International Journal of Scientific Research & Engineering Technology (IJSET)* 3(2) (2015) 68-74. <http://ipco-co.com/IJSET/GEEE-2015/12.pdf>.
- [13] M. Ghodbane, B. Boumeddane, A. Khechekhouche, Performance Simulation of a Solar-Driven Ejector Air Conditioning System, *International Symposium on Mechatronics and Renewable Energies El-Oued*, 10- 11 December 2018, 2018, pp. <http://dSPACE.univ-eloued.dz/xmlui/handle/123456789/1395>.
- [14] M. Ghodbane, B. Boumeddane, S. Largot, Etude optique et thermique d'un concentrateur cylindro-parabolique en site d'Alger, Algérie, *IXth International Congress on Renewable Energy and the Environment*, Djerba, Tunisie, 2015, pp. 18-20.
- [15] M. Ghodbane, B. Boumeddane, Engineering design and optical investigation of a concentrating collector: Case study of a parabolic trough concentrator *J. Fundam. Appl. Sci.* 10(2) (2018) 148-171. <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v10i2.11>.
- [16] M. Ghodbane, B. Boumeddane, A numerical analysis of the energy behavior of a parabolic trough concentrator, *Journal of Fundamental and Applied Sciences* 8(3) (2016) 671-691. <https://doi.org/10.4314/jfas.v8i3.2>.
- [17] M. Ghodbane, B. Boumeddane, N. Moummi, S. Largot, H. Berkane, Study and numerical simulation of solar system for air heating, *Journal of Fundamental and Applied Sciences* 8(1) (2016) 41-60. <https://doi.org/10.4314/jfas.v8i1.3>.
- [18] M. Ghodbane, B. Boumeddane, N. Said, Design and experimental study of a solar system for heating water utilizing a linear Fresnel reflector, *Journal of Fundamental and Applied Sciences* 8(3) (2016) 804-825. <https://doi.org/10.4314/jfas.v8i3.8>.
- [19] M. Ghodbane, Étude et optimisation des performances d'une machine de climatisation à éjecteur reliée à un concentrateur solaire Mechanical Engineering Department, Saad Dahleb University of Blida 1, Algeria: www.univ-blida.dz, Central library of Saad Dahlab University 2017, pp. 1-200. <http://di.univ-blida.dz:8080/jspui/handle/123456789/9965>.
- [20] M. Ghodbane, B. Boumeddane, Optical modeling and thermal behavior of a parabolic trough solar collector in the Algerian sahara *AMSE JOURNALS-AMSE IIETA, MMC_B* 86(2) (2017) 406-426. https://doi.org/10.18280/mmc_b.860207
- [21] M. Ghodbane, D. Benmenine, A. Khechekhouche, B. Boumeddane, Brief on Solar Concentrators: Differences and Applications, *Instrumentation Mesure Metrologie* 19(5) (2020) 371-378. <https://dx.doi.org/10.18280/im.190507>.
- [22] A.K. Hussein, M. Ghodbane, Z. Said, R.S. Ward, The effect of the baffle length on the natural convection in an enclosure filled with different nanofluids, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 147(1) (2022) 791-813. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10300-1>.
- [23] M. Ghodbane, Z. Said, A.A. Hachicha, B. Boumeddane, Performance assessment of linear Fresnel solar reflector using MWCNTs/DW nanofluids, *Renewable Energy* 151 (2020) 43-56. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.137>.
- [24] Z. Said, M. Ghodbane, L.S. Sundar, A.K. Tiwari, M. Sheikholeslami, B. Boumeddane, Heat transfer, entropy generation, economic and environmental analyses of linear Fresnel reflector using novel rGO-Co3O4 hybrid nanofluids, *Renewable Energy* 165(Part 1) (2021) 420-437. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.054>.
-

-
- [25] Z. Said, P. Sharma, N. Aslfattahi, M. Ghodbane, Experimental analysis of novel ionic liquid-MXene hybrid nanofluid's energy storage properties: Model-prediction using modern ensemble machine learning methods, *Journal of Energy Storage* 52 (2022) 104858. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104858>.
- [26] M. Ghodbane, M. Majdak, B. Boumeddane, The efficiency of linear Fresnel reflectors in producing superheated steam for power plant drive, *E3S Web Conf.* 323 (2021) 00011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132300011>.
- [27] M. Ghodbane, B. Boumeddane, Z. Said, E. Bellos, A numerical simulation of a linear Fresnel solar reflector directed to produce steam for the power plant, *Journal of Cleaner Production* 231 (2019) 494-508. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.201>.
- [28] M. Ghodbane, E. Bellos, Z. Said, B. Boumeddane, A. Khechekhouche, M. Sheikholeslami, Z.M. Ali, Energy, Financial and Environmental investigation of a direct steam production power plant driven by linear Fresnel solar reflectors, *Journal of Solar Energy Engineering* 143(2) (Apr 2021) 021008. <https://doi.org/10.1115/1.4048158>.
- [29] M. Ghodbane, B. Boumeddane, A.K. Hussein, H.M. Ali, D. Li, Thermal numerical investigation of a small parabolic trough collector under desert climatic conditions *Journal of Thermal Engineering* 7(3) (2021) 429-446. <https://doi.org/10.18186/thermal.884657>.
- [30] M. Ghodbane, B. Boumeddane, A.K. Hussein, D. Li, S. Sivasankaran, Optical numerical investigation of a solar power plant of parabolic trough collectors, *Journal of Thermal Engineering* 7(3) (2021) 550-569. <https://doi.org/10.18186/thermal.888167>.
- [31] M. Ghodbane, B. Boumeddane, A. Khechekhouche, S. Largot, Study of the effect of the position and metal of the receiver tube on the performance of a parabolic trough solar collector, *Materials Today: Proceedings* 51 (2022) 2144-2151. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.497>.
- [32] M. Ghodbane, B. Boumeddane, N. Said, A linear Fresnel reflector as a solar system for heating water: theoretical and experimental study, *Case Studies in Thermal Engineering* 8(C) (2016) 176-186, <http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2016.06.006>.
- [33] Z. Said, M. Ghodbane, A.K. Tiwari, H.M. Ali, B. Boumeddane, Z.M. Ali, 4E (Energy, Exergy, Economic, and Environment) examination of a small LFR solar water heater: An experimental and numerical study, *Case Studies in Thermal Engineering* 27 (2021) 101277. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101277>.
- [34] M. Ghodbane, E. Bellos, Z. Said, B. Boumeddane, A.K. Hussein, L. Kolsi, Evaluating energy efficiency and economic effect of heat transfer in copper tube for small solar linear Fresnel reflector, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 143(6) (2021) 4197-4215. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09384-6>.
- [35] Z. Said, M. Ghodbane, A.A. Hachicha, B. Boumeddane, Optical performance assessment of a small experimental prototype of linear Fresnel reflector *Case Studies in Thermal Engineering* 16 (2019) 100541. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100541>.
- [36] M. Ghodbane, B. Boumeddane, K. Lahrech, Solar thermal energy to drive ejector HVAC systems: A numerical study under Blida climatic conditions, *Case Studies in Thermal Engineering* 28 (2021) 101558. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101558>.
-

-
- [37] M. Ghodbane, B. Boumeddane, A.K. Hussein, Performance Analysis of a Solar-Driven Ejector Air Conditioning System Under El-Oued Climatic Conditions, Algeria, Journal of Thermal Engineering 7(1) (2021) 172-189. <https://dx.doi.org/10.18186/thermal.847334>.
- [38] M. Ghodbane, Z. Said, O. Ketfi, B. Boumeddane, A.T. Hoang, M. Sheikholeslami, M.E.H. Assad, M.H. Ahmadi, V.N. Nguyen, V.D. Tran, T.H. Truong, Thermal performance assessment of an ejector air-conditioning system with parabolic trough collector using R718 as a refrigerant: A case study in Algerian desert region, Sustainable Energy Technologies and Assessments (2022).
- [39] M.E.H. Attia, Z. Driss, M. Ghodbane, A.K. Hussein, S.K. Rout, D. Li, Experimental Study of the Temperature Distribution Inside an Indirect Solar Dryer Chamber, in: M. Ramgopal, S.K. Rout, S.K. Sarangi (Eds.) Advances in Air Conditioning and Refrigeration, Springer Singapore, Singapore, 2021, pp. 305-316. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6360-7_28.
- [40] D.M. Chapin, C.S. Fuller, G.L. Pearson, A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power, Journal of Applied Physics 25(5) (1954) 676-677.
- [41] N. Oleksiy, Simulation fabrication et analyse de cellules photovoltaïques à contacts arrières interdigités, INSA de Lyon, 2005.
- [42] A. Nouar, Etude et modélisation des différents modèles de la cellule photovoltaïque établis sur base de valeurs nominales, UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE, 2010.
- [43] A. MAOUCHE, Etude et Identification paramétrique d'une cellule photovoltaïque organique, Université de Batna, 2011.
- [44] J.-C. Muller, Techniques de l'Ingénieur, dossier BE8579
- [45] M. URIEN, Cellules photovoltaïques organiques à base copolymères à blocs de type rigide-flexible, UNIVERSITÉ BORDEAUX I, 2008.
- [46] J. Zhao, A. Wang, M.A. Green, F. Ferrazza, 19.8% efficient "honeycomb" textured multicrystalline and 24.4% monocrystalline silicon solar cells, Applied Physics Letters 73(14) (1998) 1991-1993.
- [47] M. EL-GAHOUCI, Cellules solaires multi-jonctions dupliquées pour le photovoltaïque à très haute concentration, Sherbrooke (Québec) Canada, 2021.
- [48] Le tellurure de cadmium photovoltaïque. <https://www.hisour.com/fr/cadmium-telluride-photovoltaics-39663/>. <https://www.hisour.com/fr/cadmium-telluride-photovoltaics-39663/>
- [49] Cellules solaires au sélénure de gallium et d'indium de cuivre. <https://www.hisour.com/fr/copper-indium-gallium-selenide-solar-cells-39668/>
- [50] P. Destruel, I. Seguy, Les cellules photovoltaïques organiques. <http://dx.doi.org/10.1051/refdp/2007064> (<http://www.refletsdelaphysique.fr>), Reflets de la Physique 6 16-18.
- [51] O.K. Simya, A. Mahaboobatcha, K. Balachander, A comparative study on the performance of Kesterite based thin film solar cells using SCAPS simulation program, Superlattices and Microstructures 82 (2015) 248-261.
- [52] S. Petibon, Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques, Université de Toulouse, 2009.
-

-
- [53] K. AMARA, Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2015.
- [54] A. ZEROUGUI, N. GHERABI, Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique, Université Mohamed Boudiaf de M'sila, 2019.
- [55] L. Ahmad, N. Khordehgah, J. Malinauskaite, H. Jouhara, Recent advances and applications of solar photovoltaics and thermal technologies, *Energy* 207 (2020) 118254.
- [56] P.G.V. Sampaio, M.O.A. González, R.M. de Vasconcelos, M.A.T. dos Santos, J.C. de Toledo, J.P.P. Pereira, Photovoltaic technologies: Mapping from patent analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 93 (2018) 215-224.
- [57] R.S. Pal, V. Mukherjee, A novel population based maximum point tracking algorithm to overcome partial shading issues in solar photovoltaic technology, *Energy Conversion and Management* 244 (2021) 114470.
- [58] L. Liu, P. Zhang, X. Liao, Z. Zhu, A single-inductor thermoelectric and photovoltaic hybrid harvesting interface with time-multiplexed technology and accurate zero current detector, *Microelectronics Journal* 113 (2021) 105062.
- [59] E. Bullich-Massagué, F.-J. Cifuentes-García, I. Glenney-Crende, M. Cheah-Mañé, M. Aragüés-Peñalba, F. Díaz-González, O. Gomis-Bellmunt, A review of energy storage technologies for large scale photovoltaic power plants, *Applied Energy* 274 (2020) 115213.
- [60] W. Gu, T. Ma, S. Ahmed, Y. Zhang, J. Peng, A comprehensive review and outlook of bifacial photovoltaic (bPV) technology, *Energy Conversion and Management* 223 (2020) 113283.
- [61] G. Takyi, O.G. Laryea, Comparative study of the performance of solar photovoltaic module technologies installed in Kumasi, Ghana, in Sub-Saharan Africa, *Scientific African* 13 (2021) e00877.
- [62] A. Zaite, N. Belouaggadia, C. Abid, M. Ezzine, Performance improvement of photovoltaic cells using night radiative cooling technology in a PV/T collector, *Journal of Building Engineering* 42 (2021) 102843.
- [63] B.L. Miravet-Sánchez, A.E. García-Rivero, R.A. Yuli-Posadas, L.A. Inostroza-Ruiz, V. Fernández-Guzmán, Y.A. Chávez-Juanito, J.M. Rutti-Marin, J.A. Apesteguia-Infantes, Solar photovoltaic technology in isolated rural communities in Latin America and the Caribbean, *Energy Reports* 8 (2022) 1238-1248.
- [64] X. Wu, C. Yang, W. Han, Z. Pan, Integrated design of solar photovoltaic power generation technology and building construction based on the Internet of Things, *Alexandria Engineering Journal* 61(4) (2022) 2775-2786.
- [65] Á. Fernández-Solas, L. Micheli, F. Almonacid, E.F. Fernández, Optical degradation impact on the spectral performance of photovoltaic technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 141 (2021) 110782.
- [66] E. Lucchi, I. Dall'Orto, A. Peluchetti, L. Toledo, M. Pelle, C. Polo López, G. Guazzi, Photovoltaic technologies in historic buildings and protected areas: Comprehensive legislative framework in Italy and Switzerland, *Energy Policy* 161 (2022) 112772.
-

- [67] M. Gharzi, A. Arabhosseini, Z. Gholami, M.H. Rahmati, Progressive cooling technologies of photovoltaic and concentrated photovoltaic modules: A review of fundamentals, thermal aspects, nanotechnology utilization and enhancing performance, *Solar Energy* 211 (2020) 117-146.
- [68] B. Su, H. Wang, X. Zhang, H. He, J. Zheng, Using photovoltaic thermal technology to enhance biomethane generation via biogas upgrading in anaerobic digestion, *Energy Conversion and Management* 235 (2021) 113965.
- [69] Y. Wu, J. Du, G. Liu, D. Ma, F. Jia, J.J. Klemesš, J. Wang, A review of self-cleaning technology to reduce dust and ice accumulation in photovoltaic power generation using superhydrophobic coating, *Renewable Energy* 185 (2022) 1034-1061.
- [70] Abassi Omar, Boutaleb seyfelislam, Rezzazga Mourad et Touahri Ahmed. Etude numérique des performances d'une centrale solaire photovoltaïque. Mémoire de Master en Electromécanique, Département de génie Mécaique, Université d'El-Oued. 2022.
- [71] A. Barbón, M. Ghodbane, L. Bayón, Z. Said. A general algorithm for the optimization of photovoltaic modules layout on irregular rooftop shapes. *Journal of Cleaner Production* (2022).

Titre: Etude de l'effet des changements de conditions opérationnelles sur les performances des panneaux photovoltaïques.

Master : Electromécanique.

Auteur : Youcef Tercha, Belkis Mahlous et Latifa Zahri.

Mots clés : Energie solaire ; Panneaux photovoltaïques ; Etude Expérimentale ; Performances.

Résumé

Ce travail est une étude expérimentale de l'effet des conditions opérationnelles et climatiques sur les performances de deux panneaux photovoltaïques techniquement similaires. Des travaux expérimentaux ont été menés le 11 Mai 2022 sur les deux PV au niveau du Centre de Formation Professionnelle « Echahid CHADOU Elhachemi » à Reguiba, Wilaya d'El Oued, Algérie. Les travaux expérimentaux comprenaient de nombreux scénarios pratiques, et à travers il a été conclu que pour obtenir les meilleures performances, l'angle d'inclinaison devrait être ($\beta=45^\circ$) et le système de panneaux solaires devrait être équipé d'un double système de suivi solaire, avec la nécessité de garder la zone de réception du système photovoltaïque propre, et cela peut être lavé régulièrement. Les résultats obtenus sont très importants et très raisonnables. L'un des plus importants de cette étude est que les étudiants de ce mémoire ont acquis une expérience importante dans l'installation, l'utilisation et l'exploitation des panneaux photovoltaïques, qui est l'un des axes des énergies renouvelables solaires que l'Algérie cherche à étendre ses usages dans de nombreux domaines industriels, ménages, institutions publiques et privées.

Title: studying the effect of changes in operating conditions on the performance of photovoltaic panels.

Keywords: Solar energy; Photovoltaic panels; Experimental Study; Performance.

Abstract

This work is an experimental study of the effect of operational and climatic conditions on the performance of two technically similar photovoltaic panels. Experimental work was carried out on May 11, 2022 on the two PVs at the level of the Professional Training Center "Echahid CHADOU Elhachemi" in Reguiba, El-Oued province, Algeria. The experimental work included many practical scenarios, and through it was concluded that to get the best performance, the tilt angle should be ($\beta=45^\circ$) and the solar panel system should be equipped with a double solar tracking system, with the need to keep the receiving area of the photovoltaic system clean, and this can be washed regularly. The results obtained are very important and very reasonable. One of the most important of this study is that the students of this dissertation have acquired significant experience in the installation, use and operation of photovoltaic panels, which is one of the axes of solar renewable energies that Algeria seeks to extend its uses in many industrial fields, households, public and private institutions.

العنوان: دراسة تأثير تغيرات الظروف التشغيلية على أداء الألواح الكهروضوئية.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية؛ الألواح الشمسية الكهروضوئية؛ دراسة تجريبية؛ أداء.

الملخص

هذا العمل عبارة عن دراسة تجريبية لتأثير الظروف التشغيلية والمناخية على أداء لوحين ضوئيين متشابهين تقنيًا. تم تنفيذ العمل التجريبي في 11 مايو 2022 على محطتين للطاقة الشمسية على مستوى مركز التدريب المهني "الشهيد شادو الهاشمي" بمنطقة الرقبة بولاية الوادي بالجزائر. اشتمل العمل التجريبي على العديد من السيناريوهات العملية، ومن خلالها استنتج أنه للحصول على أفضل أداء يجب أن تكون زاوية الميل $\beta_2 = 45$ درجة (وأن يكون نظام الألواح الشمسية مزودًا بنظام مزدوج لتتبع الطاقة الشمسية، مع الحاجة إلى الحفاظ على منطقة الاستقبال للنظام الكهروضوئي نظيفة، ويمكن غسلها بانتظام. النتائج التي تم الحصول عليها مهمة جدًا ومعقولة جدًا. من أهم هذه الدراسة أن طلاب هذه الرسالة قد اكتسبوا خبرة كبيرة في تركيب واستخدام وتشغيل الألواح الكهروضوئية، والتي تعد أحد محاور الطاقات الشمسية المتجددة التي تسعى الجزائر إلى توسيع نطاق استخدامها في العديد من المجالات. المجالات الصناعية والمنازل والمؤسسات العامة والخاصة.
