

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE



SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences appliquées

Département de Génie des Procédés

Mémoire fin d'études

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences Appliquées

Filière: Génie des procédés

Spécialité : Génie Chimique



Présenté Par :

SAYAH Rym et OUARGLI Soundos

Thème :

**Amélioration des performances thermique d'un  
capteur solaire hybride photovoltaïque et  
thermique (PV/T)**

Soutenu publiquement le : 21/06 /2023

Devant le jury composé de:

MENNOUCHE Djamel

Pr (UKM Ouargla)

Président

CHERRAYE Ridha

MCB (UKM Ouargla)

Examineur

LATI Moukhtar

MCA (UKM Ouargla)

Encadreur

Année Universitaire : 2022/2023



# Remerciement

*Tous d'abord Je remercie 'Dieu' tout puissant de m'avoir donné la santé, le courage et la volonté pour achever ce modeste travail. Je remercie également mon encadreût professeur **MOUHAR LATI**, d'avoir encadré ce travail i'adresse ses plus uifs remerciements à tous les membres de jury, d'avoir accepté de présider le jury. Mes remerciements vont également aux travailleurs dans laboratoire de (**LENREZA**) de l'université Kasdi Merbah de Duargla m'avoir aidée à mettre de complétece mémoire. Merci à ceux qui m'ont soutenu et encouragé et permis d'y arriver.*

*A ma très chère mère*

*Peu importe ce que je fais ou dis, je ne pourrai jamais te remercier correctement. Votre affection me couvre, votre miséricorde me guide et votre présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter divers obstacles.*

*A mon cher papa*

*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. J'espère que ce travail reflète ma gratitude et mon affection.*

*A mes chers frères **Oussama et Mahrez***

*Que Dieu vous donne santé, bonheur et courage*

***Soundos***

## Dédicace

*Je dédie ce travail à ceux qui m'ont enseigné la générosité et à celui dont je porte fièrement leur nom. Je prie Dieu qu'Il prolonge ta vie, mon cher père,*

**SAYAH Abdelhamid.**

*À ma guide dans la vie et à celle qui incarne l'amour, la tendresse et le dévouement, à ma raison de vivre et au secret de mon existence, ma chère mère,*

**SAYAH Zohour.**

*À celle qui a joué un rôle majeur dans mon encouragement et ma motivation, et grâce à laquelle j'ai appris la persévérance et le travail acharné, à mes frères **Abdelrrahim et Mohamed Sadek**, à mes sœurs **Amel et Syrine**.*

*A tous les membres de la famille, "SAYAH"  
et à tous ceux qui m'ont aidé avec des consiel*

**Rym**

## Résumé :

Durant la conversion photovoltaïque du capteur solaire, une chaleur est générée ce qui augmentera la température de la cellule photovoltaïque et causera une chute de son rendement. Ce phénomène est dû à la partie de rayonnement solaire non absorbée par les cellules et qui sera à l'origine de son échauffement.

Cet échauffement a été considéré comme néfaste pour le rendement des capteurs solaires photovoltaïques, et plusieurs efforts ont été consentis pour évacuer cette chaleur. Il y'a eu aussi l'aidé d'exploiter ce phénomène par la combinaison des systèmes photovoltaïques avec un système thermique pour former le capteur hybride PVT, qui va générer en même temps de l'électricité et de la chaleur. Le capteur hybride PV/T permet de fournir, à la fois, une tension électrique (utilisée pour alimenter un ventilateur) et une énergie thermique

**Mots clés :** Capteur solaire, Photovoltaïque, Thermique, hybride

## المخلص:

أثناء التحويل الكهروضوئي للألواح الشمسية، يتم توليد حرارة تزيد من درجة حرارة الخلايا الكهروضوئية مما يؤدي إلى انخفاض في أدائها. هذه الظاهرة ناتجة عن جزء من الإشعاعات الشمسية الغير ممتصة من الخلايا التي ستكون مصدر تسخينها

هذا التسخين ضار بأداء الألواح الشمسية الكهروضوئية، حيث بذلت عدة جهود لإزالة هذه الحرارة من بينها جمع أنظمة كهروضوئية ونظام حراري لتشكيل لوح هجين كهروضوئي حراري الذي سيولد الكهرباء والحرارة في نفس الوقت. الكلمات المفتاحية: لاقط شمسي، الكهروضوئية، حراري، هجين

## Abstract:

During the photovoltaic conversion of the solar captor, a heat is generated which increases the temperature of the photovoltaic cells thus causes a drop in its performance. This phenomenon is due to the part of radiation that is not absorbed by the cells, which is a result of the origin of its heating.

This heating is considered harmful to the performance of the photovoltaic solar collector, so many efforts have been spent to evacuate this heat. There have been ideas to exploit these phenomena by a combination of photovoltaic systems with a thermic system to form the hybrid PVT captor which will generate the electricity and the heating at the same time. The hybrid PV/T collector provides both an electrical power (used to power a fan) and thermal energy.

**Key Words:** Solar captor, Photovoltaic, Thermal, hybrid

# **Table de matières**

**Table de matières**

Résumé.....	I
Dédicace.....	III
Table de mati ères.....	VII
Liste de figures.....	VIII
Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : Synthèse bibliographique.....	4
I. Energie.....	4
I.1. Énergie solaire.....	4
I.2.Types d'énergie solaire.....	5
II. Les capteurs solaires.....	7
II-1. Capteurs solaire thermique.....	7
II-2. Panneaux photovoltaïques.....	8
II-3. Collecteur Photovoltaïque / Convection Hybride (PV/T).....	11
CHAPITRE II : Étude expérimentale	
.....	16
Introduction.....	16
II.1. Description de la zone d'expérimentation.....	16
II.1.1. Présentation du concept étudié.....	16
II.1.2. Capteur hybride PV/T.....	18
II.1.3. Les appareils des mesures.....	19
II.2. Réalisation du capteur hybride.....	23
II.2.1 Efficacité collective.....	24
II.3. Les résultats et les courbes.....	25
Conclusion générale.....	33
Références bibliographique.....	35

## Liste de figures

<b>Figure I.1</b> : Sources d'énergie propres	4
<b>Figure I.2</b> : Schéma d'un capteur solaire plan	6
<b>Figure I.3</b> : Panneau solaire thermique	6
<b>Figure I.4</b> : L'énergie Solaire photovoltaïque	6
<b>Figure I.5</b> : Capteur thermique	8
<b>Figure I.6</b> : Les cellules monocristallines	10
<b>Figure I.7</b> : Les cellules poly cristallin	10
<b>Figure I.8</b> : Les cellules amorphes	10
<b>Figure I.9</b> : Les cellules Cuivre Indium Sélénium CIS	10
<b>Figure I.10</b> : Banc d'essai du capteur solaire PV/T hybride a air	11
<b>Figure I.11</b> : Schéma du capteur solaire PV/T hybride à eau.	12
<b>Figure I.12</b> : Systèmes d'exploitation de l'énergie solaire	13
<b>Figure I.13</b> : Amélioration de l'extraction de chaleur du système d'air PV / T avec (a) des nervures, (b) une feuille ondulée et (c) des tubes.	14
<b>Figure II.1</b> : module photovoltaïque PV	17
<b>Figure II.2</b> : Capteur thermique.	18
<b>Figure II.3</b> . Capteur hybride PV/T.	18
<b>Figure II.4</b> . Voltmètre et Ampèremètre.	19
<b>Figure II.5</b> Température- mètre.	19
<b>Figure. II.6</b> : Mesure de la température dans un capteur thermique.	20
<b>Figure. II.7</b> : Mesure de la température dans un capteur hybride.	21
<b>Figure. II.8</b> : Anémomètre.	21
<b>Figure. II.9</b> : Pyranomètre.	22
<b>Figure. II.10</b> : Séchoir solaire direct de laboratoire (LENREZA).	23
<b>Figure. II.11</b> : Image montrant la plaque absorbante.	24
<b>Figure. II.12</b> : Mettre de la silicone pour éviter les fuites.	24
<b>Figure. II.13</b> : Variation de la température ambiante et du rayonnement solaire en fonction de temps (Mesures du 10/05/2023).	26
<b>Figure. II.14</b> : Variation de la température ambiante et du rayonnement solaire en fonction de temps (Mesures du 19/05/2023).	26
<b>Figure. II.15</b> : Variation de la température ambiante et du rayonnement solaire en fonction de temps (Mesures du 22/05/2023).	27
<b>Figure. II.16</b> : Variation de la température du vitrage et du panneau PV en fonction de temps (Mesures du 10/05/2023).	28



<b>Figure. II.17.</b> Variation de la température du vitrage et du panneau PV en fonction de temps (Mesures du 19/05/2023)	<b>28</b>
<b>Figure. II.18.</b> Variation de la température du vitrage et du panneau PV en fonction de temps (Mesures du 22/05/2023)	<b>28</b>
<b>Figure. II.19.</b> Variation de la température de l'absorbeur en fonction de temps (Mesures du 10/05/2023)	<b>29</b>
<b>Figure. II.20.</b> Variation de la température de l'absorbeur en fonction de temps (Mesures du 19/05/2023)	<b>29</b>
<b>Figure. II.21.</b> Variation de la température de l'absorbeur en fonction de temps (Mesures du 22/05/2023)	<b>30</b>
<b>Figure. II.22.</b> Rendement électrique journalière du panneau PV libre et du panneau PV du capteur PV-T	<b>30</b>
<b>Figure. II.23</b> Rendement thermique journalière du panneau PV libre et du panneau PV du capteur PV/T	<b>31</b>
<b>Figure. II.24.</b> Variation de la température du vitrage et le panneau PV en fonction de temps (Mesures du 08/06/2023)	<b>31</b>
<b>Figure. II.25.</b> Rendement thermique et électrique journalière du panneau PV libre et du panneau PV du capteur PV-T	<b>32</b>

## LISTE DES ABREVIATIONS :

<b>Symbole</b>	<b>Désignations</b>	<b>Unités</b>
PV/T	Le capteur hybride photovoltaïque thermique	/
PV	Panneaux photovoltaïques	/
T en	Température de l'air d'entrée	(C°)
Ta	Température de l'absorbeur	(C°)
TS	Température de sortie de capture	(C°)
T vitre	Température de la vitre	(C°)
T amb	Température d'ambiante	(C°)
R	Le rayonnement solaire	(W/ m <sup>2</sup> )
Vs	Vitesse d'air	(m/s)

# **Introduction générale**

## **Introduction générale**

L'électricité est une énergie essentielle dans la vie, malheureusement, les sources fossiles sont polluantes et non renouvelables, dans le but du développement durable, l'utilisation de l'énergie solaire est une excellente solution.

Les modules photovoltaïques sont connus pour produire l'électricité et les capteurs thermiques qui fournissent les systèmes de chauffage. Les deux systèmes sont indépendants et différents, mais ils ne sont pas absolument incompatibles, pouvant se compléter au moyen d'une conception hybride qui laisse employer les deux techniques, thermique et électrique, dans un processus appelés système hybride photovoltaïque thermique (PV/T).

L'exploitation directe de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes, les systèmes solaires thermiques ou photovoltaïques. Cela a conduit à une combinaison des systèmes des différentes sources d'énergies, ces systèmes sont appelés aussi les systèmes hybrides et ils sont utilisés pour améliorer la production énergétique. Parmi ces différents types des systèmes hybrides, on va étudier dans ce travail le système hybride photovoltaïque - thermique, aussi appelé communément le capteur solaire hybride PV/T. Durant la conversion photovoltaïque du capteur solaire une chaleur est générée ce qui augmentera la température de la cellule photovoltaïque et causera une chute de son rendement. Ce phénomène est dû à la partie du rayonnement solaire non converti en électricité par les cellules et qui sera à l'origine de son échauffement. Cet échauffement a été considéré comme néfaste pour améliorer le rendement des capteurs solaires photovoltaïques et plusieurs efforts ont été consentis pour évacuer cette chaleur. Il y'a eu aussi l'idée d'exploiter ce phénomène par la combinaison du système photovoltaïque avec un système thermique pour former le capteur hybride PV/T qui va générer en même temps de l'électricité et de la chaleur. Le rendement électrique du capteur hybride PV-T pourrait même s'améliorer avec l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire si un système est placé pour extraire de la chaleur des cellules solaires, ce qui va le refroidir en même temps.

L'objectif de notre travail est d'étudier expérimentalement le capteur hybride PV-T à travers la détermination des températures de ces différentes compositions de capteur hybride,

Notre travail est organisé de la façon suivante :

Dans le premier chapitre, nous présenterons une synthèse bibliographique consacrée aux capteurs plan à air, les panneaux solaires, ses différents composants, ses classifications, son fonctionnement. Et enfin, une description des capteurs solaires hybrides

photovoltaïque/thermique.

Dans Le deuxième chapitre, nous l'avons consacré à la partie expérimentale, les étapes de conception de notre système de refroidissement et la forme finale de PV-T, le protocole de mesure que nous avons fait, les instruments de mesure utilisés, les mesures réalisées sont traitées et les résultats des performances électriques et thermiques du système PV-T sont expliqués.

Notre travail est clôturé par une conclusion générale qui résume les résultats obtenus.

# **CHAPITRE I**

## **Synthèse bibliographique**

# CHAPITRE I : Synthèse bibliographique.

## I. Energie

L'énergie depuis le commencement des âges a été le moteur de l'activité humaine, et c'est un élément qui intervient dans tous les actes quotidiens de l'homme. Les énergies jouent un rôle significatif dans le développement des secteurs technologiques, industriels, économiques et sociaux d'un pays. Afin de bien comprendre les enjeux énergétiques, il est important tout d'abord de comprendre la progression de la demande énergétique au fil des décennies au niveau mondial et national, la diversité des ressources énergétiques selon la géographie du territoire et les objectifs de réduction des gaz à effet de serre. Nous présentons dans ce chapitre la situation énergétique actuelle à l'échelle mondiale et nationale, en termes de ressources, de production, de consommation et aussi l'état des infrastructures régionales existantes, notamment des interconnexions électriques et gazières et leurs impacts sur l'environnement. Un important travail de collecte et d'analyse de données dans des sites officiels nationaux notamment (ONS, MEM, CREG ...etc.), des centres de recherche (CDER, CREDEG), les bilans annuels et les journaux publiés par des entreprises nationales telles que SONELGAZ, SONATRACH et organismes mondiaux tels que la banque mondiale sera présenté. Ce chapitre constitue une étape importante pour une démarche de modélisation, de prospective et de la gestion de l'aménagement énergétique. [2]



**Figure I.1** : Sources d'énergie propres [3].

## **I.1. Énergie solaire**

L'énergie solaire est à l'origine de la vie sur terre, grâce à son apport de chaleur et de lumière. Elle rend possible la présence d'eau à l'état liquide, la photosynthèse des végétaux et tous les développements ultérieurs de la vie. L'homme l'utilise depuis son apparition sur terre; bien souvent de façon indirecte (bois, charbon, gaz, pétrole) mais moins souvent de façon directe (chauffage, séchage, etc.). Pour autant, il a créé de nombreuses technologies permettant de produire chaleur ou électricité en utilisant directement cette source d'énergie. La principale distinction à faire repose sur la différence fondamentale entre le solaire thermique et le solaire photovoltaïque ; si un système solaire photovoltaïque utilise l'effet du même nom pour convertir directement une partie du rayonnement en électricité, un système thermique utilise l'énergie solaire pour produire de la chaleur en chauffant un fluide à plus ou moins haute température. Si la température du fluide est suffisante pour actionner un cycle thermodynamique, il est alors possible de produire de l'électricité. Cette filière correspond à celle des centrales solaires thermodynamiques, qui peuvent produire indépendamment (ou en cogénération) de la chaleur et de l'électricité. [3]

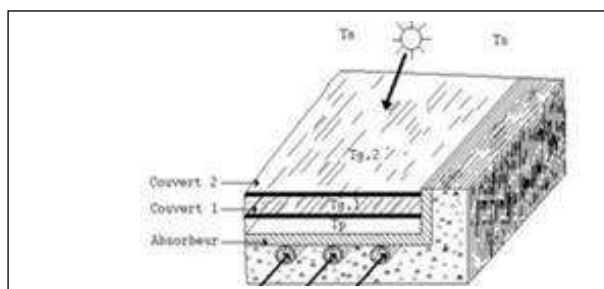
## **I.2. Types d'énergie solaire**

### **a. L'énergie solaire thermique**

L'énergie solaire a été utilisée depuis longtemps pour produire de la chaleur et, bien que l'expérience accumulée soit considérable, ce domaine a connu avec le développement technologique actuel, un renouvellement important sur le plan théorique et expérimental. Dans le cas de la filière thermodynamique ses applications sont nombreuses, on peut citer, à titre d'exemple, le chauffage de l'eau, le séchage et les centrales thermodynamiques pour la production de l'électricité. A basse température, le capteur plan joue un rôle de convertisseur du rayonnement solaire incident en chaleur. En général, ce capteur, comme il est schématisé sur la figure 3, est constitué d'un absorbeur surmonté d'une ou plusieurs vitres et isolé sur la partie non réceptrice. L'évacuation de la chaleur reçue par l'absorbeur se fait par utilisation de divers fluides caloporteurs. Les solutions les plus courantes consistent à faire circuler de l'eau dans l'absorbeur (cas du capteur à eau) ou de l'air (cas du capteur à air), soit entre l'absorbeur et le couvert transparent, soit sous l'absorbeur. Les performances de l'installation à laquelle appartient ce convertisseur dépendent essentiellement du rendement de ce dernier.



En pratique, ce rendement est fonction de l'énergie utile qu'on cherche toujours à augmenter : • par augmentation de la chaleur reçue par l'absorbeur en augmentant la part du rayonnement absorbé (revêtement de l'absorbeur d'une teinte noire mate), • par diminution des pertes de chaleur vers les zones non réceptrices (nécessité d'une bonne isolation) et vers l'avant du capteur (entre l'absorbeur et l'ambiance). Ces dernières, c'est-à-dire les pertes vers l'avant, sont difficiles à estimer en raison de la complexité des phénomènes se produisant dans cette partie du capteur. [4]



**Figure I.2 :** Schéma d'un capteur solaire plan [4].

**Figure I.3 :** Panneau solaire thermique[5].

### **b. L'énergie solaire photovoltaïque**

L'énergie solaire captée à l'aide de panneaux photovoltaïques représente une alternative énergétique viable pour la production d'électricité puisque cette dernière est une source renouvelable, à la fois propre, illimitée et avec un niveau de risque très réduit. Son potentiel est très important à l'échelle du besoin de l'activité humaine, il est aussi très largement réparti sur l'ensemble du globe ce qui lui confère un intérêt partagé par tous. Avec la diminution du prix des modules photovoltaïques (PV) et l'augmentation du prix des énergies fossiles, l'exploitation de cette ressource, à fort potentiel de développement, avec des systèmes de génération PV devient viable et rentable. [5]



Vue d'une centrale solaire photovoltaïque (©photo)

**Figure I.4 :** L'énergie Solaire photovoltaïque [6]

## II. Les capteurs solaires

Les capteurs à air peuvent être utilisés dans beaucoup d'applications nécessitant des températures basses et modérées, telles que le chauffage des locaux, le séchage des produits agricoles, le séchage du bois, le séchage des briques, etc. [7]

### II-1. Capteurs solaire thermique

**a. Définition :** Les capteurs solaires thermique sont des appareils permettant la conversion de l'énergie de rayonnement en énergie thermique, en se basant sur l'effet de serre, s'explique par le fait que le verre est un matériau quasiment transparent au rayonnement solaire alors qu'il est presque opaque au rayonnement infrarouge, un flux solaire traversant une vitre et venant chauffer un corps derrière cette vitre se trouve donc piégé, puisque le rayonnement émis par ce corps ne peut traverser la vitre. [8]

**b. Types de capture solaire thermique :** Il existe deux principaux types de capteurs solaires :

- **les capteurs plans :** Les capteurs plans absorbent le rayonnement solaire au moyen d'une plaque peinte en noir et munie de fines conduites destinées au fluide caloporteur. Lorsqu'il traverse les conduits, sa température (liquide ou air) augmente en raison de la chaleur reçue par la plaque absorbante. Comme une serre, les capteurs plans sont munis d'un vitrage transparent, qui piège le rayonnement calorifique s'échappant de la plaque absorbante. Ils peuvent chauffer les fluides caloporteurs à des températures légèrement supérieures à 80°C, avec un rendement variant entre 40 et 80%. [9]

- **les capteurs par concentration :** Les capteurs plans ne peuvent généralement pas porter les fluides caloporteurs à très hautes températures. En revanche, il est possible d'utiliser des capteurs par concentration, mais ils sont plus complexes et plus onéreux. Il s'agit de réflecteurs en demi-cercle qui renvoient et concentrent l'énergie solaire sur un tuyau où circule un fluide caloporteur. Cette concentration entraîne une augmentation de l'intensité, et les températures obtenues sur le récepteur (appelé cible) peuvent atteindre plusieurs centaines voire même plusieurs milliers de degrés Celsius. [10]

**c. Composants du collecteur thermique :** Les principaux composants des capteurs solaires sont :

- La vitre : la matière le plus utilisé est le verre.

- L'absorbeur : C'est une plaque noire qui absorbe le rayonnement solaire et le transforme en chaleur thermique ;

Cette plaque doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Une bonne conductivité thermique ;

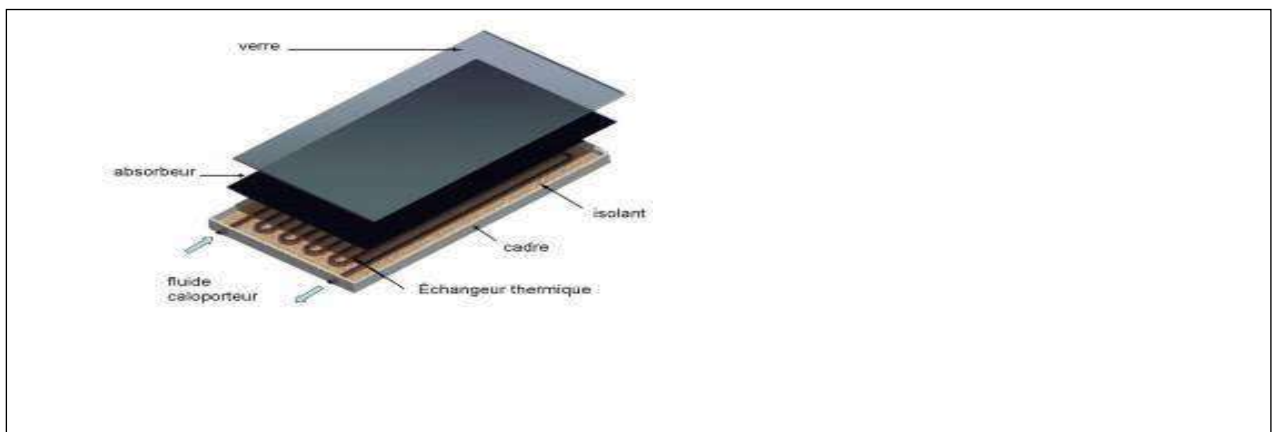
- Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité; Les matériaux utilisés comme absorbeur sont : le cuivre, les aciers, l'aluminium ...etc.

- L'isolant : L'isolant a pour rôle de limiter les déperditions calorifiques. Les matériaux utilisés comme isolant sont le bois, les cendres de végétaux, la laine de verre et ...

Le fluide caloporteur : Le fluide caloporteur est un moyen de transfert de la chaleur collectée par l'absorbeur à un fluide d'échange thermique appelé fluide de travail. Les fluides caloporteurs utilisés sont :

- L'air : C'est un fluide gratuit mais il possède une faible capacité calorifique en comparaison avec celle de l'eau.

- L'eau : Elle possède les avantages suivants : une grande chaleur massique, et une faible viscosité. [9]



**Figure I.5 :** Capteur thermique [11].

## II-2. Panneaux photovoltaïques

L'électricité photovoltaïque est le résultat d'une transformation directe de la lumière du soleil en électricité au moyen des cellules PV. Elles sont essentiellement constituées d'une jonction

PN. Les cellules peuvent être groupées pour former des modules. Les modules peuvent être regroupés pour former des champs photovoltaïques. Le terme module est habituellement utilisé pour décrire un système photovoltaïque (avec plusieurs cellules connectées en série et / ou parallèle). [5]

**a. Capteur photovoltaïque :** Qui transforme l'énergie lumineuse en énergie électrique. L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique. [12]

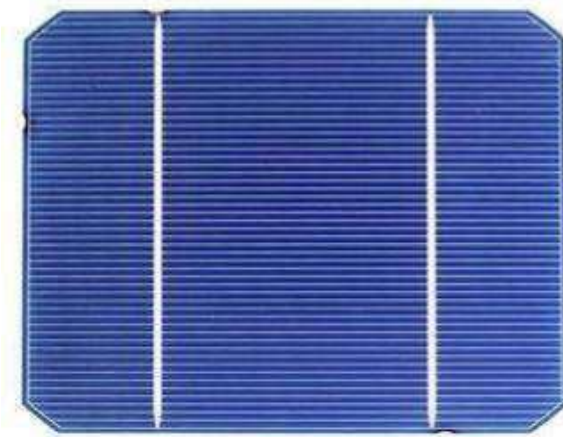
**b. Composant panneau PV:** Le panneau solaire ou (champ solaire) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique [13].

**c. Principe de fonctionnement du panneau PV:** Rassemblez toutes les pièces dans un circuit électrique externe. Le matériau constituant la cellule photovoltaïque doit donc posséder deux niveaux d'énergie et être assez conducteur pour permettre l'écoulement du courant, d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie photovoltaïque. [14]

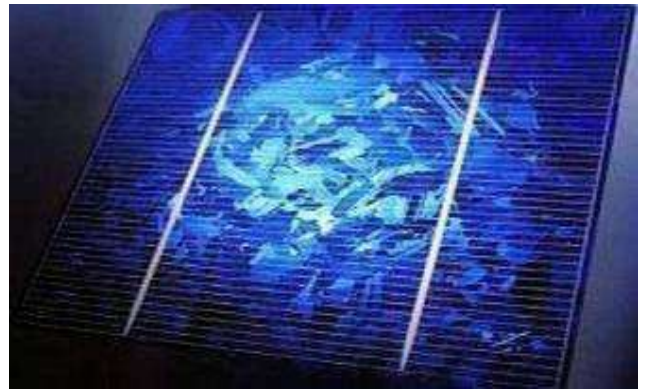
**d. Les types de panneaux photovoltaïques:** Il existe différentes technologies qui composent les installations photovoltaïques :

- Le silicium monocristallin ou poly cristallin.
- Le silicium amorphe.
- Le cuivre/indium/sélénium.

- La première technologie photovoltaïque recourt aux cellules de silicium monocristallin ou poly cristallin ont la meilleure de rendement, qui varie généralement de 13 à 18%. - leur durée de vie est habituellement de plus de 25 à 30 ans et pour le monocristallin le rendement est de 12 à 15%, voir la figure (6) et figure (7). [15].

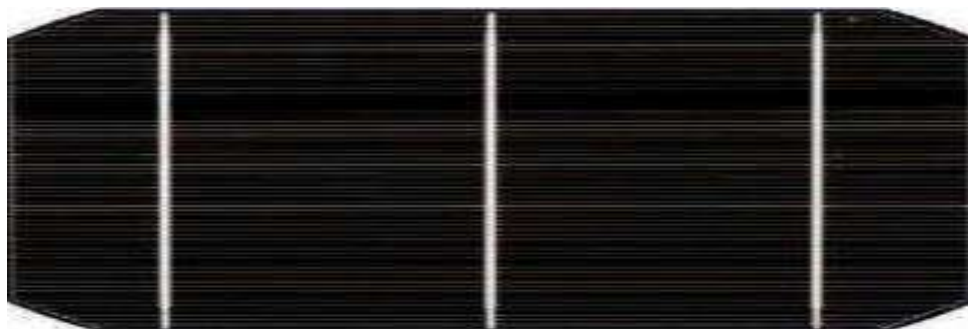


**Figure I.6 :** Les cellules monocristallines [15].



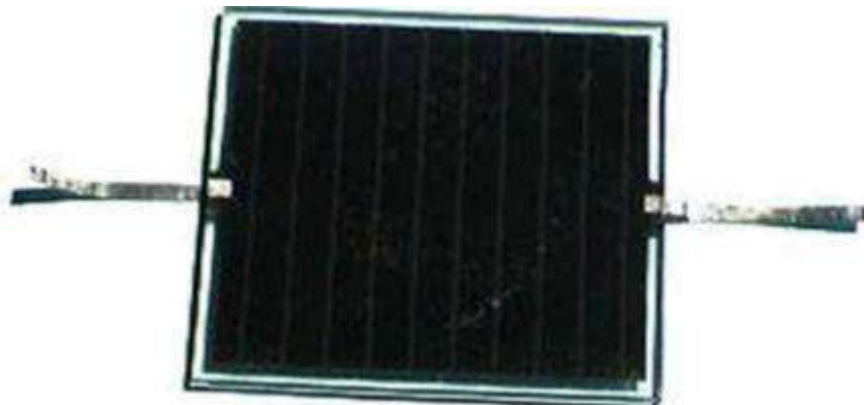
**Figure I.7 :** Les cellules poly cristallin [15]

-La deuxième technologie fait appel aux cellules de silicium amorphe est la deuxième technologie utilisée. Le rendement est moindre, variant de 6 à 10%. Leur durée de vie est généralement inférieure à 20 ans, Voir la figure (8). [15]



**Figure I.8 :** Les cellules amorphes [15].

- La troisième technologie fait appel à d'autres matériaux semi-conducteurs, tels que le Tellure de Cadmium (CdTe), Cuivre Indium Sélénium (CIS), cette technologie en des multicouches est en voie de développement (16). Voir la figure (9). [15]



**Figure I.9 :** Les cellules Cuivre Indium Sélénium CIS [15].

### II-3. Collecteur Photovoltaïque / Convection Hybride (PV/T):

**a. Historique :** La première étape sur les capteurs PV/T était les travaux de Wolf [17] et Kernet Russell [18], pour la conception et la performance des capteurs PV/T employant de l'eau ou de l'air pour le refroidissement. Ensuite, les études de Hendrie [19], Florschuetz. [20], Cox et Raghuraman. [21], qui ont développé des logiciels de simulation permettant l'étude des performances des capteurs PV/T à air, en mettant l'accent sur l'influence des propriétés optiques du vitrage sur les rendements thermique et électrique [22]

**b. Principe et Fonctionnement des Panneaux Solaires Hybrides (PV/T) :** Le capteur hybride photovoltaïque thermique (PV/T) est un module qui produit non seulement de l'électricité mais également de l'énergie thermique. Puisque la demande de la chaleur solaire et l'électricité solaire se complètent souvent, cela semble une idée logique de développer un dispositif qui peut être conforme aux deux demandes. La combinaison d'un capteur thermique et d'un panneau photovoltaïque dans un seul capteur permet l'augmentation de l'efficacité de la conversion totale de l'énergie solaire. Un effet de synergie peut être obtenu dans une structure associant ces deux dispositifs de façon judicieuse à ceux du système photovoltaïque et thermique séparément installés. [22]

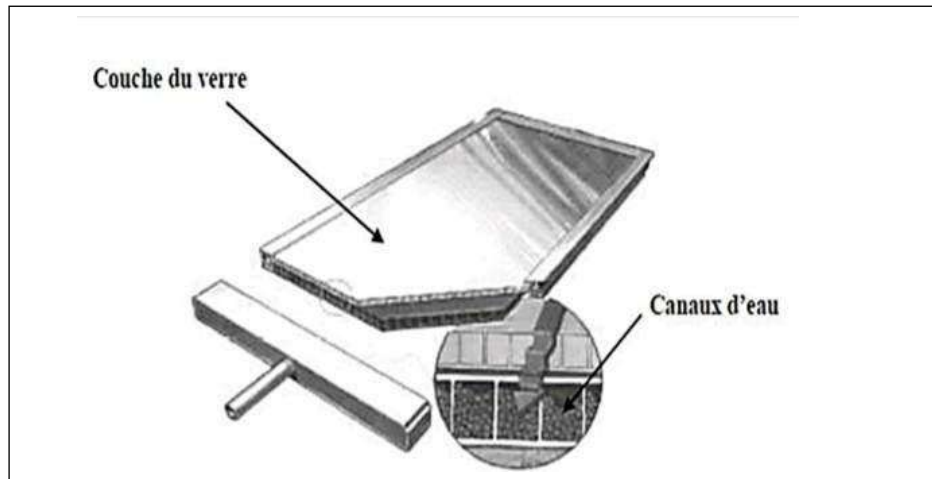
**c. Différents types de systèmes d'alimentation solaire hybrides :** Il existe principalement deux types de capteurs hybrides PV/T. Le type liquide et le type air: [22]

- **Capteurs solaires PV/T à air :** Ce type de capteur relativement simple, est constitué d'une couche absorbante à dos isolé, refroidi par un courant d'air circulant entre l'absorbeur et un couvercle de verre. On peut augmenter sa surface d'échange de chaleur en donnant à l'absorbeur soit un pouvoir émissif élevé, soit avec une surface striée ou rainurée [23].



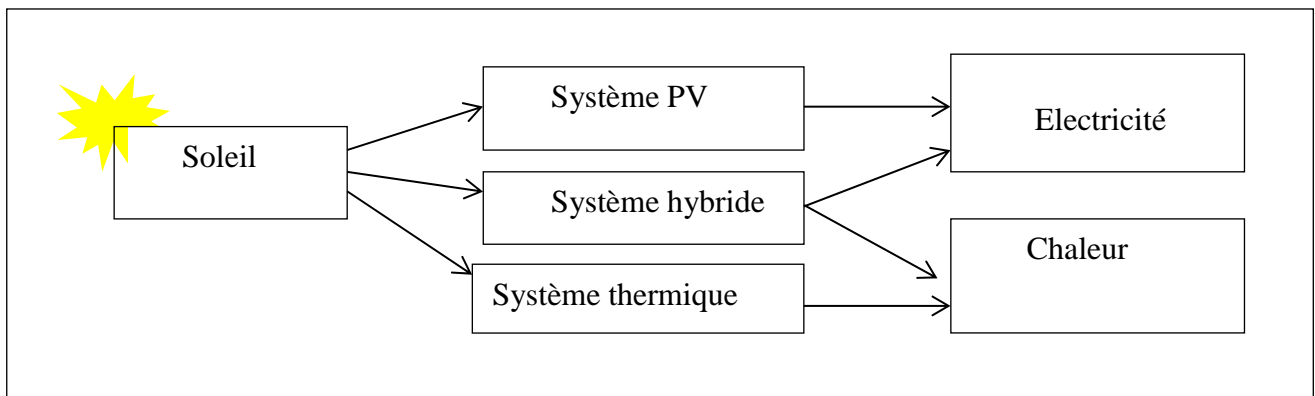
**Figure I.10 :** Banc d'essai du capteur solaire PV/T hybride a air [24].

- **Capteurs solaires PV/T à eau** : Capteurs solaires PV/T à eau Tripanagnostopoulos [23] a effectué l'étude d'un capteur solaire hybride faisant appel à deux types de fluides caloporteurs disposés de manière superposée. Trois configurations ont été conçues et analysées expérimentalement afin d'évaluer le comportement de chacune des formes de production thermique (à air ou à eau). [22]



**Figure I.11** : Schéma du capteur solaire PV/T hybride à eau. [22]

**d. Etude bibliographique sur le capteur hybride PV/T** : Le soleil est la source de la plupart de nos approvisionnements en énergie renouvelable et de l'utilisation directe du rayonnement solaire (Voir figure 12). Les capteurs solaires thermiques sont utilisés pour convertir le rayonnement solaire en énergie thermique, dans un collecteur thermique, un liquide ou un gaz est chauffé et pompé, ou autorisé à circuler par convection thermique, autour d'un circuit et utilisé pour le chauffage domestique ou industriel. Les cellules photovoltaïques sont utilisées pour la conversion directe de la lumière du soleil en électricité. La différence la plus importante entre le système solaire thermique et photovoltaïque est que les systèmes solaires thermiques produisent de la chaleur et des systèmes photovoltaïques produisent de l'électricité. [22]



**Figure I.12 :** Systèmes d'exploitation de l'énergie solaire.

### **e. Techniques pour augmenter les performances de PV/T :**

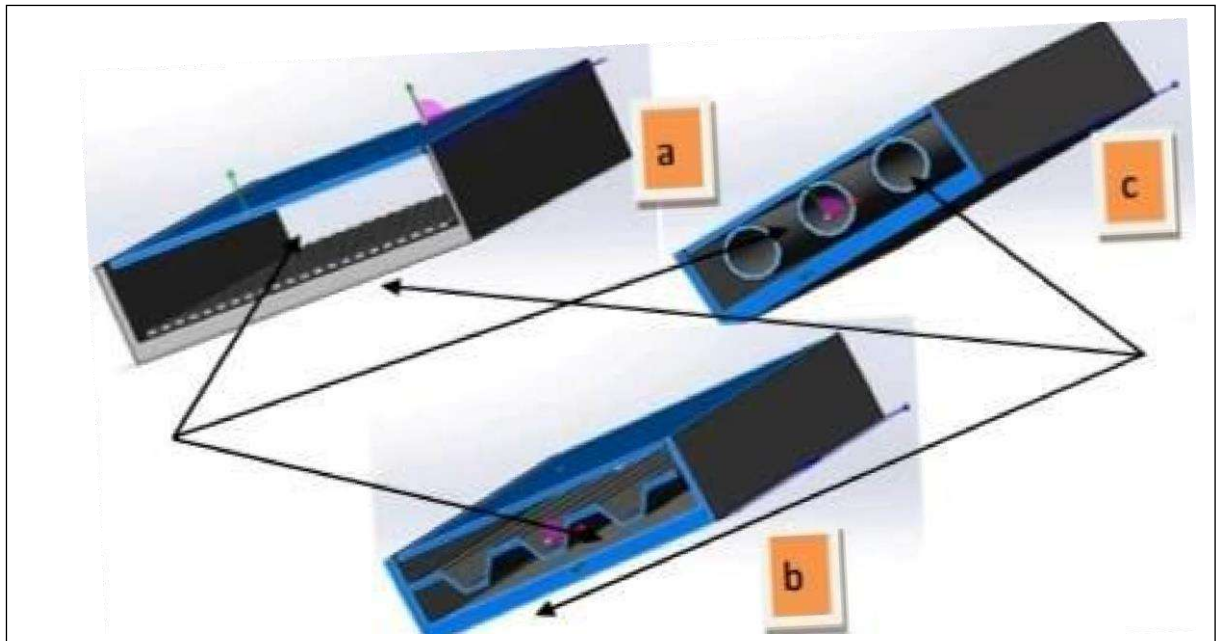
Il existe de nombreux procédés d'amélioration de la performance des collecteurs PV/T telles que l'utilisation d'ailettes fixées à la surface arrière de la PV, feuille ondulée ou treillis métallique dans le canal ou de fournir une circulation sur les deux surfaces avant et arrière du module photovoltaïque. Plusieurs éléments de géométrie peuvent être placés entre le module photovoltaïque et la paroi de canal opposé, ainsi que sur la paroi arrière, par laquelle.

L'extraction de chaleur peut être effectuée de manière plus efficace. Grattage la paroi du canal en face avec des nervures et/ ou en utilisant la surface du mur de haute émissivité, ce qui est considérablement une amélioration de chauffage de fluide à faible coût a également été adapté (a).

La feuille ondulée à l'intérieur de canal fluide le long de l'écoulement de fluide peut être fixé sur la surface arrière PV ainsi que sur la surface opposée de la paroi du canal (b). Une autre modification consiste à mettre tubes légers le long de l'écoulement de fluide.

Dans le canal, avec une légère élasticité pour assurer un contact thermique satisfaisant avec surface arrière PV et la paroi du canal (c). Ces tubes sont chauffés par conduction, convection et rayonnement à partir de la surface arrière PV qui peuvent contribuer à l'extraction de chaleur de fluide, en évitant l'augmentation indésirable de canal en face de la température de surface de paroi. (22)





**Figure I.13 :** Amélioration de l'extraction de chaleur du système d'air PV / T avec (a) des nervures, (b) une feuille ondulée et (c) des tubes (22).

# **CHAPITRE II**

## **Étude Expérimentale**

## **CHAPITRE II : Étude expérimentale.**

### **Introduction**

L'objectif de notre étude est de minimiser la température de fonctionnement du module photovoltaïque en prélevant un maximum de chaleur et ensuite l'utiliser pour sécher les produits agroalimentaires. Le but est donc double : augmenter le rendement électrique du module et exploiter deux types d'énergies : électrique et thermique

La caractéristique  $I(V)$  déterminée par expérimentation pour les deux capteurs a permis d'effectuer la comparaison des performances électriques du capteur hybride par rapport à un module photovoltaïque témoin laissé libre sur la même structure.

### **II.1. Description de la zone d'expérimentation**

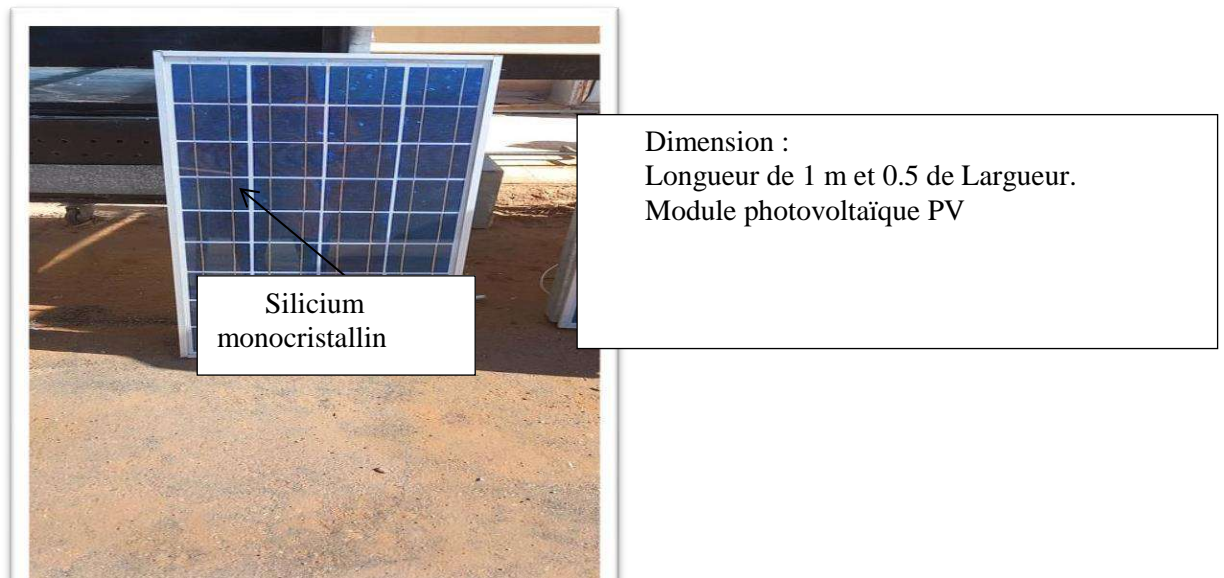
Ce travail a été réalisé au laboratoire LENREZA de la Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière de l'Université KASDI MERBAH Ouargla.

#### **II.1.1. Présentation du concept étudié**

Le prototype choisi dans ce travail est un capteur hybride PV/T, le fluide caloporteur étant de l'air.

##### **a. Panneau photovoltaïque PV**

Il génère de l'énergie électrique en convertissant le rayonnement solaire en électricité directement à l'aide de semi-conducteurs.



**Figure II.1** : module photovoltaïque PV

### **b. Capteur thermique**

Les capteurs solaires thermiques permettent la production d'énergie thermique à partir du rayonnement solaire. Ils sont composés:

- \* d'un corps opaque qui absorbe le rayonnement solaire en s'échauffant,
- \* d'un isolant thermique latéralement et en sous-face,
- \* d'une couverture transparente (en face avant et exposée au rayonnement) qui assure l'effet de serre,
- \* d'un coffrage.

L'énergie solaire récupérée par le capteur solaire et transformée en énergie thermique est cédée au fluide caloporteur (air) (**Figure II.2**).

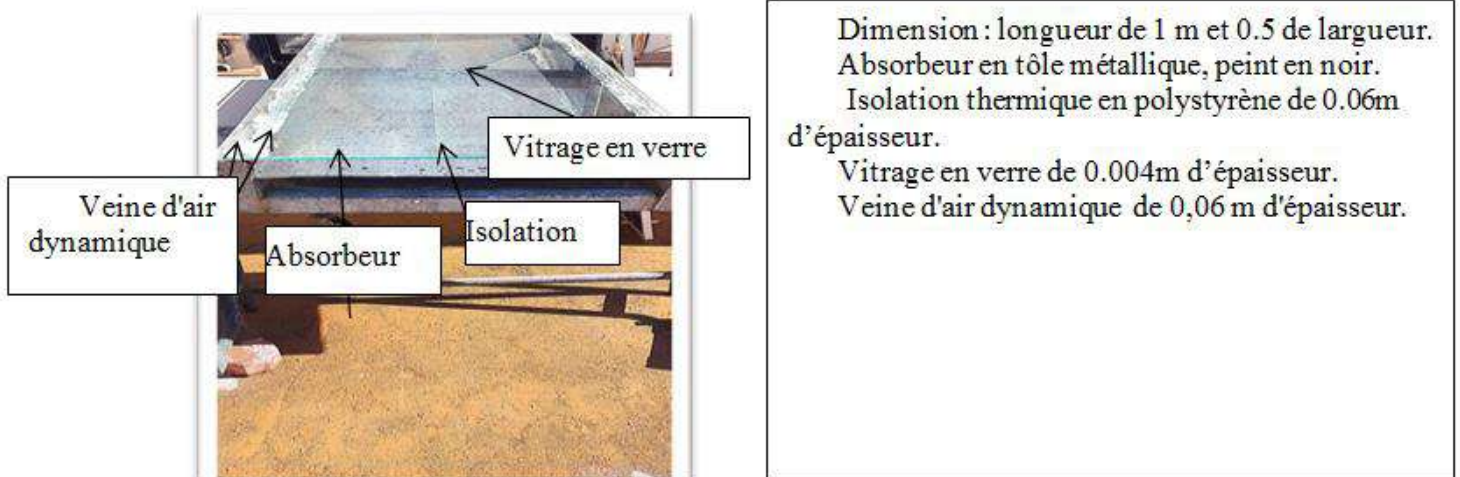


Figure II.2 : Capteur thermique

### II.1.2. Capteur hybride PV/T

Le capteur hybride photovoltaïque thermique (PV/T) que nous étudions est représenté sur la figure II.3. Il est constitué d'un module photovoltaïque qui produit de l'électricité, d'un canal arrière muni d'absorbeur, et d'une couche d'isolation et de protection à l'arrière du capteur

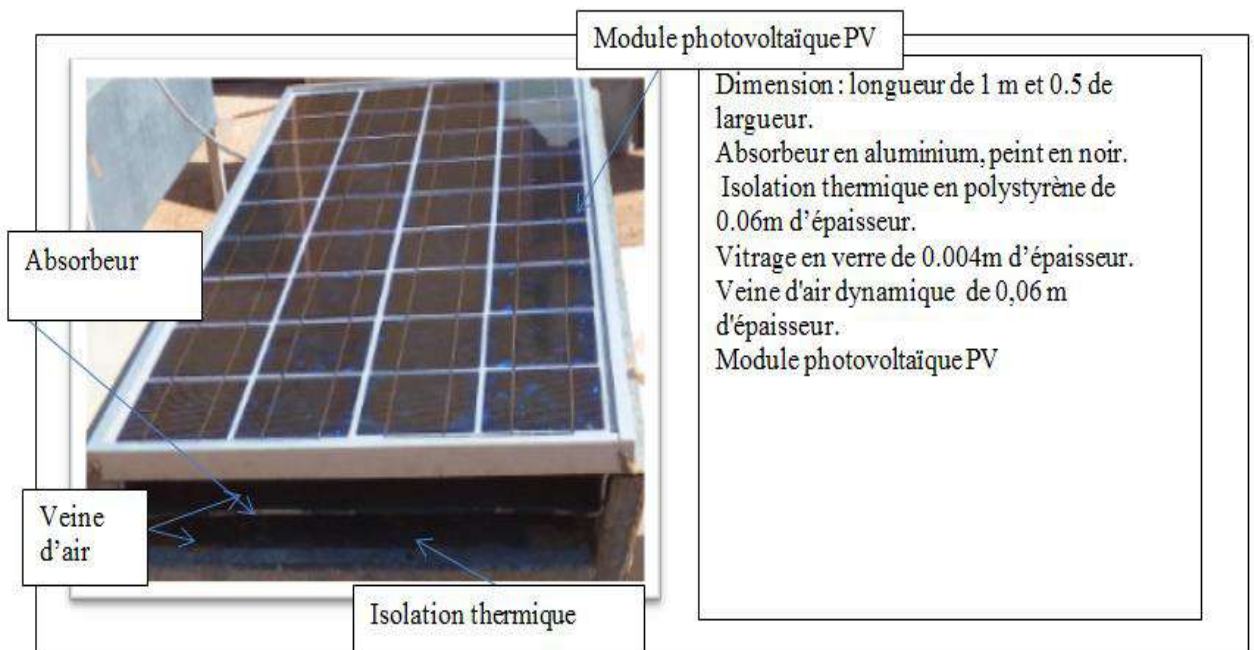
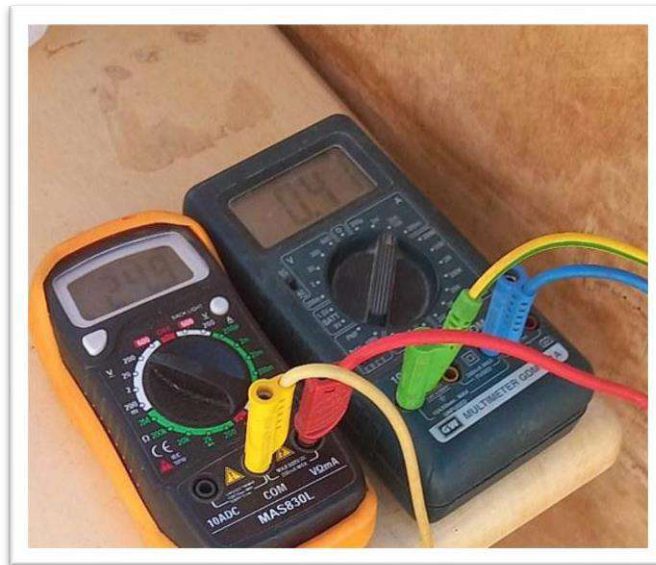


Figure II.3. Capteur hybride PV/T

**II.1.3. Les appareils des mesures :**

**- Capteur de courant et capteur de tension**

Un capteur de courant (Ampèremètre) pour mesurer le courant électrique à la sortie du panneau PV et le capteur hybride. Un capteur de tension (Voltmètre) pour mesurer la tension aux bornes du panneau PV et le capteur hybride.



**Figure II.4.** Voltmètre et Ampèremètre

**- Mesure des températures :**



Thermocouples

**Figure II.5** Température- mètre

Afin de mener à bien l'expérimentation, neuf thermocouples de type « K » ont été placés

sur le système, repartis comme suit :

1. Température ambiante ( $T_{amb}$ )
2. Température du verre ( $T_{Ver}$ )
3. Température de la face avant du capteur photovoltaïque libre PV ( $T_{pv}$ )
4. Température de la face avant du deuxième panneau PV constituant le capteur hybride ( $T_{pv/T}$ )
5. Température de l'absorbeur ( $T_A$ ) du capteur thermique .
6. Température de l'absorbeur ( $T_{A\ PV/T}$ ) du capteur hybride .
7. Température de l'air à l'entrée du capteur thermique et hybride( $T_e$ ).
8. Température l'air à la sortie du capteur thermique ( $T_{s-T}$ ).
9. Température l'air à la sortie du capteur hybride ( $T_s$ ).



**Figure. II.6 :** Mesure de la température dans un capteur thermique

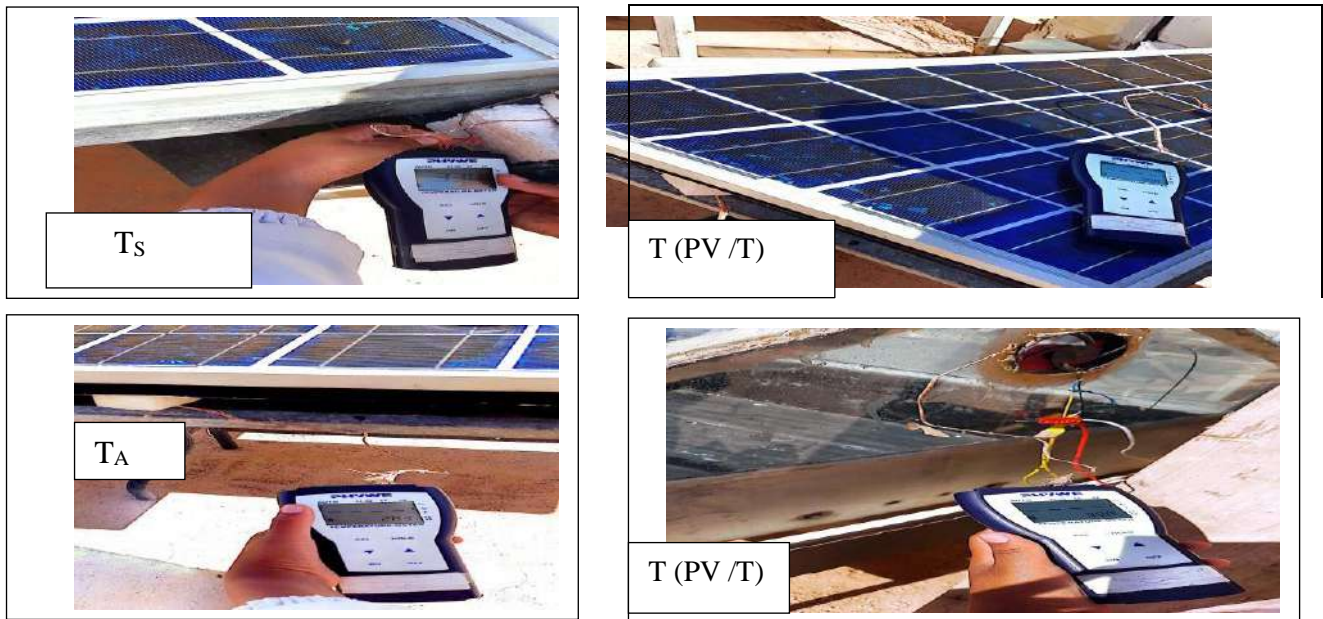


Figure. II.7 : Mesure de la température dans un capteur hybride

**- Mesures de la vitesse d'air :**

L'anémomètre est un instrument destiné à la détermination de la vitesse d'air.

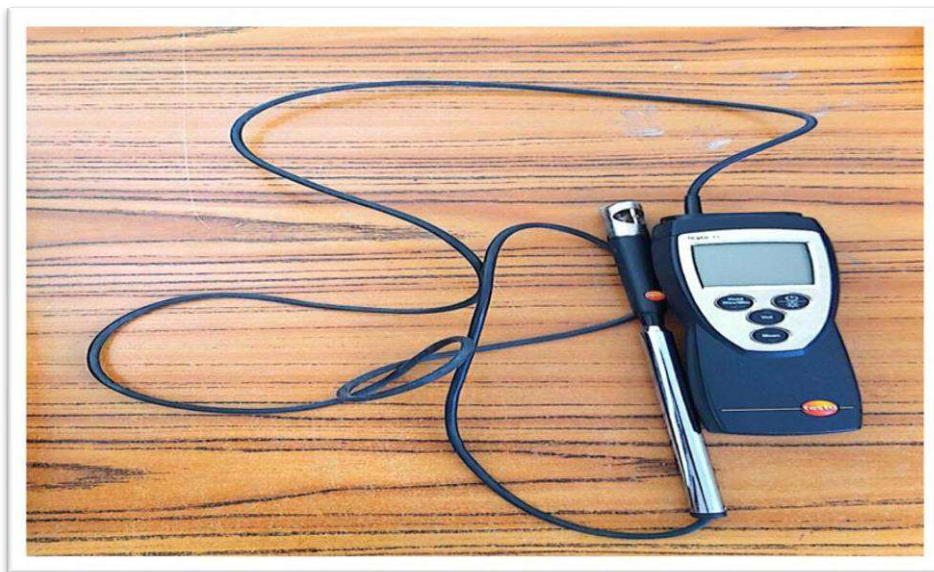
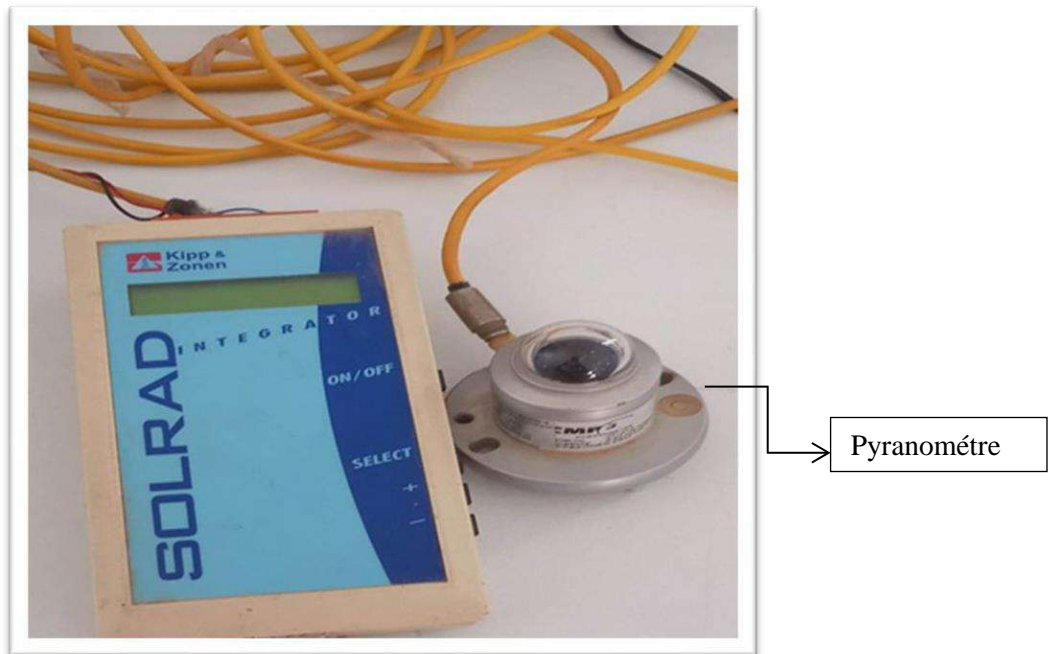


Figure. II.8 : Anémomètre



**- Mesure du rayonnement solaire:**

Les pyranomètres mesurent le rayonnement global (direct + diffus) de tout l'hémisphère céleste dans la bande de longueur d'onde 0.3 à 3  $\mu\text{m}$ . Le pyranomètre d'Eppley est une thermopile adaptée à cet usage. La surface réceptrice comporte deux anneaux concentriques en Argent; l'anneau intérieur est recouvert de noir, l'anneau extérieur recouvert de blanc. La différence de température mesurée entre les deux anneaux par des thermocouples en contact thermique avec les surfaces intérieures des anneaux mais isolés électriquement, peut être enregistrée à raison d'une lecture par heure sous forme d'une tension de sortie de l'ordre du mV (en fait  $10\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ )



**Figure. II.9:** Pyranomètre

### Une charge

Un capteur solaire hybride photovoltaïque/thermique est donc un système de capteur solaire basé sur l'utilisation d'un module photovoltaïque pour la production d'électricité (utilisée notamment pour faire fonctionner des ventilateurs assurant l'écoulement du fluide caloporteur) et la récupération de la chaleur générée par l'exposition au soleil de ce module solaire (pour une utilisation dans le séchage qui réclame de la chaleur).



**Figure. II.10** : Séchoir solaire direct de laboratoire (LENREZA)

## II.2. Réalisation du capteur hybride

Le capteur solaire hybride PV/T a été réalisé et installé au niveau de LENREZA par les étudiants SAOUTI Chourouk et DINE Dounia dans le cadre de la préparation de son Master à l'université l'Université KASDI MERBAH – 2021/2022.

Les processus de fabrication des panneaux solaires photovoltaïques hybride passent par les étapes suivantes :

- Nous coupons le acier galvaniser pour former une boîte rectangulaire dimensionnelle (100×50×12) cm<sup>3</sup> suivant les dimensions de panneau solaire utilisé.
- Mettre l'isolant thermique à l'intérieure d'un boitier en acier galvaniser.
- Fixage la plaque absorbante.



**Figure. II.11 :** Image montrant la plaque absorbante.

- Montage du vitrage à la face supérieure du capteur thermique à l'aide d'une couche de silicone aux côtés verre pour éviter les fuites d'air.



**Figure. II.12 :** Mettre de la silicone pour éviter les fuites.

## II.2.1 Efficacité :

### a. Efficacité thermique :

$$\eta_T = \frac{\rho C_p (T_e - T_s)}{R S}$$

**b. Efficacité électrique :**

$$\eta_{el} = \frac{AV}{RS} * 100$$

**A** : Ampérage

**V** : voltage

**R** : Rayonnement solaire (w/m<sup>2</sup>)

**S** : Surface collectrice (m<sup>2</sup>)

**$\rho$**  : Densité volumétrique (Kg /m<sup>2</sup>)

**C<sub>p</sub>** : Chaleur spécifique (J/kg K)

**T<sub>e</sub>** : Température de l'air d'entrée (°C)

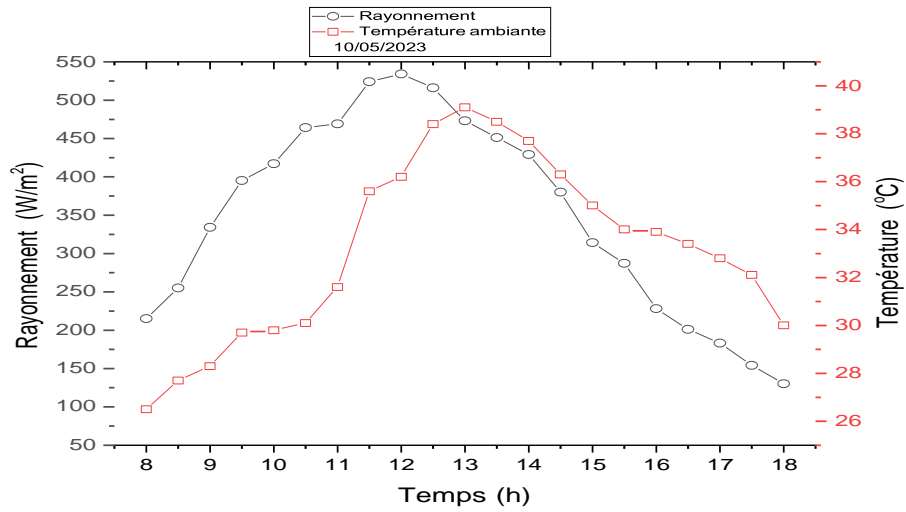
**T<sub>s</sub>** : Température de l'air de sortie (°C)

**II.3. Les résultats et les courbes**

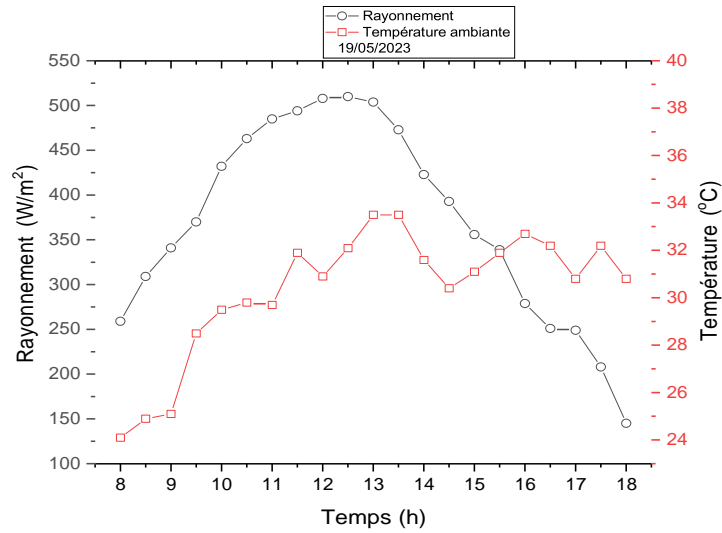
L'étude expérimentale a pour but de déterminer l'influence de la température sur la puissance électrique produite par le panneau PV constituant le capteur hybride. Pour cela, nous avons utilisé deux panneaux PV de mêmes caractéristiques montés sur une seule structure, le premier panneau est utilisé comme un témoin et le deuxième panneau PV pour réaliser le capteur hybride et nous avons étudié le comportement de l'ensemble et la période des expériences a duré 4 mois.

**Cas 1****Variation de la température ambiante et de l'ensoleillement selon le temps**

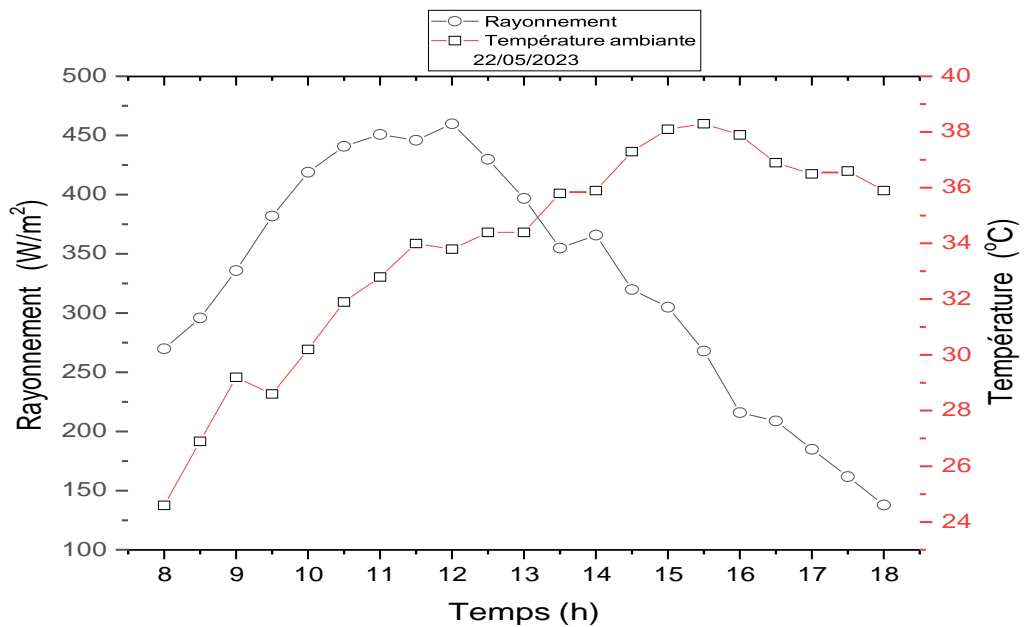
Les mesures de l'éclairement solaire et de la température de l'air ambiant ont été prises pour trois journées du mois de Mai ; la journée du 10/05/2023, la journée 19/05/2023 et la journée du 22/05/2023.



**Figure. II.13** Variation de la température ambiante et du rayonnement solaire en fonction de temps (Mesures du 10/05/2023)



**Figure. II.14** Variation de la température ambiante et du rayonnement solaire en fonction de temps (Mesures du 19/05/2023)



**Figure. II.15** variation de la température ambiante et du rayonnement solaire en fonction de temps (Mesures du 22/05/2023)

La figure II.15 montre l'allure de l'éclairement global pendant les journées 10, 19 et 22 Mai 2023, les données seront importantes et utilisables pour notre étude.

Dans cette journée bien ensoleillée, l'intensité du rayonnement solaire atteint des valeurs maximales, entre 450 et 550 W/m<sup>2</sup> entre 12h00 et 14h00. Et la valeur maximale de la température ambiante atteint .....°C en milieu de journée.

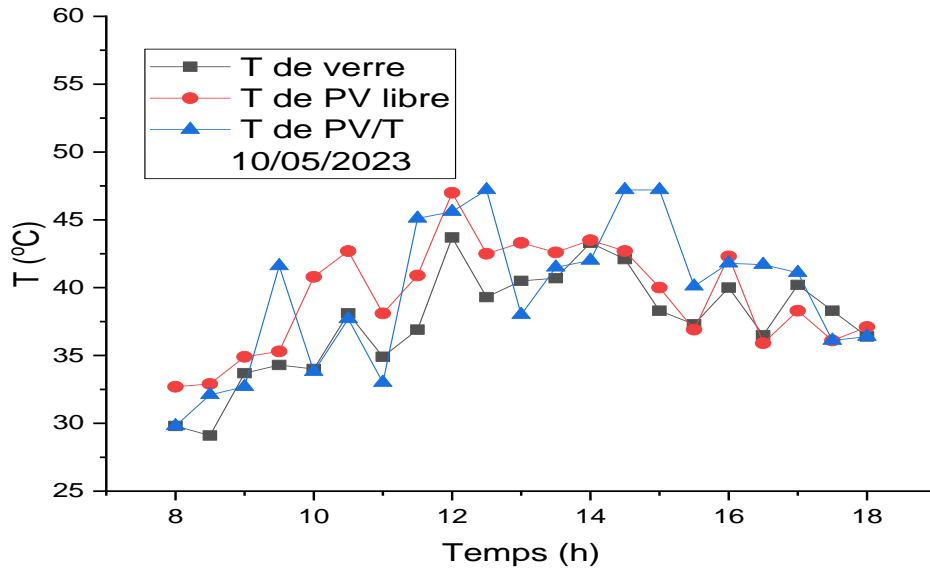
On remarque que la courbe de l'éclairement solaire est lisse pendant la journée 10, 19 et 22 Mai 2023

**Distribution de la température dans les capteurs**

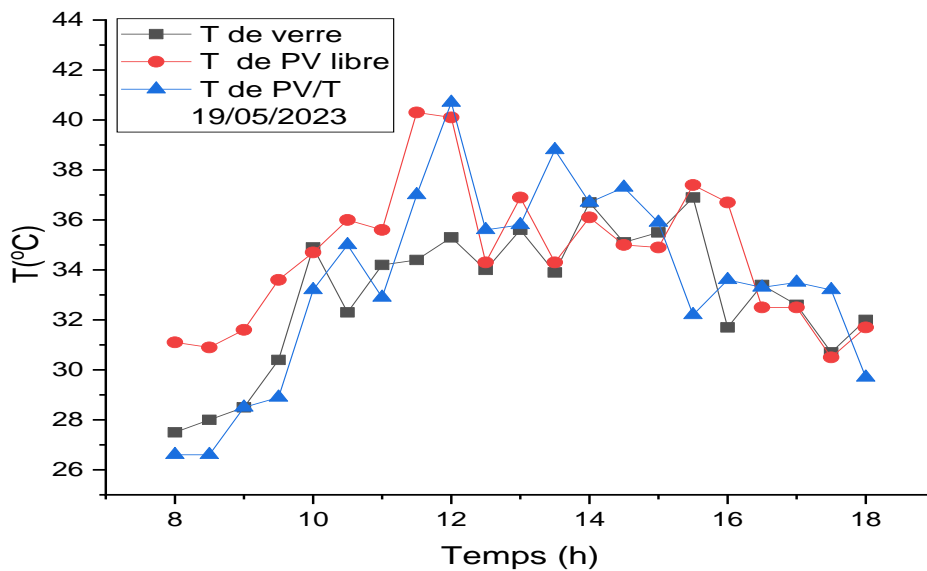
Nous avons mesuré la température au niveau de chaque capteur.

La figure II.16. Montre la distribution de la température en fonction du temps.

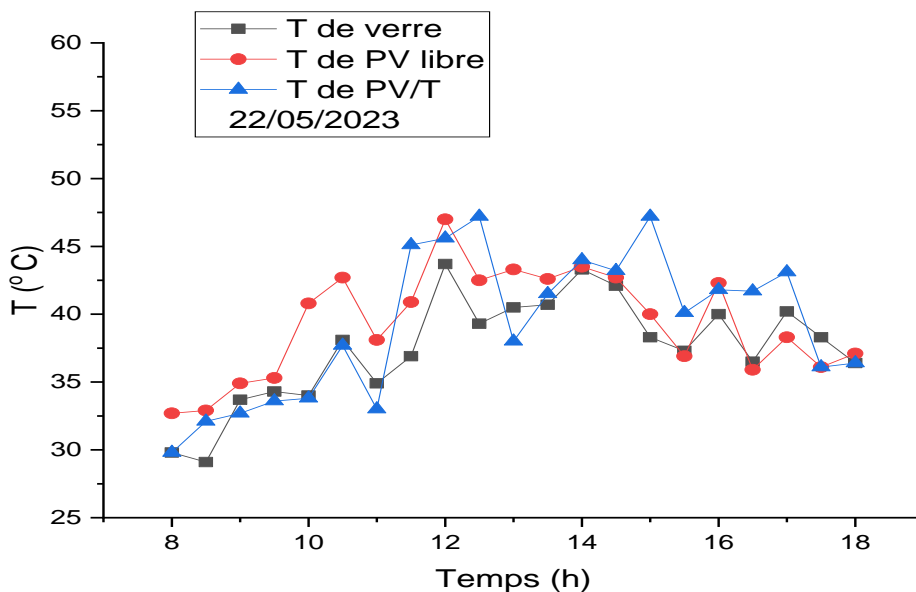
Nous avons relevé la température de la cellule des deux capteurs et on remarque qu'elle est plus faible pour le capteur photovoltaïque hybride.



**Figure II.16.** Variation de la température du vitrage et du panneau PV en fonction temps  
(Mesures du 10/05/2023)

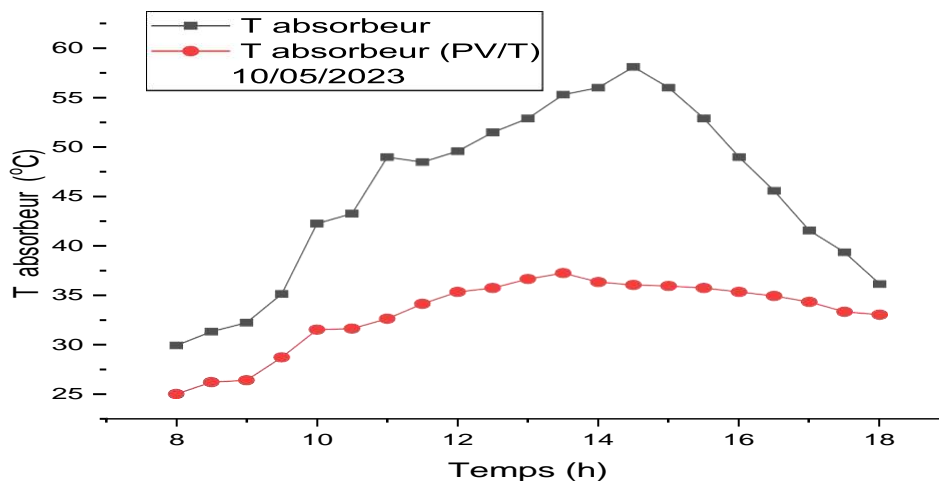


**Figure II.17.** Variation de la température du vitrage et du panneau PV en fonction de temps  
(Mesures du 19/05/2023)



**Figure II.18.** Variation de la température du vitrage et du panneau PV en fonction temps  
(Mesures du 22/05/2023)

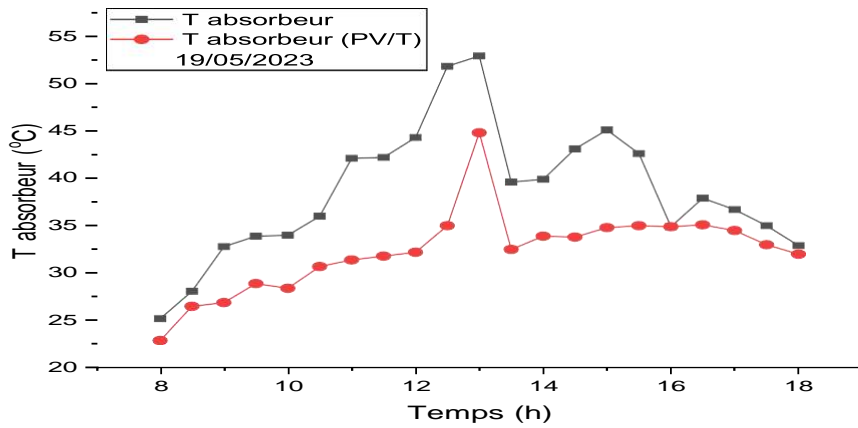
On remarque que pendant la matinée, la température de la face avant du capteur photovoltaïque libre PV ( $T_{pv}$ ) donne une valeur supérieure à la valeur de la température de la face avant du deuxième panneau PV constituant le capteur hybride ( $T_{PV/T}$ ) qui assure le refroidissement des modules PV, mais la pendant la soirée, la température de la face avant du capteur photovoltaïque libre PV ( $T_{pv}$ ) donne une valeur inférieure à la valeur de la température de la face avant du deuxième panneau PV constituant le capteur hybride ( $T_{pv/T}$ ), car, la transmission de l'énergie thermique à travers l'absorbeur vers le panneau PV hybride



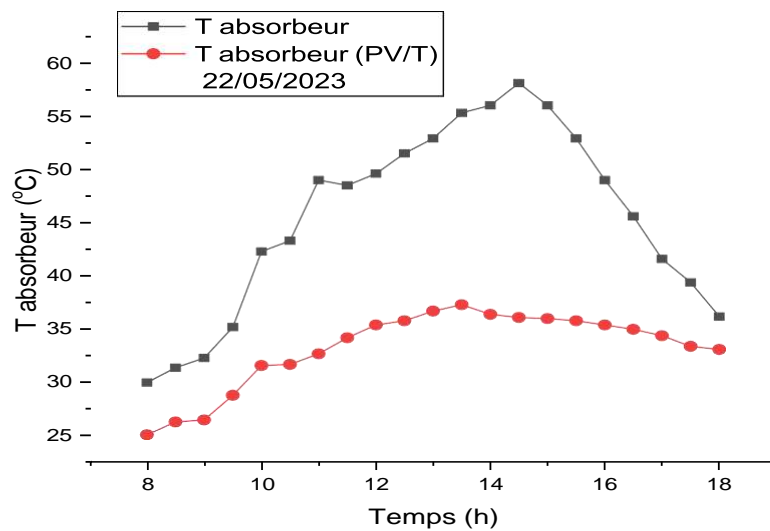
**Figure. II.16** Variation de la température de l'absorbeur en fonction de temps



(Mesures du 10/05/2023)

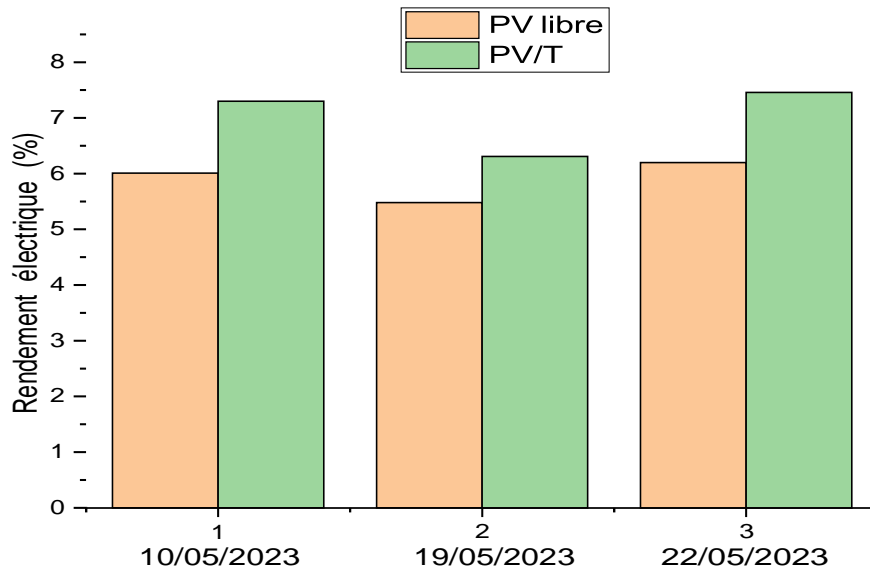


**Figure. II.17.** Variation de la température de l'absorbeur en fonction de temps (Mesures du 19/05/2023)



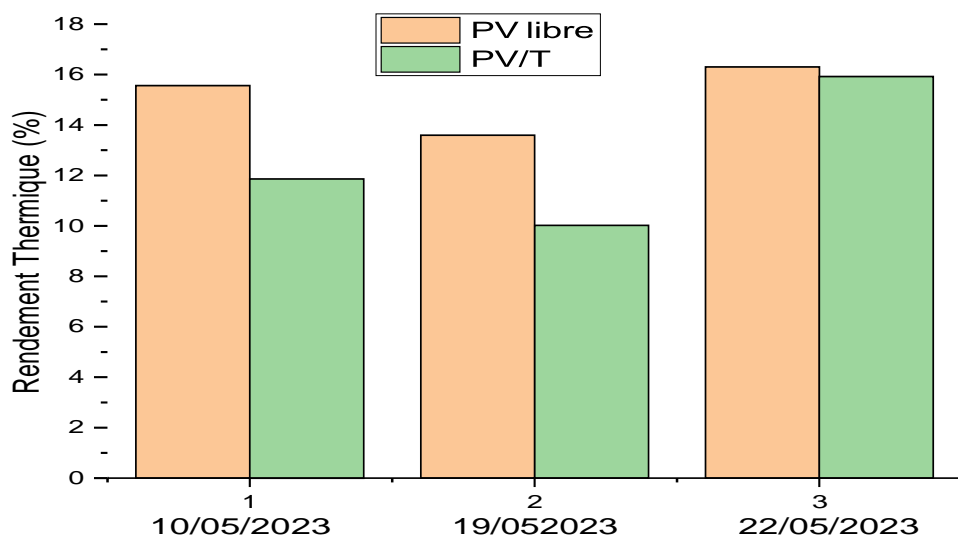
**Figure. II.18** Variation de la température de l'absorbeur en fonction de temps (Mesures du 22/05/2023)

On remarque que l'évolution de les températures à la surface de l'absorbeur de la capteur thermique est nettement supérieure aux températures à la surface de l'absorbeur de la capteur hybride cet écart est dû à l'exposition de l'absorbeur au soleil.



**Figure. II.19.** Rendement électrique journalière du panneau PV libre et du panneau PV du capteur PV-T

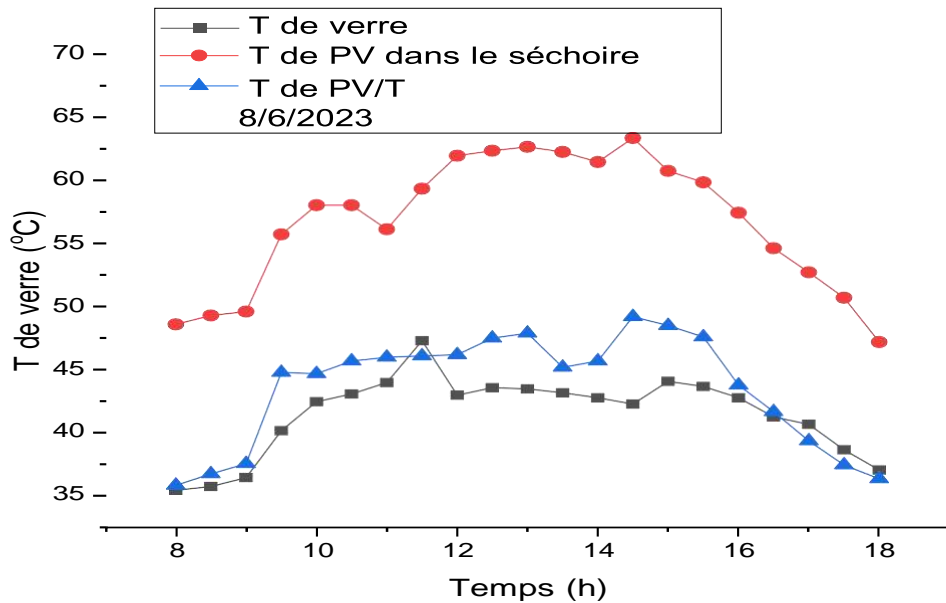
Pour la figure II.19, on remarque que le rendement électrique journalière dans le cas d'un capteur hybride PV/T est plus élevé que celui dans le cas d'un module PV libre, car la température des cellules est plus élevée ce qui abaisse le rendement électrique.



**Figure. II.20** Rendement thermique journalière du panneau PV libre et du panneau PV du capteur PV/T

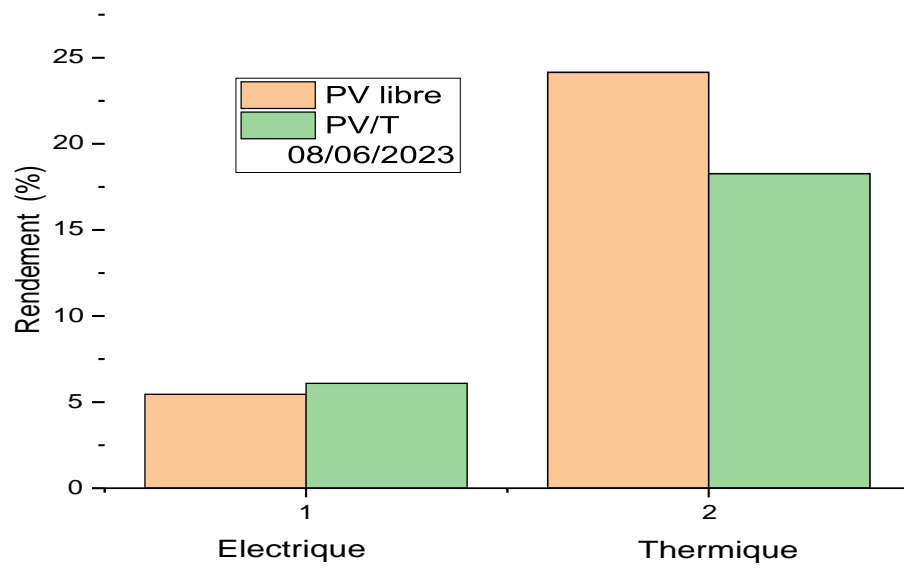
La figure II.20 représente l'évolution journalière de rendement thermique du panneau PV libre et du panneau PV du capteur PV/T pour les trois jours : 10 Mai 2023, 19 Mai 2023 et 22 Mai 2023. Nous remarquons que le rendement du panneau PV libre est plus important par rapport le rendement du panneau PV du capteur PV/T.

Cas 2



**Figure. II.21** variation de la température du vitrage et le panneau PV en fonction de temps  
(Mesures du 08/06/2023)

Le figure (II.21) et montre les variations des profils de température du panneau PV à l'intérieure de la chambre de séchage et la variation de la température à de panneau hybride PV/ en fonction du temps. L'ajout d'une vitre supplémentaire au-dessus du capteur a provoqué une augmentation de la température du panneau PV, car la vitre ajoutée a provoqué un effet de serre entre la vitre et la face avant du capteur PV, ce qui a eu pour effet une augmentation des températures.



**Figure. II.22** Rendement thermique et électrique journalière du panneau PV libre et du panneau PV du capteur PV-T

La figure II.22. Représente le rendement thermique et électrique journalière du panneau PV libre et du panneau PV du capteur PV/T durant la journée 08 juin 2023. D'après la figure II.22., on constate qu'il existe une relation inverse entre le rendement thermique et le rendement électrique.

# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

Le système PV/T est constitué par un panneau photovoltaïque. Le but principal de ce travail était l'étude de l'influence de la température sur les performances du panneau photovoltaïque du capteur PV/T.

Les résultats obtenus montrent que le capteur hybride PV/T constitue une bonne solution aux capteurs photovoltaïques et aux capteurs thermiques classiques séparément installés.

En remarque que :

\* Fournir un refroidissement approprié des cellules d'un panneau photovoltaïque peut obtenir des augmentations remarquables de la puissance électrique générée par eux. La puissance produite du panneau PV du capteur PV/T est supérieur à celle du panneau PV1.

\* Les résultats trouvés expérimentalement montrent l'avantage du système PV/T et l'influence du refroidissement sur les caractéristiques thermiques et électriques du panneau constituant le capteur hybride et l'augmentation de leur production et de leurs efficacité globale.

\* L'ajout d'une vitre supplémentaire au-dessus du capteur a provoqué une augmentation de la température panneau PV.

\* C'est l'installation d'un absorbeur de chaleur dans le panneau solaire photovoltaïque, vous pouvez obtenir de l'air chaud, avec une efficacité suffisante pour être utilisé dans des différentes applications chauffage, etc....

\* Il est possible de réduire l'espace nécessaire à l'installation solaire photovoltaïque et thermique.

\* Il est possible de réduire les matériaux nécessaires pour construire les capteurs solaires et donc de réduire les effets négatifs sur l'environnement.

# **Références bibliographiques**

**Références bibliographique :**

1. GOUAREH Abderrahmane «Maîtrise et optimisation de la gestion énergétique en Algérie», 2017
2. مرجع قرار التأهيل: قرار رقم 1276 مؤرخ ني : 2016/08/09
3. fabien RoGet \_ Définition, modélisation et validation expérimentale d'une capacité de stockage thermique par chaleur latente adaptée à une centrale thermodynamique solaire à basse température \_11 Juin 2012
4. A. Benkhelifa\_ Optimisation d'un Capteur Solaire Plan \_ (1998)
5. Boualem BOUKEZATAa\_Système solaire photovoltaïque connecté au réseau électrique et associé à un filtre actif parallèle \_2014
6. [https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/styles/image\\_530\\_px\\_large/public/image\\_article/photovoltaique-g\\_texte.jpg?itok=e596CrvL](https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/styles/image_530_px_large/public/image_article/photovoltaique-g_texte.jpg?itok=e596CrvL)
7. Etude et Réalisation d'un Capteur Solaire à Air D. Semmar , S. Betrouni \* et D. Lafri \* 1998
8. N.Nadir, Recherche des conditions optimales de fonctionnement d'un séchoir solaire. Mémoire de magister, université Kasdi Merbah Ouargla(2009).
9. BAHADJ Ahmed DEVANT LE JURY, Etude expérimentale de séchage solaire de la pomme de terre, 2014
10. N.Chalal, Etude d'un séchoir solaire fonctionnant en mode direct et indirect. Mémoire de magister. Université Mentouri-Constantine(2007).
11. <https://2es.fr/wp-content/uploads/2015/06/capteur-solaire-plan-vitr%C3%A9-e1434459496752.jpg>
12. Guide de l'utilisateur de Toit Solaire Photovoltaïque. Programme européen PV-SALSA (2002).
13. Belhadj Mohammed, "Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome", Mémoire de Magister, université de Bechar, 2008 .
14. MECHALIKH Med Nadjib \_HAMADA Charaf Eddine\_Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau \_2013



15. KHENFER Naoui \_Contribution au développement et expérimentation d'un collecteur hybride photovoltaïque- thermique dans la zone de Ouargla\_2021
16. Pompagement photovoltaïque : guide à l'intention des ingénieurs et techniciens., s.l. : Institut de L'énergie et de l'environnement de la francophonie, Université d'OTTAWA
17. Tripanagnostopoulos, Y, Aspects and improvements of hybrid photovoltaic thermal solar energy systems, Journal of Solar Energy, Vol. 81, No. 9, 2007, pp. 1117-1131
18. Jong, M. J .M. and Zondag, H. A, System Studies on Combined PV Thermal Panels, 9 the International Conference on Solar Energy in High latitudes, Northsun 2001, The Netherlands, May 6 - 8, 2001.
19. Bakker, M., Strootman, K. J., and Jong, M.J.M, PV/T Panels: Fully Renewable and Competitive, ISES SWC Göteborg, Germany, 2003.
20. Zondag H.A., and Van Helden, W.G.J, PV-Thermal Domestic Systems, 3 rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, May 11 - 18, 2003.
21. Ghoneim, A. A., Al-Hasan A. Y., and Abdullah, A. H, An Economic Analysis of Photovoltaic-Powered Solar Domestic Hot Water Systems in Kuwait, Renewable Energy, Vol. 25, 2002, pp. 81 - 100.
22. Belguendouz Mohand Ali\_ Brahimi Mohammed \_Optimisation des performances d'un panneau solaire à air- Système Hybride PV/T –Etude expérimental- \_2022
23. Singo, A.T., Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome", Thèse de doctorat université Henri Poincaré, Nancy-I, (2010).
24. Tiwari, A., Sodha, M. S., A rametric study of various configurations of hybrid PV/thermal air collector: Experimental validation of theoretical model. Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 91, No. 1, 2007, pp. 17-28.