

KASDI MERBAH OUARGLA UNIVERSITY
FACULTY OF APPLIED SCIENCES
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT



Dessertation
Presented to obtain a master degree-Academic
Specialty : Mechanical Engineering
Option : Energetic
Presented by :

MOSBAH Abdelali

MEHIRI Mohamed Cherif

Topic:

**Experimental study of PV/T collector in
hot climate**

Publicly supported on : 19/06/2019

In front of the jury :

P _r . Boubekri Abdelghani	Professor	UKM Ouargla	President
M _r . Derghout Zoheir	MAA	UKM Ouargla	Examiner
M _r . Dokkar Boubekeur	MCA	UKM Ouargla	Supervisor
M _r . Khenfer Naoui	PhD student	UKM Ouargla	Co-supervisor

Academic year 2018/2019

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Présenté par :

MOSBAH Abdelali

MEHIRI Mohamed Cherif

Thème :

**Etude expérimentale d'un collecteur PV/T
dans un climat chaud**

Soutenu publiquement Le : 19/06/2019

Devant le jury :

P _{r.} Boubekri Abdelghani	Professeur	UKM Ouargla	Président
M _{r.} Derghout Zoheir	MAA	UKM Ouargla	Examineur
M _{r.} Dokkar Boubekeur	MCA	UKM Ouargla	Encadreur/rapporteur
M _{r.} Khenfer Naoui	Doctorant	UKM Ouargla	Co-encadreur

Année universitaire 2018/2019

Remerciement

*Avant tout nous tenons à remercier **ALLAH** qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage de finir le mémoire.*

*Nous tenons à remercier vivement **Mr. DOKKAR BOUBEKEUR** notre Rapporteur qui a fourni des efforts énormes, par ses informations ses conseils et ses encouragements.*

*Nous voudrions remercier spécialement **Mr. KHENFER NAOUI**, chercheur à l'université d'Ouargla, Co-encadreur du mémoire, pour ses compétences scientifiques, ses conseils, sa disponibilité, et sa qualité humaine.*

*Nos remerciements les plus vifs s'adressent aux messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté. D'examiner et d'évaluer notre travail **Pr. Boubekri Abdelghani Et Mr. Derghout Zoheir**.*

*Nous tenons à remercier **les amis de** chez Faculté des sciences appliquées et Langues Université Kasdi Merbah Ouargla, ses compétences scientifiques, ses conseils, sa disponibilité et sa qualité humaine ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.*

Et tous les professeurs de département de Génie Mécanique.

Nos plus chaleureux remerciements à tous ceux qui de près et de Loïn ont contribué à la réalisation de cette mémoire.



Nous dédions ce modeste travail a

A nos chers parents

Pour leur soutien, leur patience, leur sacrifice et leur amour, vous méritez tout éloges, vous qui avez fait de nous ce que nous sommes maintenant

Nous espérons être l'image que vous êtes fait de nous, que dieu vous garde et vous bénisse.

Nous dédions aussi ce travail à nos chers frères et sœurs, pour leur affection et leur encouragement qui ont toujours été pour nous des plus précieux

Que ce travail soit pour vous le gage de notre profond amour

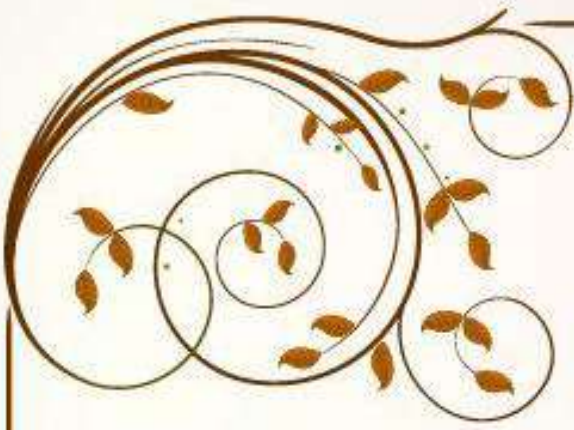
A tout nos amis

A tous ceux qui nous ont aidés.

A tous ceux que nous aimons

Mosbah Abdelali





Nous dédions ce modeste travail a

A nos chers parents

Pour leur soutien, leur patience, leur sacrifice et leur amour, vous méritez tout
éloge vous qui avez fait de nous ce que nous sommes maintenant

Nous espérons être l'image que vous êtes fait de nous, que dieu vous garde et
vous bénisse.

Nous dédions aussi ce travail à nos chers frères et sœurs, pour leur affection et
leur encouragement qui on toujours été pour nous des plus précieux

Que ce travail soit pour vous le gage de notre profond amour

A tout nos amis

A tous ceux qui nous ont aidés.

A tous ceux que nous aimons

Mehiri Mohamed cherif



Sommaire

SOMMAIRE

Sommaire.....	I
Liste des notations et symboles.....	II
Liste des Figures	III
Liste des Tableaux	IV
Introduction générale.....	(1)

Chapitre I

DESCRIPTION GENERAL

I-1 Introduction.....	(3)
I-2 L'énergie solaire.....	(3)
I-3 Les filières d'exploitation de l'énergie solaire.....	(3)
I-3-1 L'énergie thermique.....	(4)
I-3-2 L'énergie photovoltaïque.....	(5)
I-4 Historique de l'énergie photovoltaïque.....	(5)
I-5 Panneaux photovoltaïques.....	(5)
I-5-1 Technologies des cellules photovoltaïques.....	(7)
1- Le silicium monocristallin ou poly cristallin.....	(7)
2- Le silicium amorphe.....	(8)
3- Le cuivre/indium/sélénium.....	(8)
I-5-2 Choix du type de module photovoltaïque.....	(10)
I-6 Le collecteur solaire hybride PV/T (photovoltaïque / thermique)	(10)
I-7 Les différents type de collecteur solaire PV/T.....	(11)
I-7-1 Le collecteur PV/T à air.....	(12)
I-7-2 Le collecteur PV/T à eau.....	(12)

SOMMAIRE

I-7-3 Le collecteur PV/T bi fluide à air et à eau.....	(13)
I-8 Analyse bibliographique.....	(14)
I-9 Le choix de type du capteur hybride.....	(15)

Chapitre II

PROTOTYPE DU COLLECTEUR PV/T

II-1 Introduction.....	(17)
II-2 Conception de prototype de collecteur.....	(17)
II-2-1 Partie Photovoltaïque.....	(18)
II-2-2 Partie thermique.....	(19)
II-3 Système de ventilation.....	(20)
II-4 Appareils de mesure.....	(21)
II-4-1 Solaire mètre (pyromètre)	(21)
II-4-2 L'anémomètre.....	(22)
II-4-3 Le thermomètre.....	(23)
II-4-4 Humidité-mètre.....	(25)
II-4-5 Multimètres.....	(26)
II-5 Rhéostat.....	(28)

Chapitre III

EXPERIMENTATION DE COLLECTEUR

III-1 Introduction.....	(30)
III-2 Préparation préliminaire de l'expérience.....	(30)
III-3 Etapes des l'expérience.....	(31)
III-3-1 Variation de vitesse de ventilation.....	(31)

SOMMAIRE

III-3-2	Mesure de radiation solaire et la vitesse du vent.....	(32)
III-3-3	Mesure les températures.....	(32)
III-3-4	Mesure le courant et la tension de PV.....	(32)
III-3-5	Fixation et isolation de ventilateur.....	(33)
III-4	Procédure expérimentale.....	(34)
III-5	Analyse et interprétation des résultats expérimentaux.....	(36)
III-6	Le premier cas au (15/04/2019).....	(36)
III-6-1	Radiation et température ambiants de site	(36)
III-6-2	Performance thermique.....	(37)
III-6-3	Performance électrique.....	(38)
III-6-4	Puissance thermique et électrique	(42)
III-6-5	Rendement électrique et thermique	(43)
III-7	Le deuxième cas au 18/04/2019	(45)
III-7-1	Radiation et température ambiants de site.....	(47)
III-7-2	Performance thermique.....	(47)
III-7-3	Performance électrique.....	(49)
III-7-4	Puissance thermique et électrique.....	(50)
III-7-5	Rendement électrique et thermique	(51)
III-8	Influence de débit sure les températures d'entrée et sortie.....	(52)
III-9	Conclusion.....	(55)
	Conclusion générale.....	(57)
	Références Bibliographiques.	

❖ Liste des notations et symboles

A	Section de passage d'air dans le canal (m^2).
A_s	La section d'air entrée à l'ouverture du canal (m^2).
APV	Surface de panneau photovoltaïque (m^2).
C_p	Capacité thermique spécifique (kJ/kgK).
Cf	Le facteur de conversion de la puissance thermique.
I_{mp}	Courant de la puissance maximal (A).
I_{sh}	Courant de court-circuit (A).
G	Intensité du rayonnement solaire (W/m^2).
ṁ	Débit massique (kg/s).
P_{mp}	Puissance maximal électrique de PV (W).
P_{th}	La puissance thermique (W).
PV	Photovoltaïque.
PV/T	Photovoltaïque thermique.
T_{abs}	Température de plaque d'aluminium ($^{\circ}C$).
T_{amb}	Température ambiante ($^{\circ}C$).
T_{bs}	Température d'arrière de module PV ($^{\circ}C$).
T_{ent}	Température d'entrée ($^{\circ}C$).
T_g	Température de verre ($^{\circ}C$).
T_s	Température de la sortie ($^{\circ}C$).
T_{top}	Température au-dessus du panneau solaire ($^{\circ}C$).
TFMS	Mince feuille métallique plate.
VPRS	Valorisation et promotion des ressources sahariennes.
V_{mp}	Tension de la puissance maximal (V).
V_{co}	Tension en circuit ouvert (V).
V_{co}	La tension en circuit ouvert (V).

LISTE DES NOTATIONS ET SYMBOLES

V_a	La vitesse (m/s) du fluide dans le canal.
η_{el}	Le rendement électrique.
η_{th}	Le rendement thermique.
ρ	La densité (kg / m ³).

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure (I-1)	Les deux filières d'exploitation de l'énergie solaire.....	(4)
Figure (I-2)	Principe de fonctionnement panneaux solaire photovoltaïque.....	(6)
Figure (I-3)	Les panneaux solaires PV.....	(6)
Figure (I-4)	Les cellules monocristallines.....	(7)
Figure (I-5)	Les cellules poly cristallin.....	(7)
Figure (I-6)	Les cellules amorphes.....	(8)
Figure (I-7)	Les cellules Cuivre Indium Sélénium CIS.....	(8)
Figure (I-8)	Schéma de différent type de collecteur solaire PV/T.....	(11)
Figure (I-9)	Principe de fonction d`air réchauffe.....	(12)
Figure (I-10)	Principe de fonctionnement de chauffe-eau solaire.....	(13)
Figure (I-11)	Principe de fonctionnement de collecteur PV/T bi fluide.....	(13)

CHAPITRE II

Figure (II-1)	Le prototype de collecteur PV/T.....	(17)
Figure (II-2)	Panneau solaire photovoltaïque.....	(18)
Figure (II-3)	Deux parties thermiques.....	(19)
Figure (II-4)	Ventilation RQA5-13 avec couvert d'isolation.....	(21)
Figure (II-5)	Pièces de modèle RQA5-13.....	(21)
Figure (II-6)	Parties de Pyromètre.....	(22)
Figure (II-7)	L'anémomètre CHAUVINARNOUX (C.A 1051).....	(23)
Figure (II-8)	Le thermomètre TM-946.....	(24)
Figure (II-9)	Thermocouple type K.....	(25)
Figure (II-10)	Humidité mètre HT-3006 A.....	(26)
Figure (II-11)	Multimètres de type MASTCH MY68.....	(27)
Figure (II-12)	Multimètres de type 10401 MUT-33.....	(28)

LISTE DES FIGURES

Figure (II-13) Rhéostat a 33 Ω	(28)
CHAPITRE III	
Figure (III-1) Le system (PV/T).....	(30)
Figure (III-2) La positions de réglage de la profondeur de canal.....	(31)
Figure (III-3) Principe de fonctionnement de system PV/T.....	(31)
Figure (III-4) Préparation préliminaire de system.....	(33)
Figure (III-5) Variations de radiation solaire et la température ambiante (15-04-2019)	(36)
Figure (III-6) L'évolution temporelle des températures du T_{top} et T_{bs} du module PV.....	(37)
Figure (III-7) L'évolution des températures d'entrée et la sortie, et la vitre du module PV en fonction du temps.....	(38)
Figure (III-8) La variations du courant de court - circuit et du courant dans la puissance maximale en fonction du temps.....	(39)
Figure (III-9) Variations de la tension en court- circuit et de la tension dans la puissance maximale en fonction du temps.....	(40)
Figure (III-10) Courbes I-V.....	(41)
Figure (III-11) La puissance électrique et thermique du collecteur.....	(43)
Figure (III-12) L'évolution des rendements électriques et thermiques du collecteur en fonction du temps. (44)	
Figure (III-13) L'évolution de rendement total du collecteur en fonction du temps	(45)
Figure (III-14) Variations de radiation solaire et la température ambiante (18-04-2019).....	(47)
Figure (III-15) Températures Top et Tbs du module PV.....	(48)
Figure (III-16) Evolution temporelle des températures d'entrée et la sortie, la vitre et l'absorbeur du canal.....	(48)
Figure (III-17) Variations du courant de court - circuit et du courant de la puissance maximale à $V=0.8$ m/s.....	(49)

LISTE DES FIGURES

Figure (III-18) Variations de la tension en circuit ouvert et de la tension de la puissance a $V=0.8$ m/s.....	(50)
Figure (III-19) Puissance électrique et thermique du collecteur PV/T.....	(50)
Figure (III-20) L'évolution temporelle des rendements électrique et thermique du collecteur.....	(51)
Figure (III-21) Evolution de rendement total du collecteur à $V=0.8$ m/s.....	(52)
Figure (III-22) Différence de température d'entrée et sortie pour les débits massiques (0.032 kg/s et 0.12 kg/s).....	(53)
Figure (III-23) le rendement total à deux cas.....	(54)

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

CHAPITRE I

Tableau (I-1) Différents types et caractéristiques des cellules photovoltaïques..... (9)

CHAPITRE II

Tableau (II-1) Propriétés de panneau photovoltaïque..... (19)

Tableau (II-2) Propriétés de ventilation RQA5 -13..... (21)

CHAPITRE III

Tableau (III-1) Propriétés de l'équipement de surveillance..... (33)

Tableau (III-2) Présent les données expérimentales thermique et électrique à le jour
(15/04/2019)..... (35)

Tableau (III-3) Présent les données expérimentales thermique et électrique à le jour
(18/04/ 2019)..... (46)

Introduction générale

Introduction générale

Depuis son existence sur terre, l'homme a utilisé de sources d'énergie sous toutes ses formes (vent, eau, sol.....) pour produire de l'énergie motrice (il a brûlé du bois pour avoir de la chaleur). Dans l'ère moderne, il a utilisé la chaleur du soleil comme source pour produire de la chaleur et l'électricité. Parmi les moyens inventés les plaques photovoltaïques pour la production de l'électricité mais la hausse de la température des ces plaques qui agit négativement sur leur rendement, ce qui a poussé à œuvrer vers l'intégration des systèmes de refroidissement. Mais, il est préférable de profiter de cette perte de chaleur et l'utiliser dans divers domaines.

Dans ce contexte, notre mémoire se concentre sur la conception des capteurs hybride PV/T (production chaleur et électricité), qui contient des panneaux solaires et en dessous de ces derniers des conduites de flux d'air pour récupérer de chaleur dégagée. Cette chaleur peut être orientée vers la partie supérieure supplémentaire de la conduite recouverte en verre afin d'augmenter son réchauffement. Ce système est muni d'un ventilateur pour aider la circulation d'air dans les conduites,

Les présents travaux est divisée en trois chapitres. Le premier chapitre, est consacré aux généralités sur l'énergie solaire et une brève présentation de l'état de l'art d'énergie solaire photovoltaïque. Le deuxième chapitre traite la conception du prototype de system PV/T et choix des appareils de mesure, ainsi l'étude de l'installation de système au site d'Ouargla. Ensuite le troisième chapitre est réservé à la présentation et discussions des résultats expérimentaux.

Enfin, le travail est clôturé par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I

DESCRIPTION GENERALE

I-1 Introduction

Récemment, les énergies renouvelables jouent un rôle important dans la production de l'électricité. Parmi ces nouvelles énergies (biomasse, éolienne, solaire, géothermique), l'énergie solaire photovoltaïque (PV) représente la meilleure option pour l'avenir, car elle est illimitée, disponible partout et peut être utilisée sans aucune pollution [1] [2]. L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin.

I-2 L'énergie solaire

Ce terme désigne l'énergie fournie par les rayons du soleil. Le soleil est la source d'énergie la plus puissante et cette énergie est gratuite. Les technologies actives transforment l'énergie solaire en une forme électrique ou thermique [3]. Cette énergie se caractérise par les avantages suivants :

- Une énergie renouvelable et discernable d'utilisation
- Sans émissions polluantes (CO₂, CH₄, SO_x
- Sans odeur set silencieux.
- Elle peut être appliquée dans des systèmes énergétiques autonomes et résistants aux conditions atmosphériques pénibles.
- Elle peut être combinée avec d'autres sources d'énergie pour augmenter la fiabilité de système.
- Elle a une longue durée de vie.

I-3 Les filières d'exploitation de l'énergie solaire

Plusieurs technologies existent pour capter et convertir l'énergie solaire. Ces technologies développées permettent de convertir cette énergie en chaleur ou en électricité. La figure (I-1) montre les deux filières principales d'utilisation de l'énergie solaire.

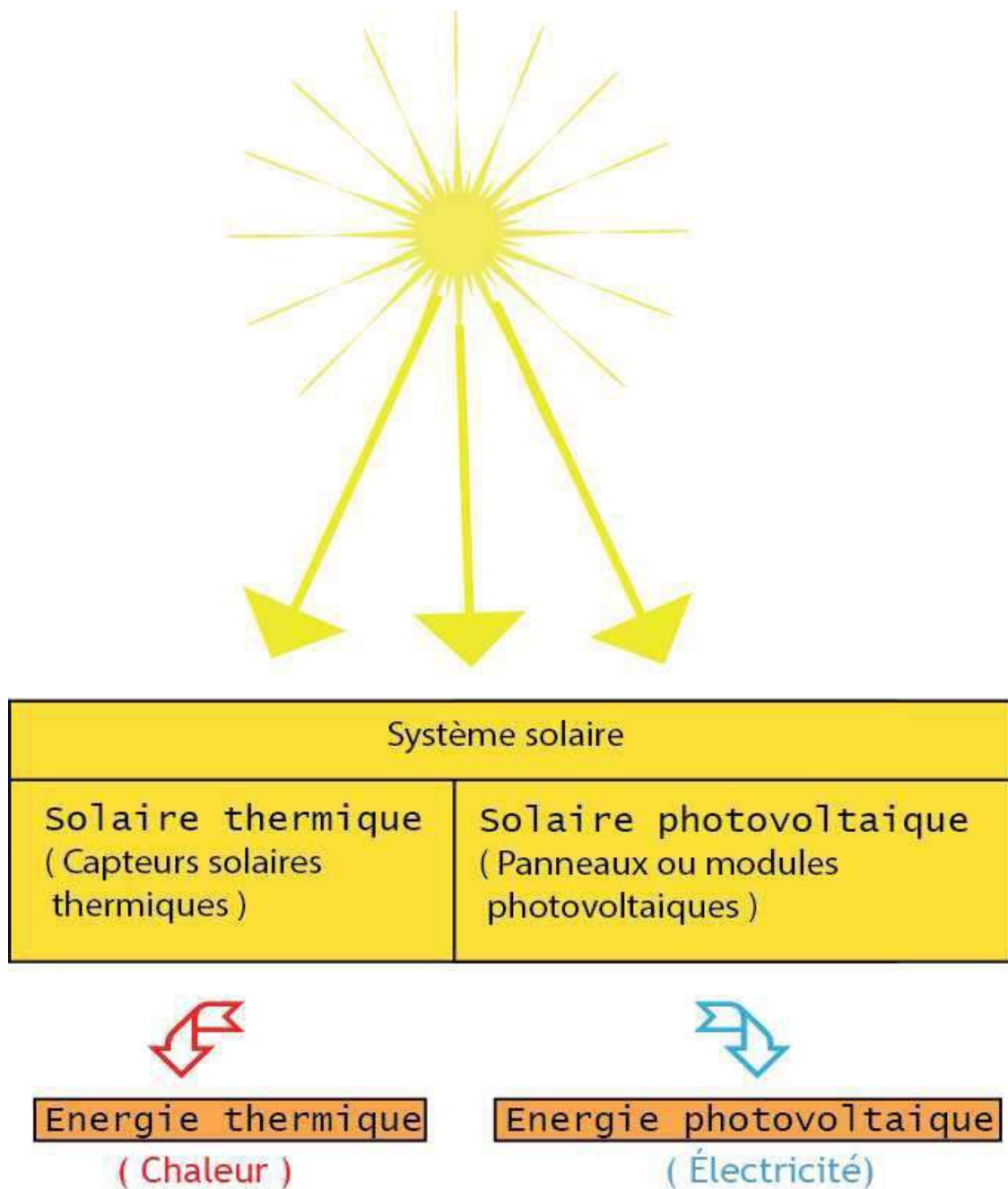


Figure (I-1) Les deux filières d'exploitation de l'énergie solaire

I-3-1 L'énergie thermique

Cette technologie convertit l'énergie solaire en chaleur. Les atomes composant le matériau des capteurs solaires sont excités par les photons. En récupérant une partie de leur énergie, les atomes changent d'état énergétique, créant une agitation thermique. Les atomes vont alors libérer le surplus d'énergie sous forme d'énergie thermique, se manifestant sous forme de chaleur. Elle transportée par un fluide caloporteur (eau, gaz...), pour un usage ultérieur vous être stocké (ballon d'eau chaude par exemple) [4].

I-3-2 L'énergie photovoltaïque

Le mot " photovoltaïque " vient du grec " photo " qui signifie lumière et de " voltaïque " qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro Volta (1754 - 1827) qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque signifie la lumière électricité. Cette technologie convertit directement l'énergie solaire en électricité. Le matériau des capteurs, souvent à base de silicium (Si) semi-conducteur, Les photons vont exciter des électrons dans ce matériau, en leur transférant une partie d'énergie et rendant mobiles. Ces électrons mis en mouvement vont ainsi produire un courant continu, pouvant alimenter un réseau électrique. L'utilisation de cette énergie dans certains appareils électriques nécessite on transformation en courant alternatif [4] [5] [6].

I-4 Historique de l'énergie photovoltaïque

Quelques dates importantes dans l'énergie photovoltaïque

1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'académie des sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs [7].

1954 : Trois chercheurs américains Chapin, Pearson et Prince fabriquent une cellule Photovoltaïque [7] [8].

1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % ; les premiers satellites alimentés par des cellules Solaires sont envoyés dans l'espace [8].

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à L'université de Delaware [9].

1983 : La première voiture alimentée en énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 Km en Australie [7].

I-5 Panneaux photovoltaïques

Il s'agit d'un appareil utilisant la lumière du soleil pour produire de l'énergie électrique ou de la chaleur (énergie thermique) afin de réchauffer l'intérieur des bâtiments ou de fournir de l'eau chaude.

Le principe de l'énergie solaire photovoltaïque : transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque, Voir la figure (I.2).

Les panneaux solaires sont considérés comme une des sources d'énergie les plus propres, Voir la figure (I-3).

Les panneaux solaires photovoltaïques regroupent des cellules photovoltaïques reliées entre elle en série et en parallèle.

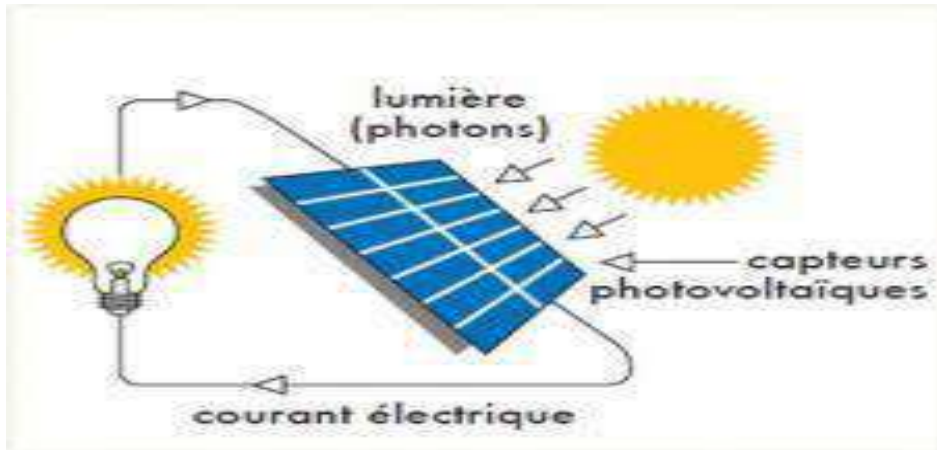
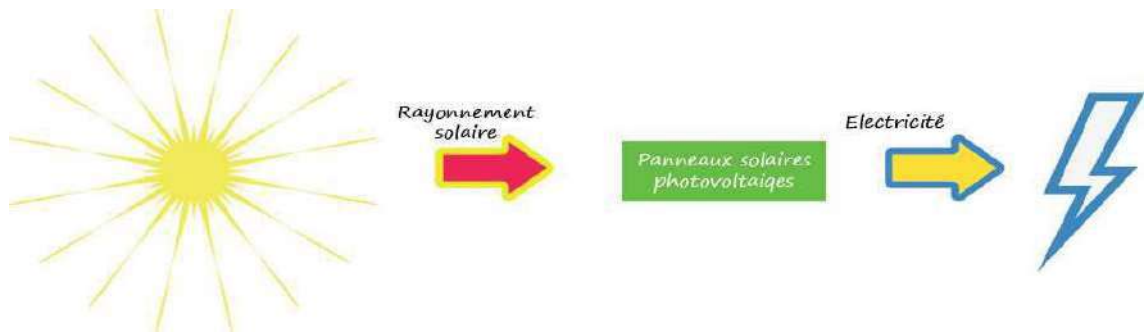


Figure (I-2) Principe de fonctionnement panneaux solaire photovoltaïque

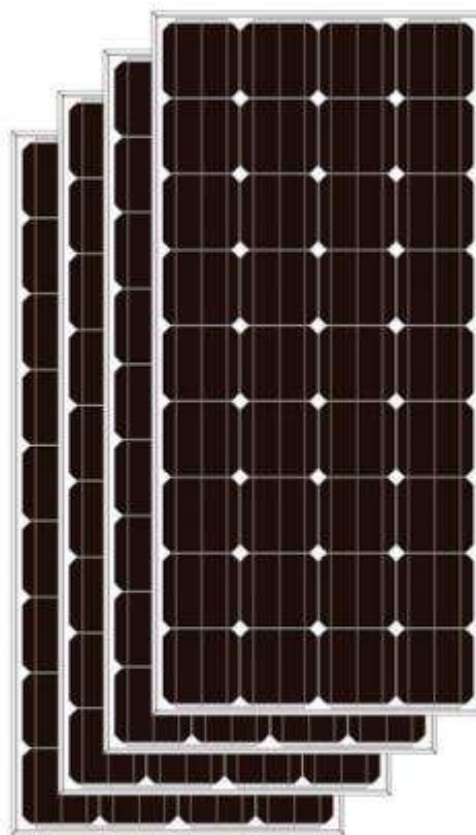


Figure (I-3) Les panneaux solaires PV

I-5-1 Technologies des cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité, elles sont réalisées à l'aide des matériaux semi conducteurs. Il existe différentes technologies qui composent les installations photovoltaïques :

1. Le silicium monocristallin ou poly cristallin.
2. Le silicium amorphe.
3. Le cuivre/indium/sélénium.

- **La première technologie** photovoltaïque recourt aux cellules de silicium monocristallin ou poly cristallin ont la meilleure efficacité, qui varie généralement de 13 à 18 %.

- leur durée de vie est habituellement de plus de 25 à 30 ans et pour le monocristallin l'efficacité et de 12 à 15 %, voir la figure (I-4) et figure (I-5).



Figure (I-4) Les cellules monocristallines

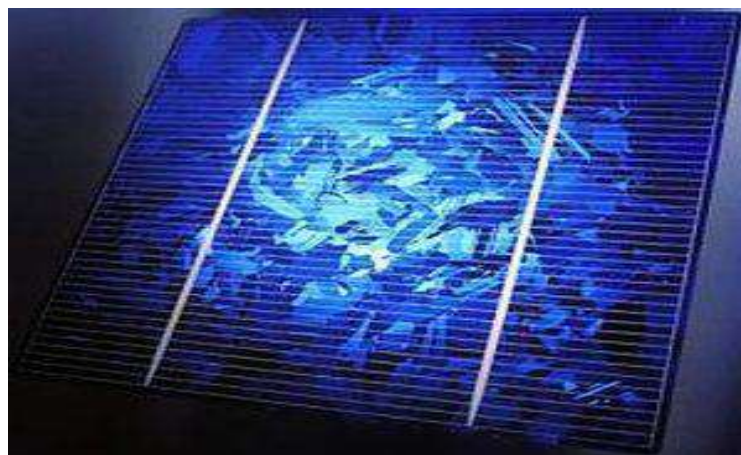


Figure (I-5) Les cellules poly cristallin

-**La deuxième technologie** fait appel aux cellules de silicium amorphe est la deuxième technologie utilisée. L'efficacité est moindre, variant de 6 à 10 %. Leur durée de vie est généralement inférieure à 20 ans, Voir la figure (I-6).

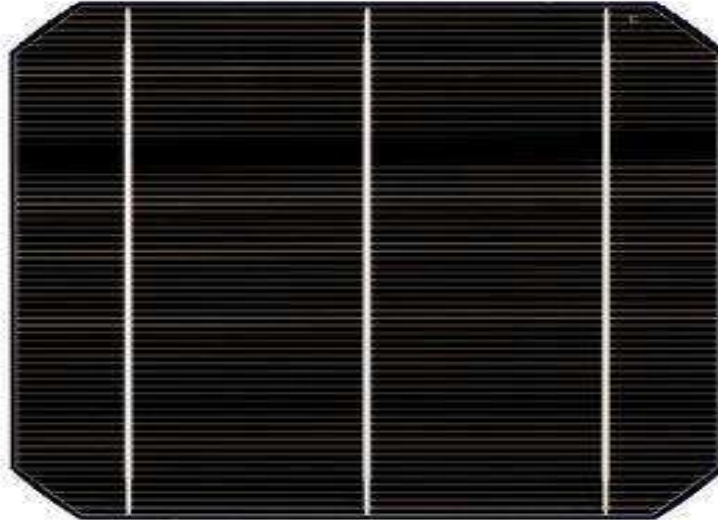


Figure (I-6) Les cellules amorphes

- **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. [10] Voir la figure (I-7).

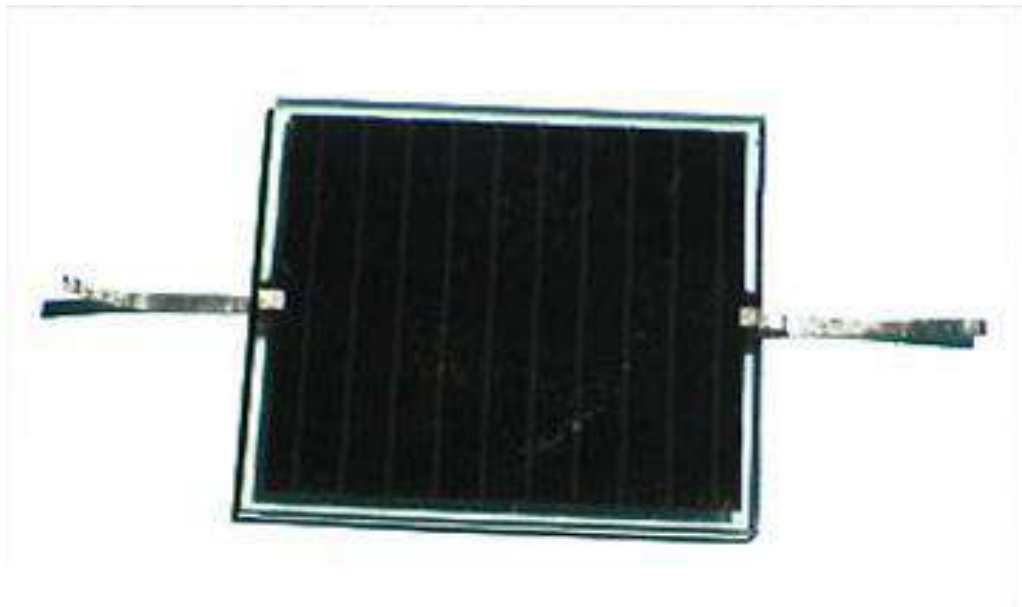


Figure (I-7) Les cellules Cuivre Indium Sélénium CIS

Nous allons récapituler les différents types de technologie dans le tableau (I-1) suivant :

Technologies	Monocristalline	Poly cristallin	Amorphe
<p>Cellule et module</p>			
<p>Caractéristiques</p>	<p>Très bon rendement : 14 à 20 %.</p> <p>Durée de vie : Importante (30 ans)</p> <p>Coût de fabrication : élevé.</p> <p>Puissance : 100 à 150 W/m². 7 m²/kW.</p> <p>Rendement faible sous un faible éclairement.</p> <p>perte de rendement avec l'élévation de la température.</p> <p>Fabrication : élaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal</p>	<p>Bon rendement : 11 à 15 %.</p> <p>Durée de vie : Importante (30 ans)</p> <p>Coût de fabrication : Meilleur marché que les Panneaux monocristallins</p> <p>Puissance : 100 W/m². 8 m²/kW.</p> <p>Rendement faible sous un faible éclairement.</p> <p>perte de rendement avec l'élévation de la température.</p> <p>Fabrication : élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux.</p>	<p>Rendement faible : 5 à 9 %.</p> <p>Durée de vie : Assez importante (20 ans)</p> <p>Coût de fabrication : peu onéreux par rapport Aux autres technologies</p> <p>Puissance : 50 W/m². 16 m²/kW.</p> <p>Fonctionnement correct avec un éclairement faible.</p> <p>Peu sensible aux températures élevées.</p> <p>Fabrication : couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de</p>

	Couleur bleue uniforme.	Ces cellules sont bleues, mais non uniforme : on distingue des motifs créés par les différents cristaux.	vaporisation sous vide. Utilisables en panneaux souples. Surface de panneaux plus importante que pour les autres panneaux au silicium. Performances diminuant avec le temps. Rendement faible en plein soleil.
Part de Marché	43 %	47 %	10 %

Tableau (I-1) Différents types et caractéristiques des cellules photovoltaïques

I-5-2 Choix du type de module photovoltaïque

Après l’analyse de toutes les caractéristiques des différents types de panneaux solaires cités ci-dessus et en comparant leurs avantages et inconvénients, les panneaux photovoltaïques monocristallins ont été sélectionnés pour la production d’électricité dans le capteur hybride. En particuliers, malgré, qu’ils sont relativement couteux, mais ils possèdent un rendement est élevé.

I-6 Le collecteur solaire hybride PV/T (photovoltaïque / thermique)

Le collecteur solaire hybride ou capteur solaire mixte permet de produire à la fois de l’électricité et de la chaleur en fluides (l’air et l’eau).

L’énergie solaire est utilisée principalement sous deux formes, selon que l’énergie (thermique et électrique). Les cellules photovoltaïques sont utilisées pour la conversion de l’énergie solaire en énergie électrique. Les systèmes thermiques et photovoltaïques lorsqu’ils sont utilisés à un endroit sont installés normalement comme des unités séparées [11]. En concentrant les systèmes photovoltaïques où le taux de concentration est élevé, pour augmenter le rendement électrique ont a refroidir les panneaux a l’idée du circulation de l’eau ou l’air. Donc il y a deux énergies produites électrique et thermique dans l’eau or l’air.

I-7 Les différents type de collecteur solaire PV/T

Un panneau solaire est un dispositif technologique énergétique solaire à base de capteurs solaires thermiques, ou photovoltaïques, destiné à convertir le rayonnement solaire en énergie thermique ou électrique et il y a plus airé type de collecteur solaire dans le schéma ci-dessous

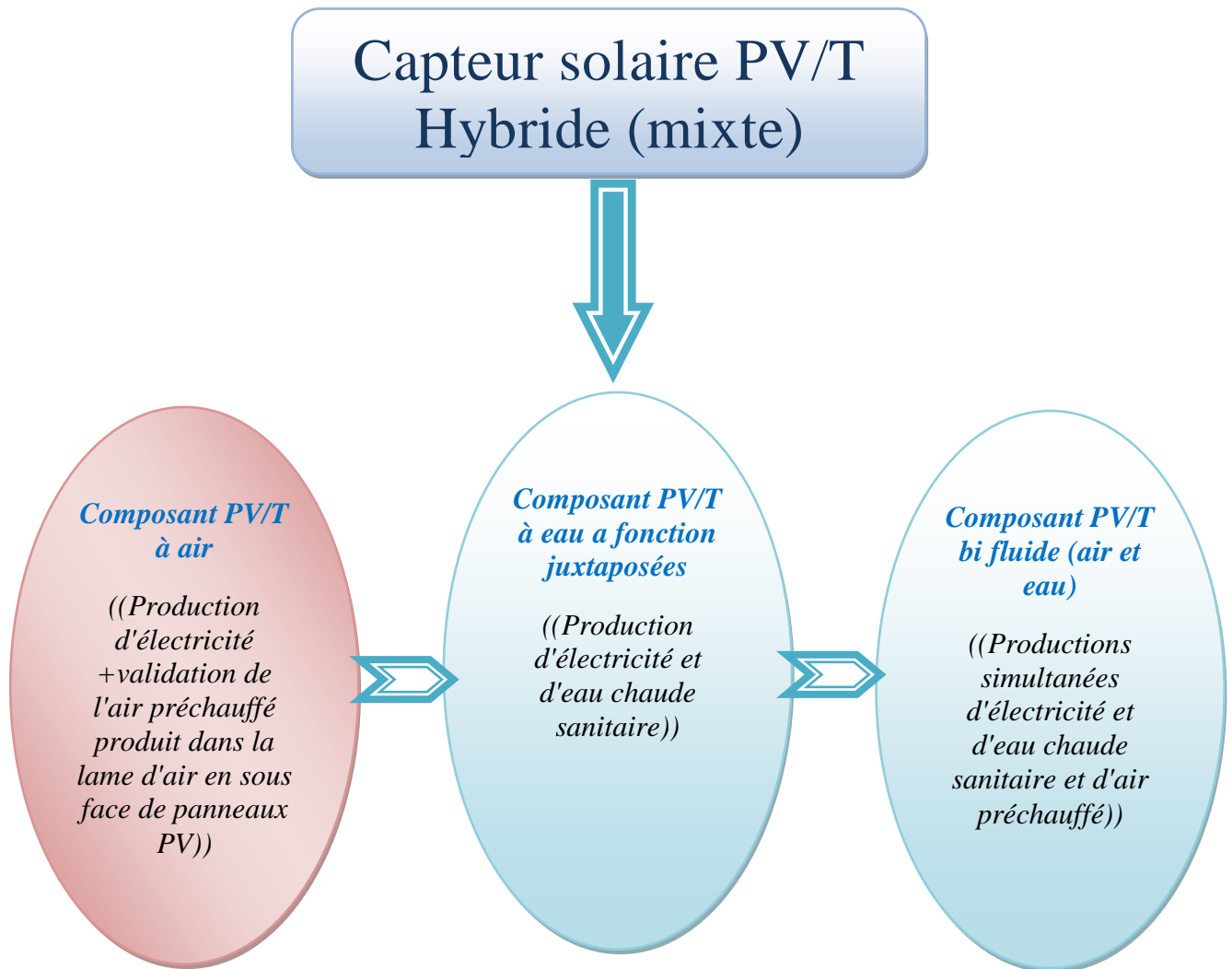


Figure (I-8) Schéma de différent type de collecteur solaire PV/T

I-7-1 Le collecteur PV/T à air

L'aérolvoltaïque est un mixte de panneaux solaires photovoltaïque qui produisent de l'électricité et de panneaux solaires thermique pour chauffer l'habitation (panneaux solaires 2 en 1).

L'air circule et s'échauffe au contact des absorbeurs ou dans une zone d'effet de serre. L'air ainsi chauffé est ensuite ventilé dans les habitats comme le figure (I-9).

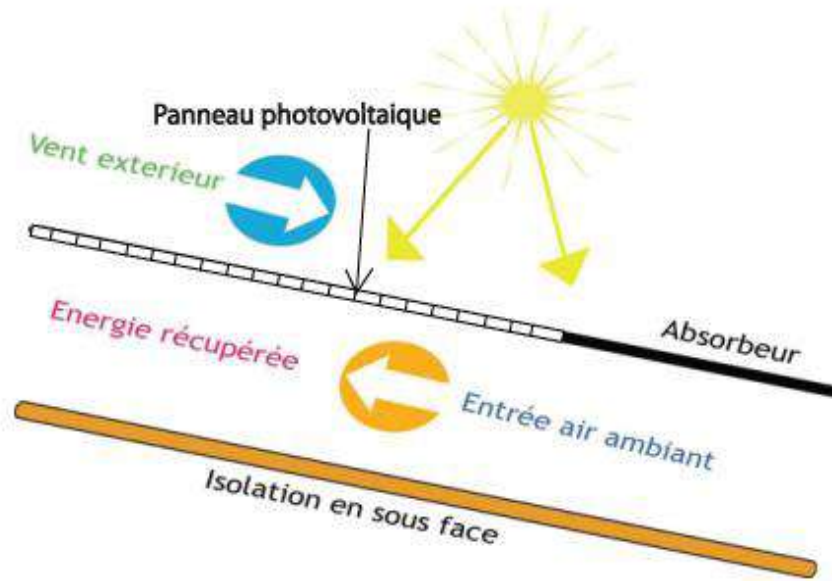


Figure (I-9) Principe de fonction d'air réchauffe

I-7-2 Le collecteur PV/T à eau

Les captures solaires thermiques permettent de produire de l'eau chaude. Il ne faut pas les confondre avec des panneaux solaires photovoltaïques qui servent eux à produire de l'électricité. Un panneau solaire thermique est une surface qui capte les rayons du soleil pour réchauffer un fluide caloporteur placé sous les panneaux. Ce fluide chaud rejoint ensuite le ballon de stockage dans lequel il réchauffe l'eau chaude sanitaire utilisée dans vos robinets, lavabos, douches, etc.... Dans le cas d'un système solaire combiné, le ballon de stockage peut être relié à deux circuits d'eau chaude, l'un pour l'eau chaude sanitaire et le second pour le chauffage alimentant des radiateurs à eau ou un plancher chauffant voir la figure (I-10).

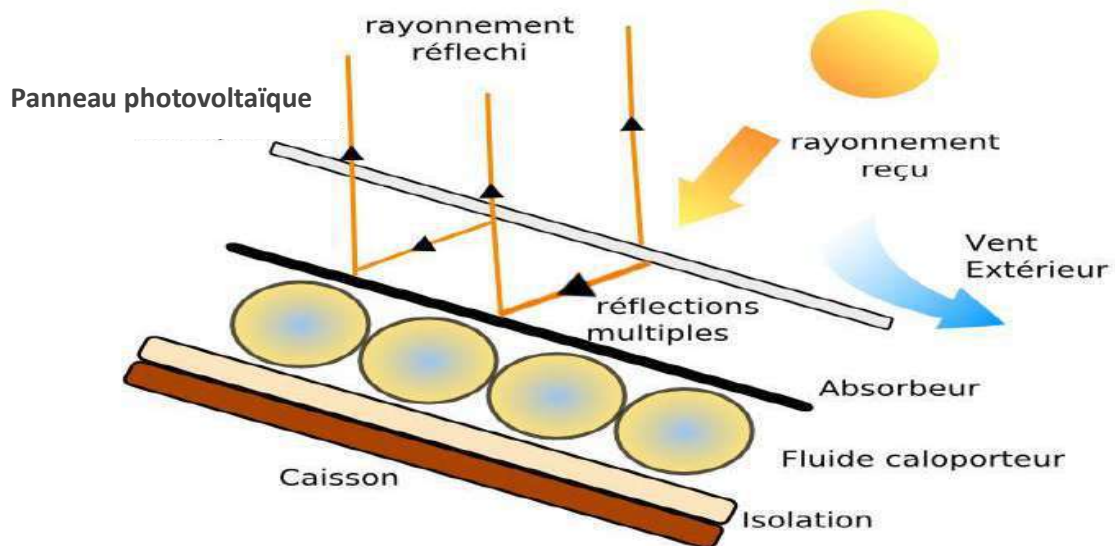


Figure (I-10) Principe de fonctionnement de chauffe-eau solaire

I-7-3 Le collecteur PV/T bi fluide à air et à eau

Figure I-11 représente les panneaux solaires thermiques bi fluide permettent de produire de l'eau chaude et de l'air chaud (l'air et l'eau chauffé par collecteur) avec production de l'électricité.

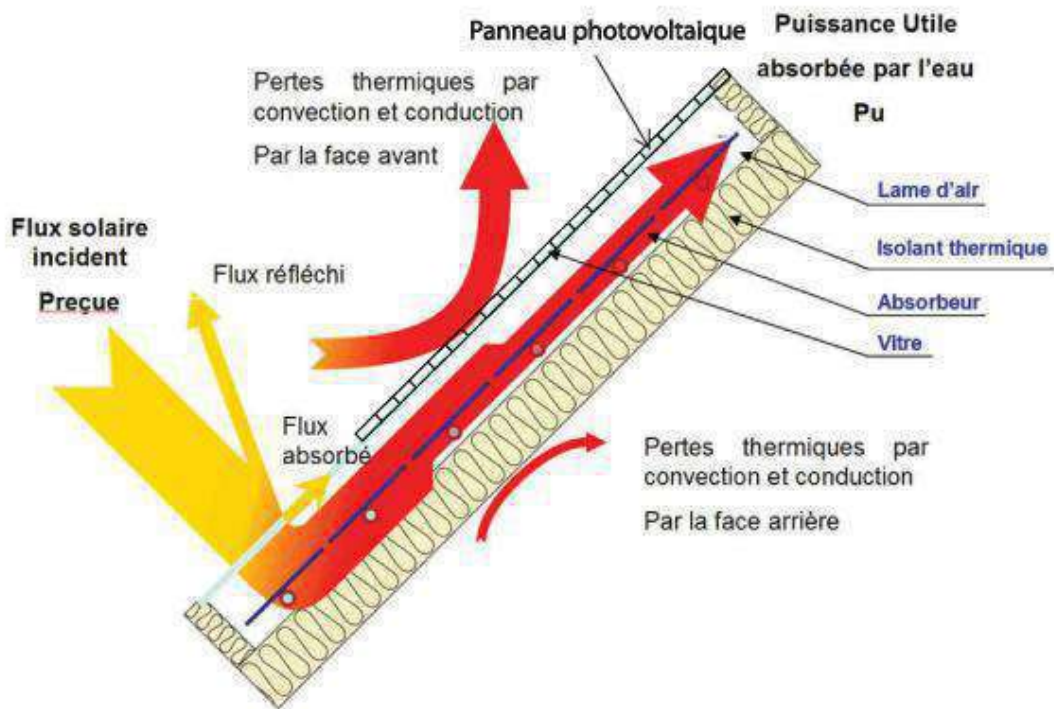


Figure (I-11) Principe de fonctionnement de collecteur PV/T bi fluide

I-8 Analyse bibliographique

Dans la dernière décennie, de nombreuses études ont été entamées dont le domaine du collecteur hybride PV/T. Ces collecteurs utilisent l'eau ou l'air comme fluide de refroidissement et un moyen de stockage d'énergie thermique.

En New Delhi (Inde), A. Tiwari et al. [12] (2005) ont évalué la performance du PV/T qui contient un canal d'air. L'expression analytique d'un rendement globale (électrique et thermique) a été établie par l'utilisation de la balance d'énergie.

Une validation expérimentale est effectuée, Elle montre un écart acceptable entre les données de températures théoriques et expérimentales du collecteur hybride. Le rendement global du système est augmenté de 18% grâce à la récupération de chaleur dégagée.

A. Kasaeian et al [13] (2017) ont réalisé une étude expérimentale sur le rendement d'un système PV/T à la ville de Tehran (Iran). Ils ont examiné les effets de la convection d'air dans un canal à passage simple équipé avec 4 ventilateurs. La réduction de la profondeur du canal d'air provoque une augmentation du rendement thermique à partir de 15% jusqu'à 31%, mais, le rendement électrique augmente légèrement et qui passe de 12% à 12.4%.

Joshi et al [14] (2008) ont évalué la performance du collecteur hybride PV/T à canal d'air New Delhi (India). Deux types de PV sont examinés, PV avec verre-à-tedlar et le verre-à-verre sont comparés, les résultats des modules de PV dans les deux cas, ont évalué le rendement globale des cellules en fonction de la surface arrière et la température de l'air sortant. On note que pour les deux cas, le collecteur hybride PV d'air de verre-à-verre donne un meilleur rendement thermique global entre 15.7-18.3%.

Cet article de recherches est utile afin de concevoir et d'améliorer l'exécution des systèmes photovoltaïques thermique PV/T. L'efficacité de cellules PV peut être améliorée en diminuant la température (chauffage) des cellules en utilisant l'eau ou l'air.

J.C. Mojumdera et al [15] (2016) ont proposé un type de collecteur PV/T d'air à passage unique on Malaysia. Ce passage contient un nombre d'ailerons intégré par un TFMS pour absorber la chaleur. Les paramètres de la température ont été mesurés et comparés à des conditions de fonctionnement, en utilisant différents nombres d'aileron (0-4), des débits massiques (0.02-0.14 kg/s), et des radiations solaires (200-700 W/m²). Les rendements maximales thermique et électrique atteignent respectivement 56.19% et 13.75%.

En Anhui (Chine) par Chao Guo et al [16] (2015) ont mené des expériences pour la comparaison des performances entre un collecteur fonctionnant en PV/eau et un autre

en PV/air. Le collecteur PV/air est testé en deux états (équilibre et dynamique). Les collecteurs sont étudiés sous différents débits, vitesses du vent, et températures d'entrée. Pour le mode PV/eau, le rendement thermique diminue avec l'augmentation de la vitesse du vent. Le collecteur PV/air montre une meilleure performance annuelle que celle du collecteur PV/eau.

En Grèce, J.K. Tonui et al 2007 [17], ont étudié le refroidissement à l'air d'un PV/T avec deux techniques de modulation à faible coût pour améliorer le transfert de chaleur dans le canal d'air. La première méthode consiste à suspendre une mince feuille métallique au milieu du canal. La deuxième méthode se base sur la fixation des ailettes sur le paroi arrière du canal d'air. Un modèle numérique a été développé et validé par rapport aux données expérimentales obtenues lors de la campagne de tests pour les modèles PV/T vitrés et non vitrés étudiés. Les valeurs analytiques prédites sont conformes aux valeurs mesurées. Les résultats montrent que le système conçu par la deuxième présente de meilleures performances.

En Nanjing (China), Di Su et al [18] ont travaillé sur le contrôle des performances du module hybride photovoltaïque thermique. Tant que la surchauffe du module PV réduit ses performances, cela nécessite le refroidissement du capteur PV/T par un circuit d'eau. Cette technique est la plus efficace du point de vue de la performance électrique et thermique, elle peut fournir un grand volume d'eau chaude et aboutissant à un meilleur rendement global. De plus, un collecteur PV/T refroidi par air peut fournir une grande quantité d'air chaud avec une température très élevée.

I-9 Le choix de type du capteur hybride

Après l'analyse bibliographique précédente sur les capteurs hybrides et leurs performances, on constate que le système le plus approprié à notre travail est l'application d'un collecteur PV/T à canal d'air récupérant la chaleur dégagée du panneau PV. Afin de renforcer la montée de l'écoulement à travers le canal d'air, une extension du canal d'air couvert en verre est placée au bout supérieur du canal. Malgré ce renforcement de l'écoulement, la performance du capteur reste faible ce qui nécessite l'intégration d'un système de ventilation forcé pour atteindre des niveaux de rendement global plus élevé.

Chapitre II

PROTOTYPE DU COLLECTEUR PV/T

II-1 Introduction

En analysant les différents travaux trouvée dans la littérature, on constate que les chercheurs utilisent deux type de gabarits (métalliques et en bois). En tenant compte des avantages des gabarits en bois tell que la faible influence sur les valeurs des paramètres de mesure, on a opté à construire un collecteur PV/T avec une carcasse en bois rouge.

II-2 Conception de prototype de collecteur

Le prototype de collecteur est conçu et fabriqué au niveau de laboratoire de valorisation et promotion des ressources sahariennes (VPRS) d'université Kasdi Merbah Ouargla. Le concept de capteur hybride PV/T se compose de deux parties: Photovoltaïque et thermique. L'ensemble de deux parties sont renforcées par un support métallique (à inclinaison variable) fabrique en cornière L06. Comme indiqué sur la figure (II-1) suivante:

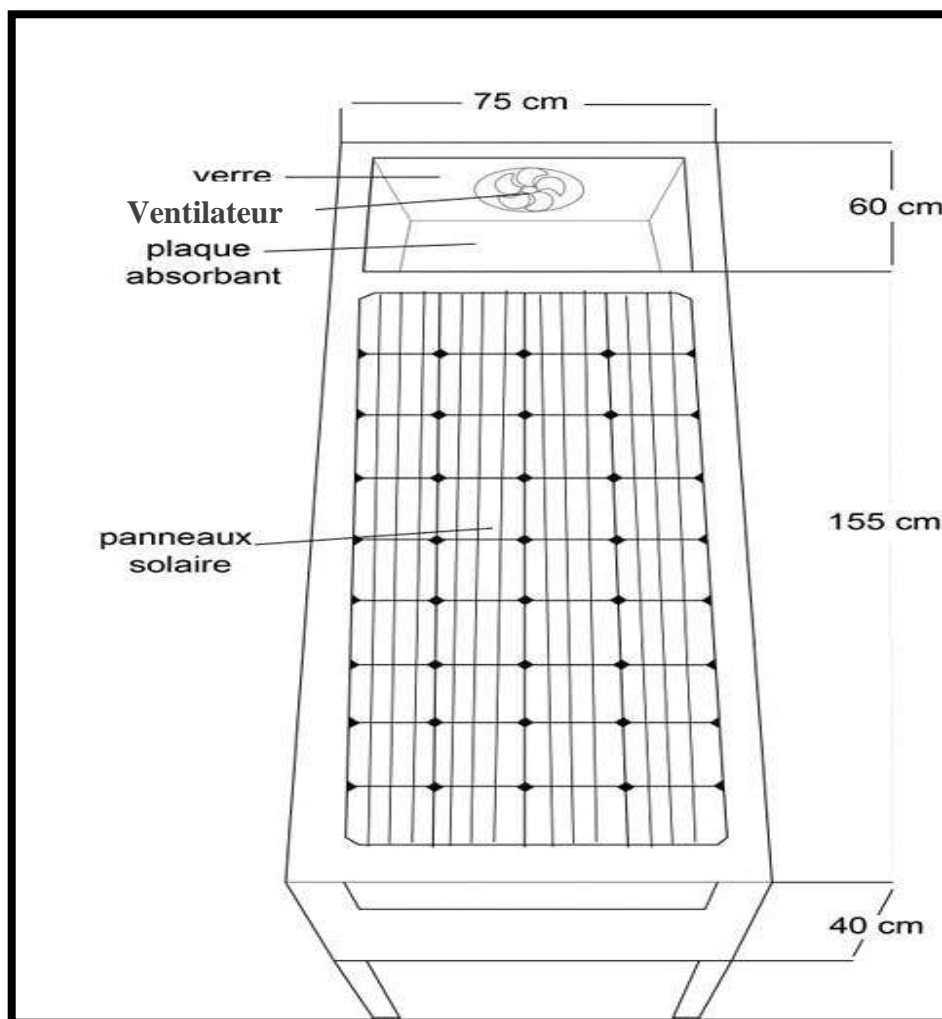


Figure (II-1) Le prototype de collecteur PV/T

II-2-1 Partie photovoltaïque

Dans ce type de composant hybride, les cellules PV produisent l'électricité et fonctionnent comme absorbeur thermique par leur refroidissement grâce à la circulation d'un fluide caloporteur en face arrière. La structure de ce collecteur solaire PV/ T est présentée sur la figure (II-2). Le module est formé en cellules silicium monocristallin et qui sont couvert un verre clair et assemblés avec un cadre métallique. La zone active du collecte d'irradiation solaire a une surface de la cellule est de $1,15 \text{ m}^2$. Le panneau PV est constitué de 36 sous-ensembles et chaque ensemble est formé de 676 silicone monocristalline. Les caractéristiques du panneau sont testées sous la condition standard (intensité d'irradiation de 1000 W/m^2 et température de 25°C). La tension maximale de fonctionnement est 1000 V , et sur-courant maximal de protection est de 10 A . Les panneaux solaires présentent les caractéristiques dans le tableau (II-1). La section électrique est constituée de deux modules photovoltaïques monocristallins de dimension $1480 \times 670 \times 35 \text{ (mm)}$, fabriqués par SHENGFA en China.



Figure (II-2) Panneau solaire photovoltaïque

Type de modèle	150M (36)
Puissance max	150 W
Tension max (Vmp)	18,15 V
Courant max (Imp)	8,27 A
Tension en circuit ouvert (Vco)	22,38 V
Courant de court-circuit (Iso)	8,46 A
Taille	1480 × 670 × 35 (mm)
Poids	13 (kg)
Rendement	12 %

Tableau (II-1) Propriétés de panneau photovoltaïque

II-2-2 Partie thermique

La partie thermique est constituée d'un boîtier fabriqué en bois rouge. Les cotés latérales et inférieure sont couverts d'une couche d'isolation thermique (polystyrène) d'épaisseur de 40 (mm). La hauteur maximale de l'entrée du canal de circulation d'air est de 30 (cm). Une plaque absorbante d'aluminium de dimensions $600 \times 750 \times 3$ (mm³) est placée dessus de la couche d'isolation. La plaque absorbante est recouverte d'une peinture en noir.

La partie supérieure de la partie thermique est construite d'une cavité couverte d'un verre claire de dimensions $600 \times 750 \times 30$ (mm²), voir la figure (II-3).

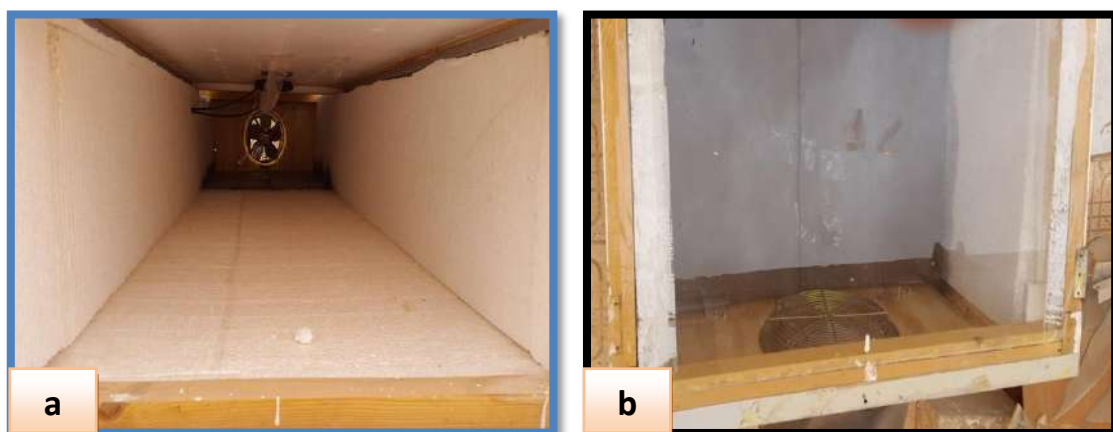


Figure (II-3) Parties thermiques: a) Mode d'isolation,

b) Verre et plaque absorbante

II-3 Système de ventilation

Le collecteur est connecté à un système de ventilation couvert avec une couche d'isolation en Skye (voir figure II-4). Un ventilateur de 5 W à vitesse variable assure l'aspiration d'air. La figure (II-5) présente le ventilateur modèle RQA5-13 qui se caractérise par les paramètres indiqués sur le tableau (II-2).

➤ Caractéristiques techniques

- Numéro du modèle: RQA5-13
- Voltage AC: 208-230 / 240 V
- Nom de la marque: Micool
- Personnalisé: Oui
- Type: Moteur synchrone
- Puissance de sortie: 5W
- Efficacité: IE 3
- Phase: Enballage de monobloc
- Fréquence: 50/60
- Lieu d'origine: Zhejiang China (Mainland)
- Certification: CE,TUV



Figure (II-4) Ventilation RQA5 -13 avec couvert d'isolation

Modèle	Tension V	Fréquence Hz	Puissance d'entrée W	Puissance de Sortie W	Vitesse t/min	Poids kg	Courant A	Pale de ventilateur mm
RQA5/13	220/240	50/60	33	5	1300	0.80	0.21	200
	110/120	60	33	5	1550	0.80	0.55	200

Tableau (II-2) Propriétés de ventilation RQA5 -13



Figure (II-5) Pièces de modèle RQA5-13

II-4 Appareils de mesure

Dans les expériences on a fait appel à plusieurs appareils de mesure qui se répartissent en deux catégories principales tel que les appareils utilisés pour la mesure des paramètres thermiques, et d'autres pour les paramètres électriques.

II-4-1 Solari-mètre (pyromètre)

Un pyromètre DIGITAL de type DS 120 est utilisée pour capter la radiation solaire globale (directe et diffuse). Elle se compose de deux parties: une partie de captage de la radiation solaire et l'autre pour l'affichage numérique voir figure (II-6).



Figure (II-6) Parties de Pyromètre: a) capteur de radiation solaire b) afficheur numérique

II-4-2 L'anémomètre

L'anémomètre CHAUVIN ARNOUX (C.A 1051) offre toutes les mesures nécessaires pour effectuer le bilan complet des installations de climatisation, de chauffage et de ventilation. Il se caractérise par de bonne ergonomie et précision, il se tient dans la main et présente un accès aisé aux différentes fonctions. Il est à la fois thermo-anémomètre à fil chaud ou à hélice, thermo-hygromètre. Le C.A 1051 mesure aussi les températures et la pression. Comme indique dans la figure (II-7).

➤ Caractéristiques techniques

- Thermo-anémomètre à fil chaud :
- Vitesse fil chaud : 0 à 3 m/s et 3,1 à 30 m/s
- Débit : 0 à 65000 m³/h
- Thermo-anémomètre à hélice :
- Vitesse hélice Ø100 mm : 0,20 à 3 m/s et 3,1 à 35 m/s
- Débit : 0 à 65000 m³/h
- Thermo-hygromètre :
- Humidité relative : 3 à 98 %HR
- Point de rosée : -20 à +80°C
- Pression : 0 à ± 1000 mmh²O
- Température 2 entrées Thermocouple K :
- 200 à +40°C / -39 à +999°C / +1000 à +1300°C



Figure (II-7) L'anémomètre CHAUVINARNOUX (C.A 1051)

II-4-3 Le thermomètre

a) Afficheur numérique

Il s'agit d'un thermomètre de type TM-946 à 4 voies. Il est capable d'afficher simultanément les températures T1, T2, T3, T4 ou T1 - T2. Avec son câble USB (en option), l'appareil peut être connecté à un ordinateur et piloté avec le logiciel Modélisa®LUTRON. L'affichage sur écran LCD rétro éclairé de dimension d'écran 52 x 38 mm. Il tient en mémoire du minimum et du maximum de température avec un arrêt automatique, Voir la figure (II-8).

➤ Caractéristique de thermomètre

- Unité démesuré °C / °F, 0.1 degré/1 degré.
- Type K : -100 to 1300 °C.
- Type J : -100 to 1200 °C.
- Pt 100 ohm: -199 to 850 °C.
- Maintien des données, enregistrement (max., Min.), Enregistreur de données.
- Logiciel de transmission de données en option, SW-DL2005.
- Interface RS-232, enregistreur de données.
- Type K optionnel. Sonde, TP-01, TP-02A, TP-03, TP-04.
- Pt100 ohm optionnel Tempe. Sonde, TP-101.
- Adaptateur 6 piles DC / 1,5 V (UM-4, AAA) ou adaptateur DC 9V.
- Dimensions : 177 x 68 x 45 mm
- Poids : 489 g.



Figure (II-8) Le thermomètre TM-946

b) Thermocouple type K

La figure (II-9) présente le thermocouple type K. La longueur de la tête de l'appareil est de 100mm avec une longueur de câble de 3m. Le thermocouple type K régule et contrôle la température du sonde capteur dans l'intervalle de -100°C à 1250°C



Figure (II-9) Thermocouple type K

II-4-4 Humidité-mètre

La figure (II-10) présente Humidité mètre de modèle: HT-3006A, il se caractérise par les éléments suivants:

- Humidité mètre %RH : 10 to 95 %RH.
- Humidité mètre/Temp. : 0 to 50.0 °C, °C /°F.
- Type K Thermomètre: -50 °C to 1300°C.
- Type J thermomètre: -50 to 1100 °C, °C /°F.
- Max., Min., data hold, RS-232 interface.
- Type K Temps. Probe (optionnel): TP-01, TP-02A, TP-03, TP-04



Figure (II-10) Humidité mètre HT-3006A

II-4-5 Multimètres

a) Multimètre de modèle MASTCH MY68

Ce modèle est utilisée pour le muser les la tension et le courant dans circuit ouvert de panneaux PV Voir la figure (II-11), il possède les caractéristiques suivants:

- Tension CC: 326mV \pm 0,5%, 3,26 / 32,6 / 326V \pm 0,3%, 1000V \pm 0,5%
- Tension alternative: 3,26 / 32,6 / 326 / 700V \pm 0,8%
- courant continu: 0.326 / 3.26 / 32.6 / 326mA \pm 1.2%, 10A \pm 2.0%
- Courant alternatif: 0,326 / 3,26 / 32,6 / 326mA \pm 1,5%, 10A \pm 3,0%
- Résistance: 326 Ω / 3.26k Ω / 32.6k Ω / 326k Ω / 3.26M Ω \pm 0.8%, 32.6M Ω \pm 1.2%
- Capacité: 326nF / 32.6uF \pm 3.0%
- Fréquence: 32,6 KHz \pm 1,2%, 150 KHz \pm 2,5%
- Vérification de la diode: vérifié en avant ou en arrière
- Vérification du transistor: 1 ~ 1000
- Vérification de la continuité: la sonnerie intégrée retentira.
- Max. taille de l'écran / LCD: 3260/30 / 60mm
- Dimensions: 91 x 189 x 31,5mm
- Poids: 310g



Figure (II-11) Multimètres de type MASTCH MY68

b) Multimètre de modèle 10401 MUT-33

Ce modèle est utilisé pour mesurer la tension et le courant dans un circuit de rhéostat pour tracer la courbe I-V de panneau PV, il possède les caractéristiques suivantes:

- Test de diode et de continuité
- lumière de l'écran
- Batterie incluse 9 V.
- couvercle de protection contre les impacts

Fonctions de spécifications:

- tension continue: 200 mV-500 V
- tension alternative: 200 V-500 V
- courant continu: 2 000 μ A - 10 A
- Résistance: 200 Ω - 20 Ω
- Température ($^{\circ}$ C): -40 $^{\circ}$ C à 1 370 $^{\circ}$ C
- Température ($^{\circ}$ F): -40 $^{\circ}$ F à 1,999 $^{\circ}$ F

Voir la Figure (II-12).



Figure (II-12) Multimètres de type 10401 MUT-33

II-5 Rhéostat

Cette résistance à variation linéaire est montée sur une armoire avec des connecteurs jack de sécurité. La résistance à l'intérieur est enroulée sur un noyau en céramique stable, elle est munie de trois connections jack de sécurité sur l'armoire, de sorte que la résistance peut servir de résistance variable ou de diviseur de tension. La résistance peut être surchargée 100% pendant une brève période de temps (max. 4 minutes). L'intervalle de variation est de 0-33 Ω / 3,1 A comme indique dans la figure (II-13).



Figure (II-13) Rhéostat a 33 Ω

Chapitre III

EXPERIMENTATION DE COLLECTEUR

III-1 Introduction

Dans ce travail expérimental, on aborde l'examinations du collecteur. C'est un système solaire hybride (PV/T) qui combine entre deux systèmes solaires différents (thermique et photovoltaïque) en une seule unité. Le capteur hybride PVT qui va générer en même temps de l'électricité et de la chaleur. On consacre les tests pour l'étude de la performance d'un système solaire à canal d'air couvert partiellement par des cellules photovoltaïques [19].

III-2 Préparation préliminaire de l'expérience

Le capteur est un système PV/T à air avec canal à un seul passage. La section électrique est constituée à une module photovoltaïque illustrées à la Figure (III-1). Il est renforcé par un absorbeur thermique (en couleur noir) fixée en face du verre par une colle de silicone résistant à la chaleur, qui assure l'intanchiéité des extrimités de la plaque. Cette colle de Siliconea une résistance thermiqueatteint 260 °C. Un couche de polystyrène épais de 40 mm est utilisée pour isolation des parois de canal avec le milieu extérieur.



Figure (III-1) le system (PV/T)

III-3 Etapes des l'experiences

III-3-1 Variation de vitesse de ventilation

Le profondeur du canal est réglée a une valeur de 30 (cm) durant toutes les etapes d'experiance voir la Figure (III-2), Ensuite, le capteur PV / T est incliné vers le sud à une angle egale à latitude de ville de ouargla.En mode de ventilaton forcée, le débit massique d'air dans le conduit peut être réglé à l'aide d'un ventilateur, en réglant la vitesse du ventilateur à deux valeurs différentes 0,8 (m/s) et 3 (m/s). Donc, le débit massique d'air prend les deux valeurs 0.032 kg/s et 0.12 kg/s, comme indique le Figure (III-3).



Figure (III-2) la positions de réglage de la profondeur de canal

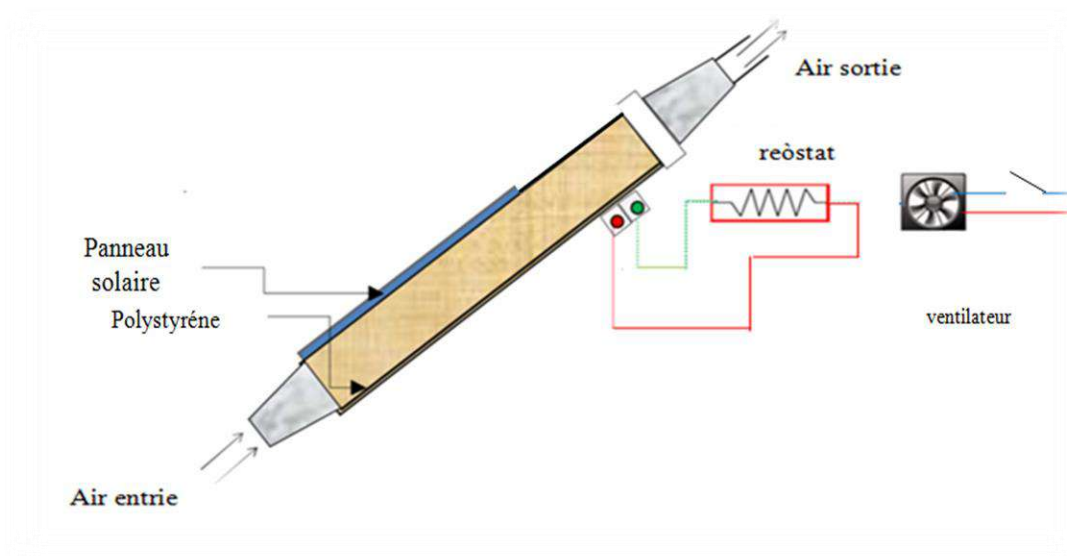


Figure (III-3) perncipe de fonntionment de system PV/T

III-3-2 Mesure de radiation solaire et la vitesse du vent

Les radiations globales sont mesurées à l'aide d'un pyranomètre DIGITAL de type DS 120. Le pyranomètre doit être parallèle à la surface PV, l'anémomètre CHAUVIN ARNOUX a été utilisé pour enregistrer la vitesse d'écoulement de l'air dans le canal. La vitesse du vent est captée et enregistrée par l'anémomètre C.A 1051.

III-3-3 Mesure les températures

La température de la surface arrière des panneaux a été mesurée avec des thermocouples de type K et lue avec un thermomètre de type TM-946. Neuf thermocouples ont été utilisés pour mesurer les températures. On utilise cinq thermocouples pour mesurer les températures: de la plaque absorbante, de la surface supérieure et celle inférieure du panneau, de l'entrée de plaque absorbante et de vitre. Quatre thermocouples sont situés pour mesurer les températures de l'air entrant et l'air sortant, Nous utilisons aussi pour calculer la température de l'air ambiant et l'humidité le capteur lutron HT-3006A. Tous les capteurs et le pyromètre sont connectés et mesurent manuellement.

III-3-4 Mesure le courant et la tension de PV

En même temps, on utilise trois multimètres de type MASTCH MY68. Ces derniers sont utilisés dans la mesure de valeurs de données électriques (courant, tension des panneaux photovoltaïques et puissance du ventilateur), En outre, une résistance variable de 33 (Ω) est utilisée pour calculer la puissance maximale produite par les panneaux photovoltaïques. La figure (III-4) présente la préparation de l'expérience.



Figure (III-4) préparation préliminaire de system

III-3-5 Fixation et isolation de ventilateur

Pour éviter les pertes thermiques a traverse le system de ventilation, le support de ventilateur son renforce par des plaque métaliques, ainsi la conduite de sortie d'air et couvert par une couche de skaye. Pour la vitesse maximale et minimal, le ventlateur consome 5 et 1.33 (W) respctivement. Le tableau (III-1) présente la précision des appareils qui sont utilisé dans l'expérience.

Equipment	Intervalle	Précision
Pyranomètre	0 to 1380 Wm ⁻²	± 5%
Anémomètre à fil chaud	0.2 to 20.0 m/s	± 5%
Coupe Anémomètre	0.2 to 35.0 m/s	± 2%
Thermometer (type K)	-199.9 to 999.9 °C	± 0.5 %
Capteur SMT 160	-45 to 150 °C	± 0.7 °C
Multimètre, tension continue	400mV/4V/40V/400V/1000V	± 0.5%
multimètre en courant continue	400µA/4mA/40mA/400mA/10A	± 0.8%

Tableau (III-1) Propriétés de l'équipement de surveillance

III-4 Procédure expérimentale

Des expériences en plein air ont été menées sur le campus de l'Université de Ouargla. Les données ont été collectées lors des journées ensoleillées d'avril 2019 de 8h:30 à 17h : 30 à Ouargla. La latitude et la longitude de Ouargla sont respectivement 31° 58' N et 5° 20' E. les performances du système air PV / T ont été prises en compte avec un angle d'inclinaison de 31,9 °. L'intensité solaire et les températures ambiantes, l'entrée et la sortie d'air ont été enregistrées. La température moyenne de la plaque absorbante, de surface arrière du panneau et de la surface supérieure du panneau sont également mesurées. Outre les résultats obtenus de la section thermique, les données électriques telles que le courant de court-circuit, la tension en circuit ouvert, le courant et la tension dans la puissance maximale ont été enregistrées et consignées dans le Tableau (III-2).

Temps	Ta(°C)	Top(°C)	Tbs(°C)	Tgl(°C)	Tabs(°C)	Tent(°C)	Tsl(°C)	Ts(°C)	Val(m/s)	G(W/m ²)	nbtot	Vcol(V)	Ish(A)	Vmp(V)	Imp(A)	net(%)	p elect(W)	p th(W)	nth(%)	ΔT
8:30	22.4	30.9	31.9	25.7	31.9	22.3	25.8	24.1	2.9	487.6	69.71	21.09	3.76	17	3.4	12.04	57.80	212.29	36.28	1.8
9:00	24.6	34.7	36.3	27.3	37.3	24.6	26.8	27	3.2	612	75.05	20.99	4.93	16.8	4.2	11.71	70.56	312.33	42.53	2.4
9:30	25.8	42.3	45.1	31.4	47	28.2	30.6	31	3	658	75.36	20.78	5.88	15.93	4.7	11.55	74.87	341.61	43.26	2.8
10:00	26.6	49.3	52.6	36.9	63.1	31.4	34.8	35	3.1	802	77.88	20.5	6.89	16.8	5.2	11.06	87.36	453.86	47.46	3.6
10:30	27.4	47.9	52.3	34.1	74.9	30.2	32.6	34.2	3.2	817.9	85.39	20.33	7.63	14.87	6.31	11.65	93.83	520.55	53.04	4
11:00	29	48.9	55.1	34.5	79.4	30.9	34.2	34.9	3.2	860	83.22	20.24	8.33	14.72	6.79	11.80	99.95	520.55	50.44	4
11:30	29.8	51.2	58.9	35.6	82.4	31.8	35.2	36.2	3.2	900	84.24	20.07	8.74	13.18	7.56	11.24	99.64	572.61	53.02	4.4
12:00	30.1	54.1	56	36.2	84.9	32.1	35.8	37.5	3.1	994	89.15	19.87	9.08	11.35	8.29	10.23	94.09	680.78	60.74	5.4
12:30	29.8	57.3	62.1	41.2	83	33.3	36.7	38.6	3.2	934.8	91.82	19.75	9.14	12.76	7.88	10.92	100.55	689.73	61.49	5.3
13:00	32	57.3	60.1	40.6	85	34.6	36.4	40.3	3.1	951.4	93.07	19.35	9.12	13.77	7.38	10.85	101.62	718.60	62.94	5.7
13:30	32.7	55.9	63.2	39.5	84.6	35.3	38	40.5	3.2	931	90.04	19.52	8.94	12.07	8.06	10.61	97.28	676.72	60.57	5.2
14:00	33.2	59	62	44.4	82.2	35	39.5	40.1	3.1	894	90.96	19.69	8.8	14.5	6.56	10.93	95.12	642.96	60.61	5.1
14:30	34.1	56.3	58.5	42.2	79.4	35.2	39.2	40.4	3	843	91.79	19.76	8.01	12.45	6.98	10.47	86.90	634.42	62.71	5.2
15:00	36.1	54.8	58.3	40.9	72.4	36.2	38.1	40.3	3.2	799	87.78	19.81	7.41	14.53	6.05	11.31	87.91	533.56	56.35	4.1
15:30	32.7	53.5	56.5	43	56.1	36.3	39.5	39.2	3.2	715	74.97	19.92	6.51	15.4	5.1	11.15	78.54	377.40	43.99	2.9
16:00	34.2	49.9	53.4	39.7	51	36.1	38	39	3	613	79.68	20.05	5.54	13.1	5.24	11.37	68.64	353.81	48.10	2.9
16:30	35.6	46.5	49	39.6	46.9	36.5	37.4	38.5	3.2	494	77.21	20.12	4.3	16.07	3.63	11.99	58.33	260.28	43.91	2
17:00	34.3	41.2	42.5	37.1	42.6	35	36	36.4	3	401	68.20	20.26	3.9	15.5	3	11.77	46.50	170.81	35.50	1.4
17:30	33.4	37.4	38.2	36	39.1	33.1	33.3	33.8	3	201	68.75	20.07	2	17.6	1.35	12.00	23.76	85.40	35.41	0.7
											81.80362					11.30	1523.26	8758.27		

Tableau (III-2) Données expérimentales thermique et électrique pour le jour

(15/04/2019)

III-5 Analyse et interprétation des résultats expérimentaux

Après les mesures, les résultats ont été analysés et interprétés Dans les deux cas suivants :

III-6 Le premier cas au (15/04/2019)

En date du 15 avril 2019, des expériences ont été effectuées sur le collecteur PV/T avec la fixation de la profondeur de canal à 30 cm et la vitesse de ventilation à 3 m/s qui correspond à un débit d'air sortant maximale de 0.12 Kg/s. une campagne de collecte de température de chaque thermocouple et les paramètres électriques est effectuée pour tracer les courbes correspondantes.

III-6-1 Radiation et température ambiants de site

La Figure (III-5) représente la variation temporelle de température ambiante, et l'intensité du rayonnement solaire respectivement. Les mesures expérimentales sont prises durant la journée du 15 avril 2019. On remarque que le rayonnement démarre à partir de la valeur de 487.6 W/m² à 8 h:30 lors du début des mesures, ensuite, il augmente progressivement jusqu'à la valeur maximale de rayonnement de 951.7 W/m² à 13h : 30min. En après-midi le rayonnement commence à chuter, et l'allure générale de la courbe de rayonnement se rassemble à une forme de cloche. Pour la température ambiante, on constate une augmentation continue à partir de 22.4 °C à 8h :30 min jusqu'à l'atteinte de sa valeur maximale 36.1 °C à 15h :00 min. On constate un déphasage entre l'heure des points maximaux de température, cela est dû à l'effet très lent du phénomène de refroidissement des monocles d'air.

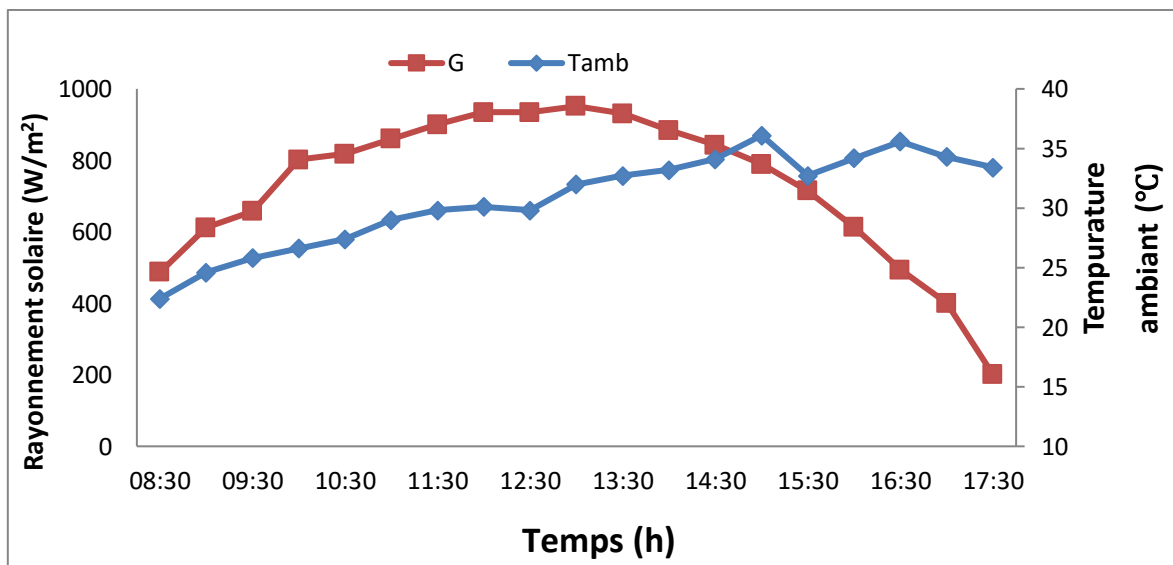


Figure (III-5) Variations de radiation solaire et la température ambiante (15-04-2019)

III-6-2 Performance thermique

Dans cette partie, on présente (sous forme des courbes) les mesures des paramètres thermiques temporelles de système PV/T par les appareils de la mesure tel que l'humidité mètre et thermocouple Type K.

A) Températures des surfaces supérieures et inférieure du PV

La figure (III-6) présente l'évolution temporelle des températures T_{opet} T_{bsen} qui sont prises respectivement sur les surfaces supérieure et inférieure du PV. On observe des évolutions presque semblables des variations de ces températures. Elles atteignent des pics de 59 °C et 62 °C à 14h00. Ensuite, elles diminuent progressivement à cause de la diminution du rayonnement solaire pour atteindre 37 °C et 38 °C à 17h :30 min respectivement.

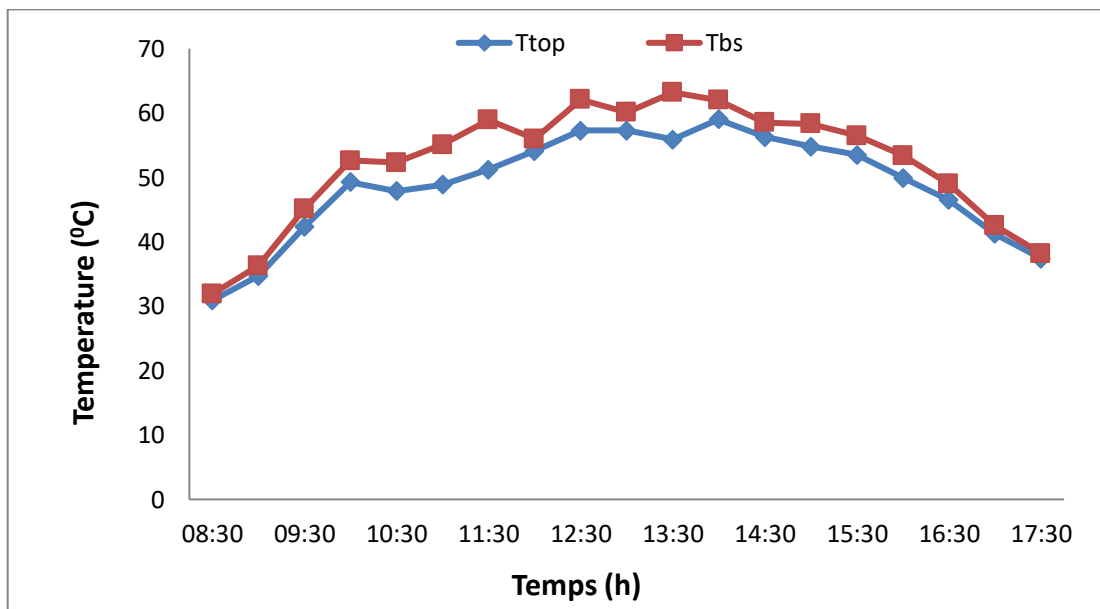


Figure (III-6) L'évolution temporelle des températures du T_{top} et T_{bs} du module PV

B) Différentes températures du canal d`air

La figure (III-7) illustre l'évolution de différentes températures du canal d`air. On remarque que les profils des températures sont semblables à l'allure de la courbe de rayonnement solaire. La température la plus élevée est au niveau de l'absorbeur. Durant la période de 08h: 30 à 13h: 00, l'ensemble des températures augmentent légèrement sauf la température de l'absorbeur (T_{abs}) enregistre une forte croissance pour atteindre la valeur maximale de 85°C à 13h00. Les températures maximales de la vitre et d`air entrant de canal atteignent respectivement 44.4°C, et 36.3°C. Durant la période allant de 12 h à 16 h, la température d'air sortant du canal fluctue entre 37.5°C et 40.5°C.

Ce phénomène est dû à l'augmentation de flux solaire incident pour cette période. Par contre, l'après-midi, on observe une diminution progressive de la température d'absorbeur à cause de la chute de l'intensité de rayonnement solaire. En outre, les températures de vitre et de l'air entrant au canal augmentent lentement entre 12h00 et 14h :00min, et elles commencent à diminuer à partir de 16h : 00min à cause de la chute de l'intensité de rayonnement solaire. Cette prolongation est due au fait que l'absorbeur dégage la chaleur stockée.

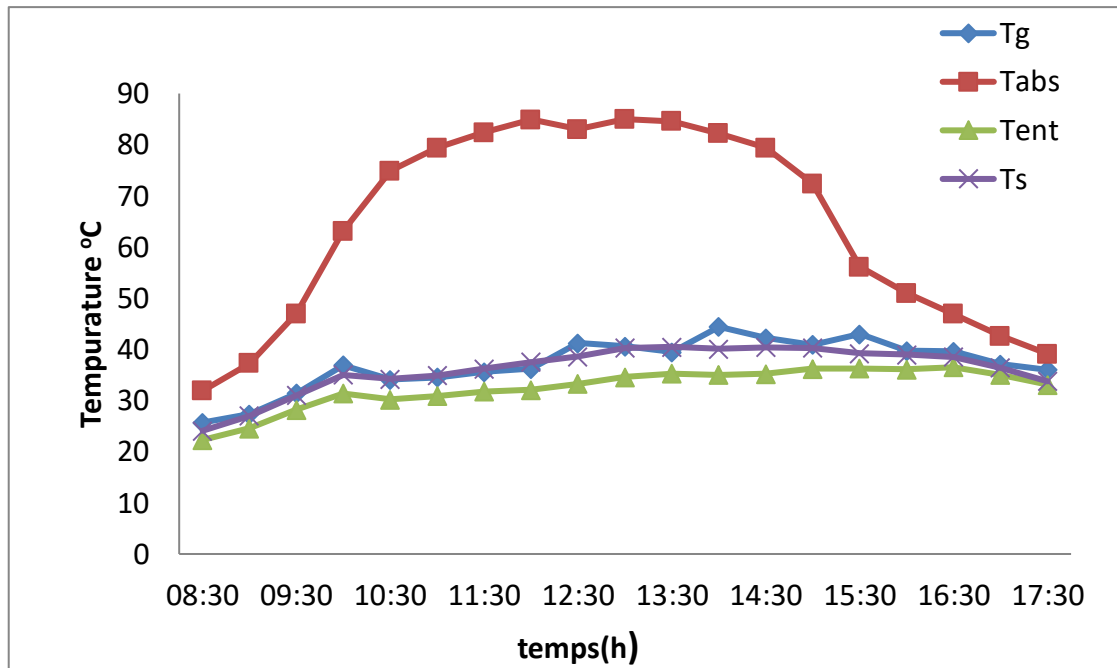


Figure (III-7) L'évolution des températures d'entrée et la sortie, la vitre du module PV en fonction du temps.

III-6-3 Performance électrique

Dans cette partie, on effectue les mesures du courant électrique par un multimètre, et on utilise comme charge une résistance variable pour tracer courbes caractéristiques du panneau PV.

A) Variation de courant

Figure (III-8) présente les variations temporelles du courant de court-circuit (couleur bleue) et la variation du courant de la puissance maximale du panneau. On remarque que le courant à court-circuit enregistre une augmentation continue jusqu'à la valeur 9.14(A) à 12h : 30min. Puis, il commence à diminuer en fonction de la décroissance de rayonnement solaire.

De même, durant la matinée, le courant de la puissance maximale (I_{mp}) montre une allure générale ascendante. Mais, ce courant est affecté par des fluctuations due aux variations manuelles effectuées sur une résistance variable. La valeur maximale de ce courant (le courant dans la puissance maximale) à 12h :00 est 8.29(A).

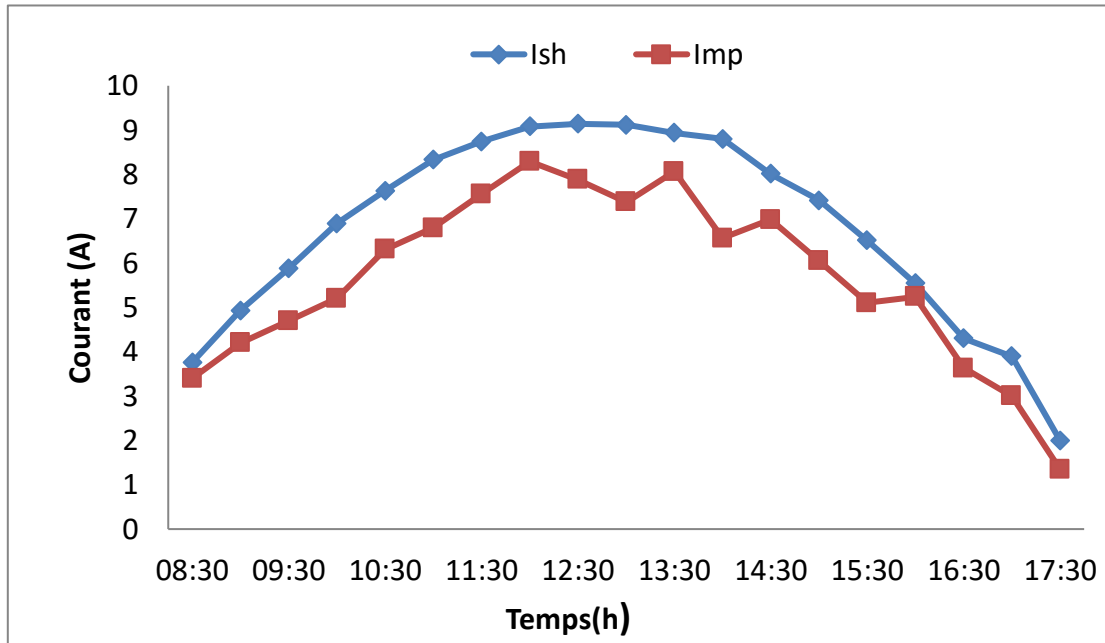


Figure (III-8) Variations du courant de court - circuit et du courant dans la puissance maximale en fonction du temps.

B) Variations de la tension

La figure (III-9) présente la variation temporelle de la tension en court-circuit (V_{co}) et de la tension de la puissance de maximale du panneau (V_{mp}). On remarque que la tension à courte circuit enregistre une stabilité tout le long de la journée, elle fluctue entre deux valeur 21.09V et 19.35V. La tension de la puissance maximale montre une diminution signifiante à partir de 17V à 08h :30 jusqu'à 11.35V à 12h :00. Durant l'après-midi la tension (V_{mp}) augmente progressivement jusqu'à l'atteinte de sa valeur maximale de 17.6 V à 17h :30, cela est due à la chute du courant provoqué par la décroissance de rayonnement solaire.

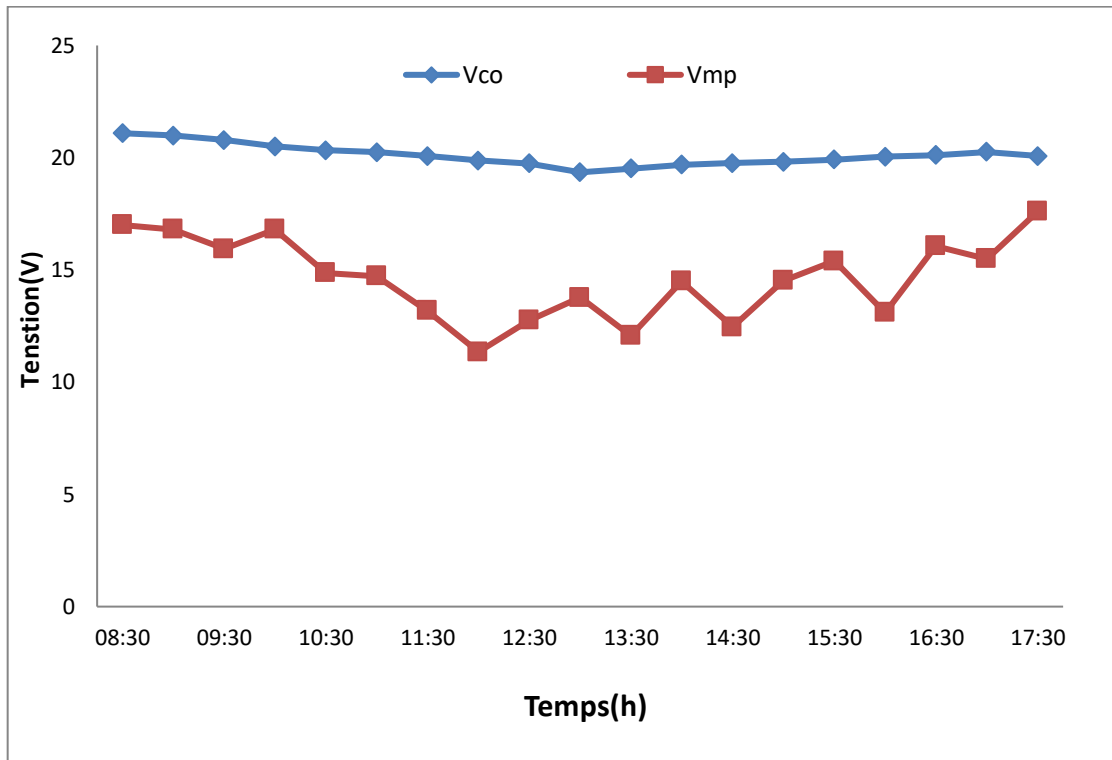


Figure (III-9) Variations de la tension en court-circuit et de la tension dans la puissance maximale en fonction du temps.

C) Courbe caractéristique du panneau

La Figure (III-10) présente la variation de courant en fonction du tension en trois heures différentes. Ces courbes caractéristiques sont obtenus en fonction de la variation de la résistance pour trois heures différentes (9 :30 ,12 :00 et16 :30). Les données de 1^{er} courbemesuré à 9h :30 montre que la valeur maximale du courant au départ est 4.7(A), ensuite il diminue en provoquant une augmentation de tension jusqu'à 20.18(V). Concernant la 2^{eme} courbe, on constate une faible diminution du courant de 8.91 à 0.57 (A) face à l'accroissement de la tension pour atteindre 19.5 (V). De même à 16h :30 le 3^{eme} courbe est semblable à la 1^{ère} courbe. Cette opposition entre la tension et le courant est due à l'influence de l'alimentation de la charge. Les valeurs de départ I-V sont liées à l'intensité du rayonnement solaire.

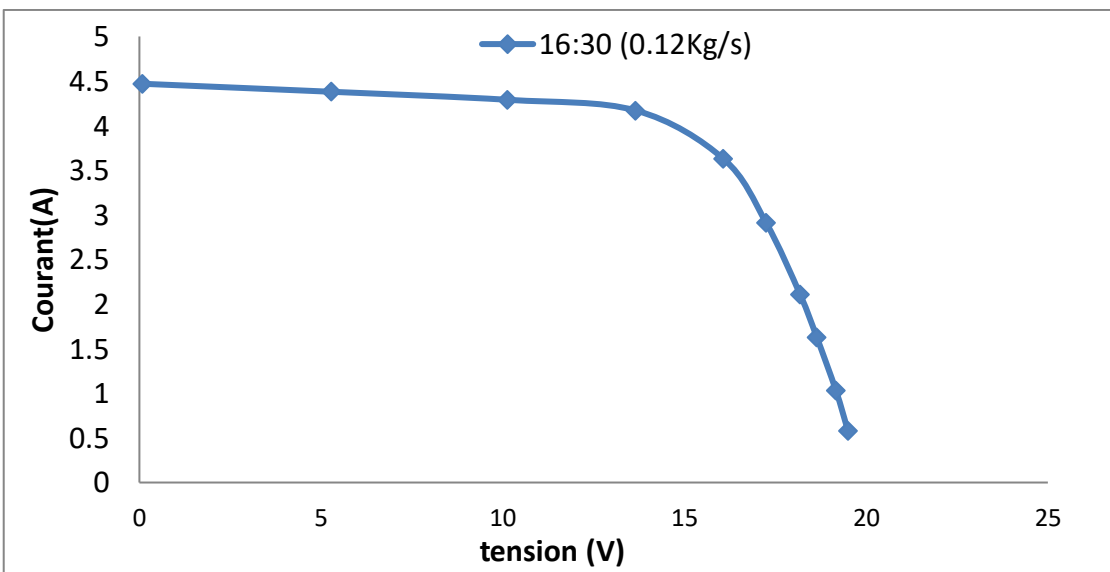
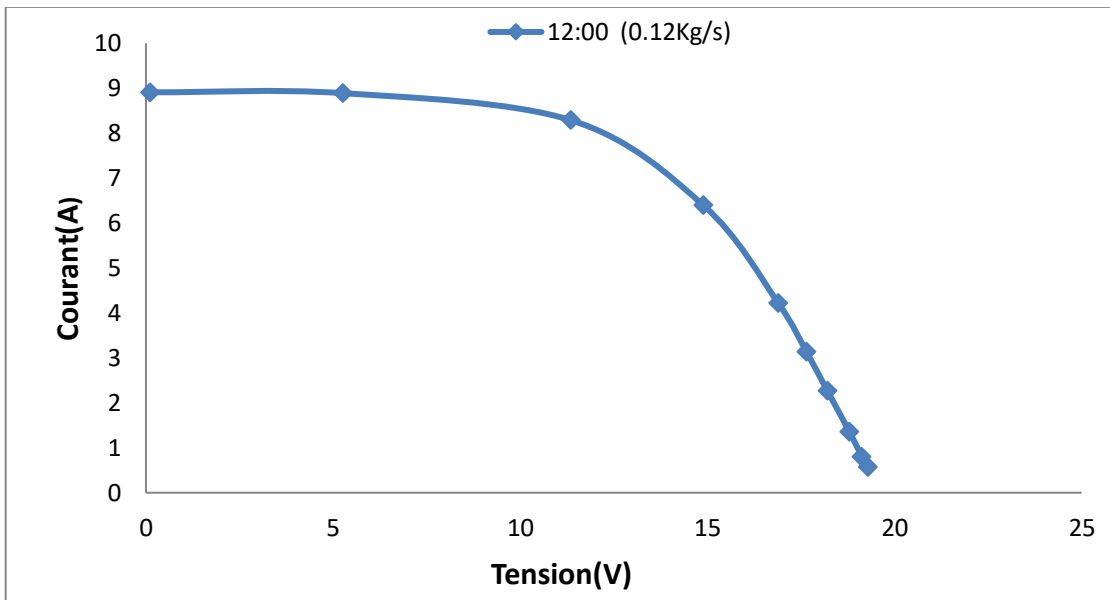
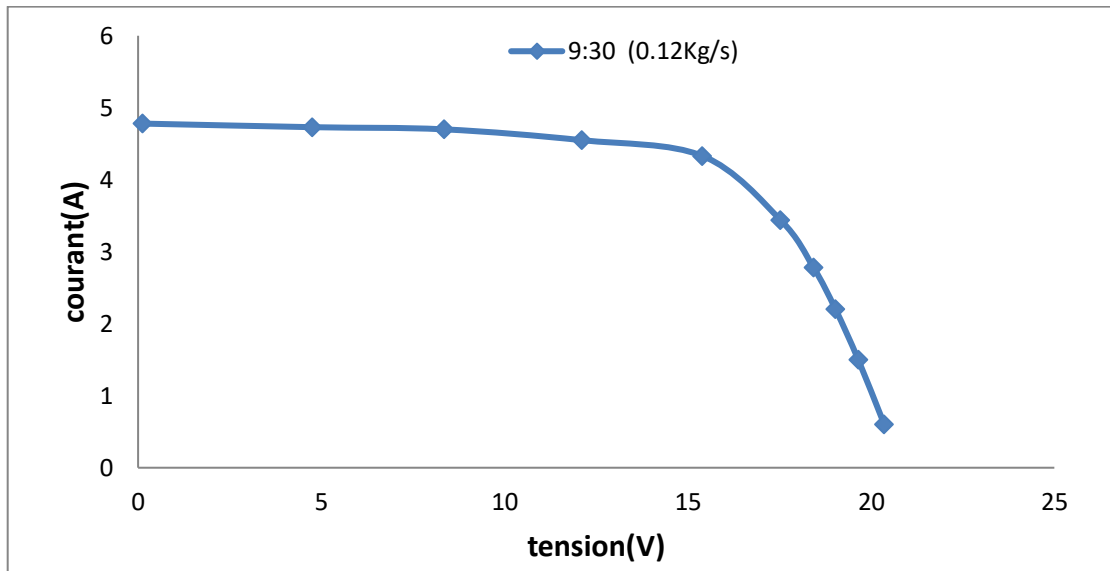


Figure (III-10) Courbes I-V : a) à 09h :30, b) à 12h :00 c) à 16h :30

III-6-4 Puissance thermique et électrique

Figure (III-11) présente la variation temporelle de la puissance électrique et thermique du collecteur. On remarque qu'à 08h: 30 les puissances thermique et électrique déparent de 212 W et 57.8 W respectivement. Ensuite, ces puissances augmentent fortement jusqu'elles atteignent les valeurs de 718 W et 101 W à 13h :00. En après-midi, les puissances commencent à diminuer en fonction de la décroissance de rayonnement solaire.

La puissance de sortie maximale est obtenue en multipliant les valeurs correspondantes du courant et de la tension. Les équations III-1 III-2 sont utilisées pour le calcul des puissances électrique et thermique [21] [22].

$$P_{mp} = I_{mp} \times V_{mp} \tag{III-1}$$

P_{pm} Puissance maximal

I_{mp} Le courant maximal

V_{mp} La tension maximal

$$P_{th} = \dot{m} C_p (T_s - T_{ent}) \tag{III-2}$$

P_{th} La puissance thermique (W).

ṁ Débit massique.

C_p Capacité thermique spécifique (kJ/kg*K).

T_s Température de la sortie.

T_{ent} Température d'entrée.

Le débit massique d'air est conservé à travers le canal et qui peut être calculé comme suit :

$$\dot{m} = \rho V_a A_s \tag{III-3}$$

ρ La masse volumique de l'air (kg / m³).

A_s La section transversale du canal.

V_a La vitesse du fluide dans le canal (m/s).

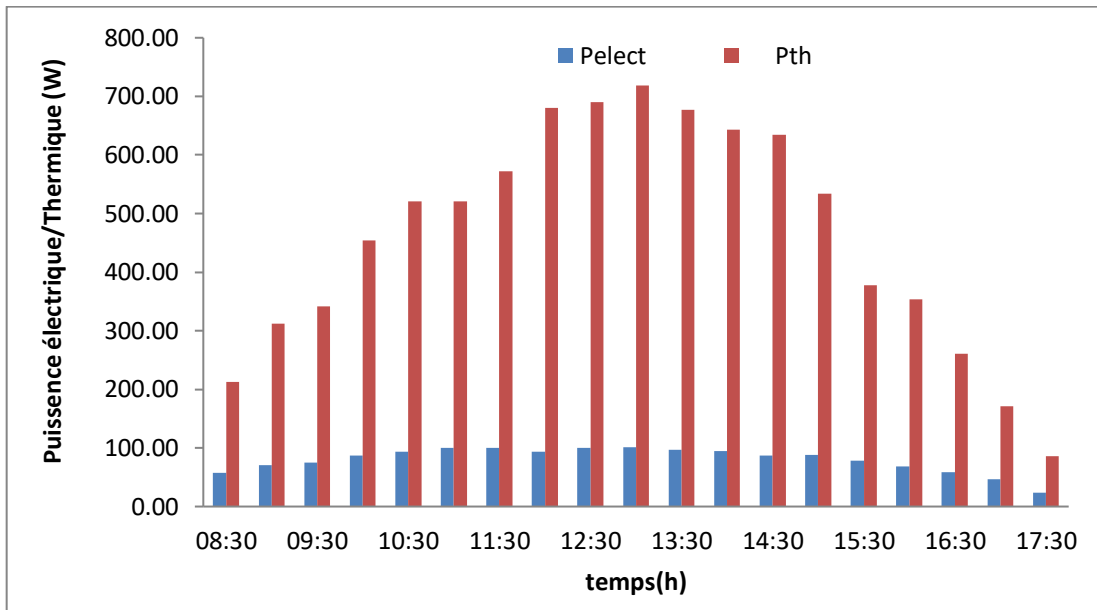


Figure (III-11) La puissance électrique et thermique du collecteur

III-6-5 Rendement électrique et thermique

Afin de se concentrer sur les performances du système PV / T, deux paramètres importants sont introduits (rendement thermique et rendement électrique).

A) Rendement électrique

La relation mathématique pour le calcul du rendement électrique à partir des données de test mesurées est présentée dans l'équation (III-4) [23].

Tous les paramètres impliqués dans cette équation ont été mesurés dans l'expérience actuelle [26].

$$\eta_{el} = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{APV \times G} \times 100 \tag{III-4}$$

η_{el} Le rendement électrique.

G Intensité du rayonnement solaire (W/m^2).

APV Surface de panneau photovoltaïque.

B) Rendement thermique

L'expression (III-5) rendement thermique est calculée comme suit à partir des données de test mesurée [24] [25]:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}C_p(T_s - T_{ent})}{A \times G} \tag{III-5}$$

A Section de plaque absorbant.

P_{th} La puissance thermique (W).

C) Profils de rendements

Figure (III-12) présente l'évolution temporelle des rendements électrique et thermique du collecteur. On constate que le rendement thermique est plus élevé par rapport au rendement électrique. Ce dernier est resté faible car il est lié au rendement limité de cellules PV. Le rendement électrique paraît instable dû à l'effet de variation de rhéostat. On voit que le rendement thermique augmente de la valeur 36.28 à une valeur maximale de 62.71. En après-midi, il commence à diminuer en fonction de la décroissance de rayonnement solaire. Ainsi, le rendement électrique diminue de la valeur 11.71 jusqu'à 10.23 à cause de l'intensité de rayonnement solaire, ensuite elle augmente progressivement jusqu'à 12.

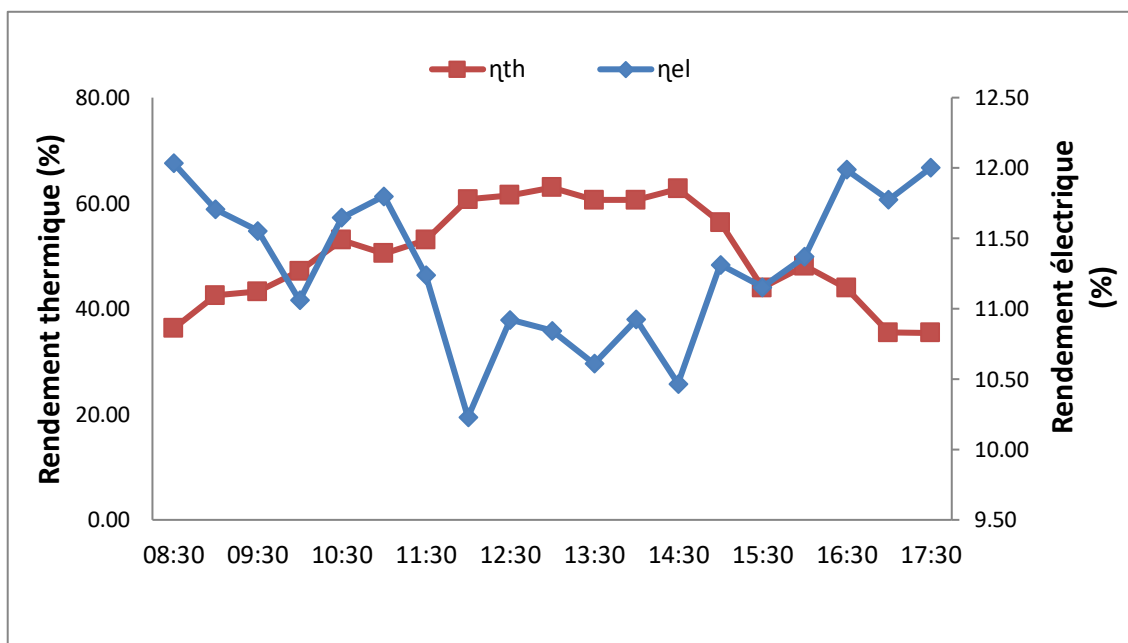


Figure (III-12) L'évolution des rendements électrique et thermique du collecteur en fonction du temps.

D) Rendement total

Figure (III-13) présente l'évolution temporelle de rendement total (thermique et électrique) du collecteur. On remarque qu'il enregistre une augmentation à partir de 69.71% à 08h:30 jusqu'à 93.07% à 13h:00, il commence à diminuer en fonction de la décroissance de rayonnement solaire jusqu'à 68.75% à 17h:30. Cela signifie que malgré que augmentation de rendement électrique mais le rendement thermique reste prédominant. Les équations III-6 présente sont utilisées pour le calcul rendement total [13]:

$$\eta_{tot} = \eta_{th} + \eta_{ele}/Cf \tag{III-6}$$

Cf = 0.36 : Facteur de conversion de la puissance thermique.

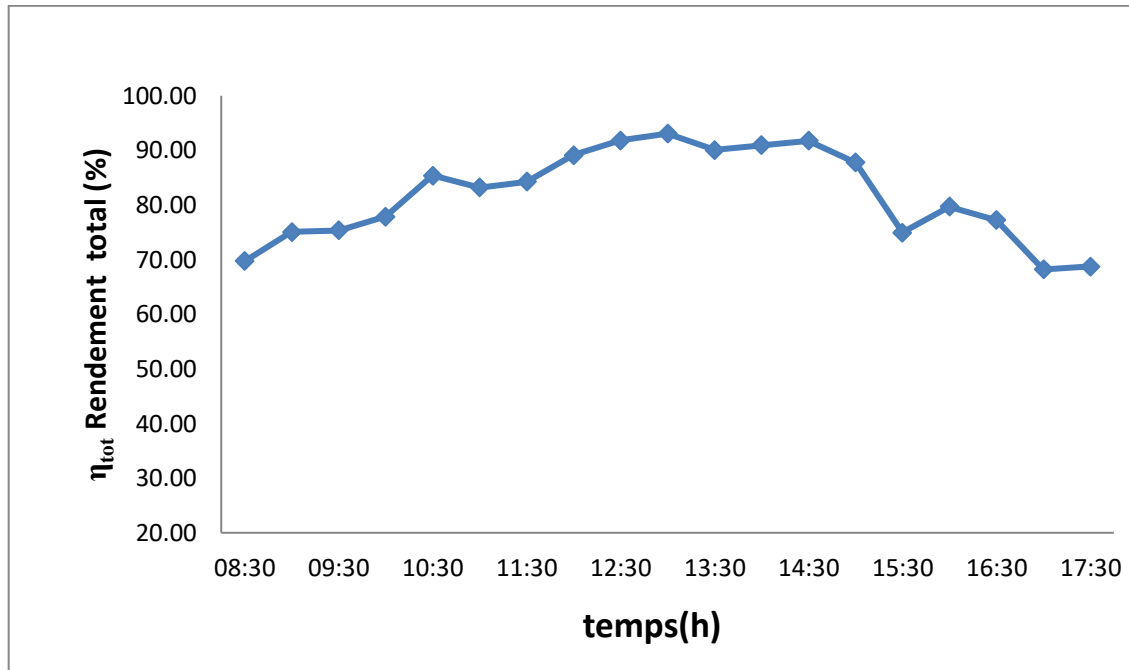


Figure (III-13) Evolution de rendement total du collecteur en fonction du temps.

III-7 Le Deuxième cas au 18/04/2019

En date du 18 avril 2019. On a mesuré les données expérimentales au fil des heures de la journée de 8:30h à 17h: 30 avec de condition suivante, une profondeur de canal égal 30 cm fixe et une vitesse de ventilation minimal 0.8 m/s et le débit 0.032 kg/s. Nous avons enregistré les résultats dans le Tableau (III-3).

Temps	Vs	Ta(°C)	Ttop(°C)	Tbs(°C)	Tg(°C)	Tabs(°C)	Tent(°C)	Ts1(°C)	TS(°C)	G(W/m ²)	nth(%)	Vco	Ish	Vmp	Imp	nel(%)	elect (W)	p th (W)	n total	ΔT(0.032 Kg/s)	ΔT(0.12 Kg/s)
8:30	0,8	24,6	29,5	30,1	28,1	29,5	23,1	26,5	27	425	24,88	20,88	2,66	14,96	3,28	11,72	49,07	126,88	57,44	3,9	1,8
9:00	0,81	24,9	37	39,1	32,5	36,8	24,7	30	30,7	560	29,41	20,68	3,59	16,5	3,73	11,16	61,55	197,65	60,41	6	2,4
9:30	0,84	25	43,6	47,5	36,9	43,8	28	32	35,4	680	30,98	20,48	4,88	15,09	4,98	11,22	75,15	252,79	62,15	7,4	2,8
10:00	0,8	26,9	50	52	41,4	52	28,5	34,2	38	750	34,94	20,15	5,96	15,13	5,3	10,86	80,19	309,08	64,50	9,5	3,6
10:30	0,84	31	53,9	56,7	43,2	65,8	29	35,8	39,2	800	36,30	19,87	6,9	14,1	5,7	10,20	80,37	348,44	64,63	10,2	4
11:00	0,84	30,3	60,3	64	47,9	76	31,5	38,1	42,8	879,5	36,58	19,53	7,36	13,73	6,43	10,19	88,28	386,02	64,89	11,3	4
11:30	0,83	31,9	64,5	67,1	50,7	84	33,7	40	45	900	35,32	19,4	8,18	13,44	6,72	10,19	90,32	381,43	63,62	11,3	4,4
12:00	0,85	39,5	65,3	72,1	48,2	91,8	39,4	50	53,1	1001,2	39,42	19,21	8,51	12,5	8	10,14	100,00	473,58	67,59	13,7	5,4
12:30	0,9	37,7	61,8	70,6	45,3	95,6	41,7	52,2	54,5	990	39,44	19,4	9,09	11,8	8,3	10,04	97,94	468,50	67,34	12,8	5,3
13:00	0,95	37,5	63,8	68,4	47,9	93,9	39,4	47,3	52	1010	40,16	19,2	9,21	12	8,4	10,13	100,80	486,80	68,31	12,6	5,7
13:30	0,95	38,2	62,3	71	45,4	92,9	41	50	53	909	42,50	19,28	9,17	12,7	7,2	10,21	91,44	463,62	70,87	12	5,2
14:00	0,95	38,3	62,1	65,9	47,7	90	42	49,3	53,2	870	41,45	19,39	8,1	12,84	6,9	10,34	88,60	432,71	70,17	11,2	5,1
14:30	0,93	39,4	62	68,4	47,7	91,7	42,5	52,6	53,4	850	40,42	19,39	8,37	12,34	7,2	10,61	88,85	412,25	69,90	10,9	5,2
15:00	0,91	40	59,9	66,7	46,8	85,4	43	51,3	52,9	830	36,78	19,41	7,76	12,5	7,4	11,32	92,50	366,38	68,22	9,9	4,1
15:30	0,9	40,4	57,1	62,8	45,3	75,6	41	46,5	50	770	35,65	19,46	7,18	13,8	6,2	11,28	85,56	329,41	66,99	9	2,9
16:00	0,91	42	59,5	72	43,8	63,8	41,1	47	49,1	700	35,25	19,55	6,8	13,5	5,8	11,36	78,30	296,06	66,79	8	2,9
16:30	0,94	39,3	50	55,3	43,8	57,4	40,8	45	47	615	32,12	19,72	6,34	12,79	5,49	11,59	70,22	237,01	64,32	6,2	2
17:00	0,9	39,1	45,4	49,7	40,1	52,4	39,2	44,6	43	390	29,72	20,11	4,13	15,5	2,87	11,58	44,49	139,08	61,89	3,8	1,4
17:30	0,8	38,4	43,7	46,5	40,8	49,3	39	41,8	42	300	27,11	19,89	2,71	16,5	2	11,17	33,00	97,60	58,14	3	0,7
																10,80637	1496,61	6205,29			

Tableau (III-3) Présent les donnes expérimentales thermique et électrique à le jour (18/04/2019)

III-7-1 Radiation et température ambiants de site

Figure (III-14) présente les variations temporelle horaires de l'intensité solaire et de la température. Nous observons que le rayonnement solaire et la température ambiante que nous avons obtenus dans le premier cas. On note que les courbes obtenues sont semblables aux celles obtenues au premier cas, parce que on a choisi les mêmes conditions climatiques pour les jours de déroulement des expériences ce qui permet de faire une bonne comparaison des résultats.

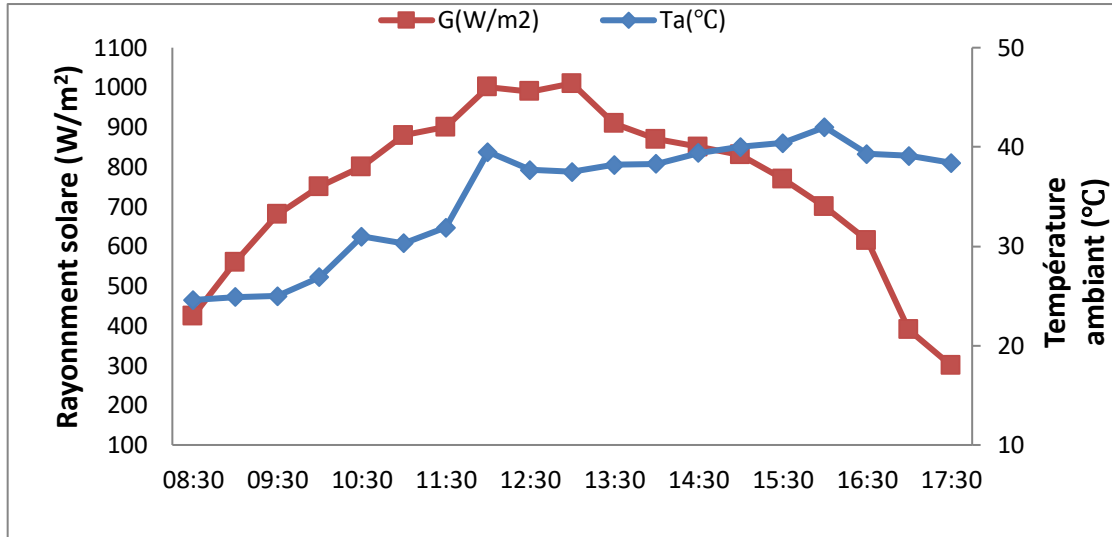


Figure (III-14) Variations de radiation solaire et la température ambiante (en 18/04/2019)

III-7-2 Performance thermique

A) Températures des surfaces supérieures et inférieure du PV

Figure (III-15) présente l'évolution temporelle de la température Top et Tbs du module PV. Des remarques semblables au premier cas sont tirées, sauf que les températures du panneau photovoltaïque sont plus élevées parce que la vitesse du ventilateur est plus faible.

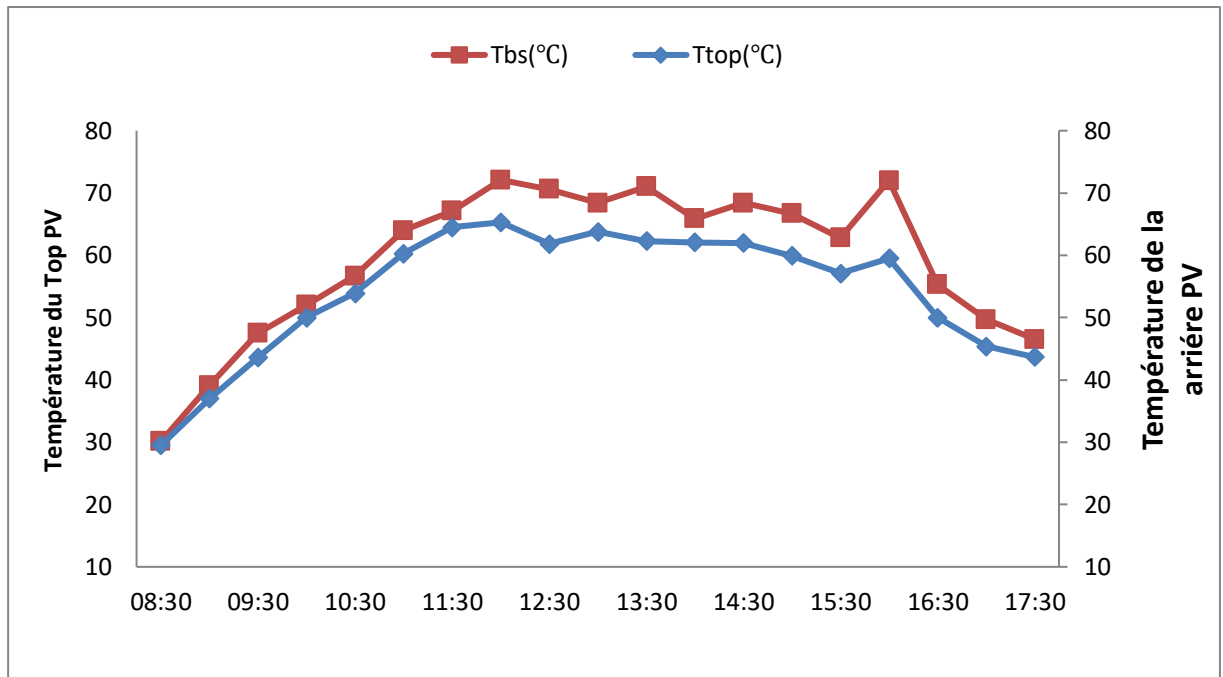


Figure (III-15) Températures Top et Tbs du module PV

B) Différentes températures du canal d`air

Figure (III-16) présente l'évolution temporelle des températures d'entrée et de sortie du canal, la vitre et l'absorbeur. Des températures de ce deuxième cas sont plus élevées par rapport au premier cas, en raison de l'utilisation de la ventilation a vitesse plus faible (0.8 m/s), donc le débit d'air sortant est plus réduit ce qui provoque un faible refroidissement du canal.

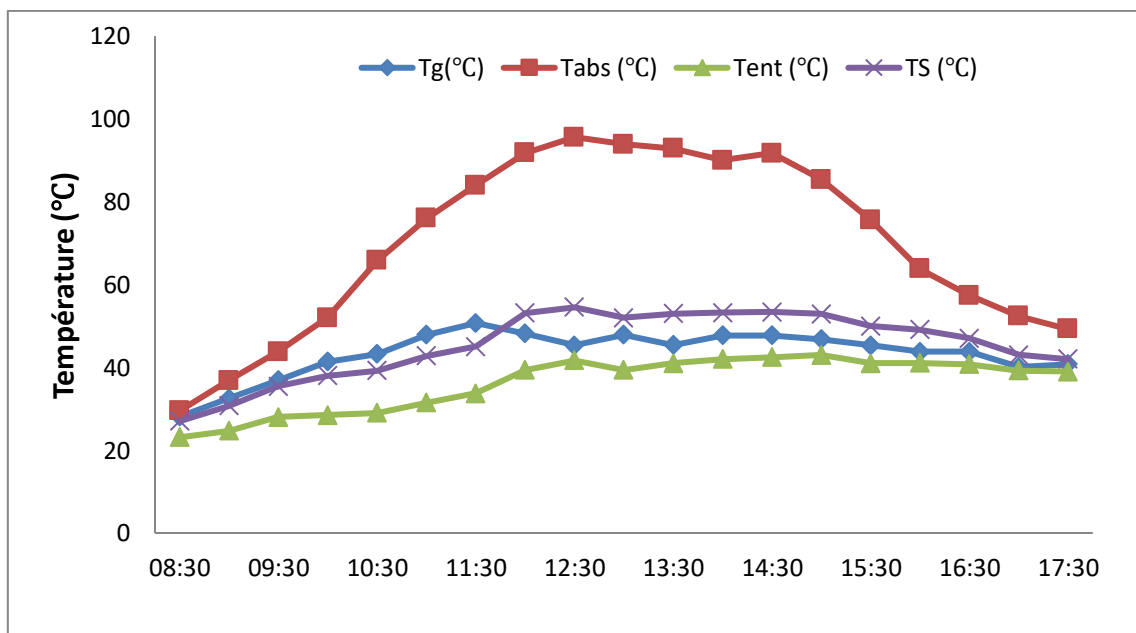


Figure (III-16) Evolution temporelle des températures de l'entrée et la sortie, la vitre et l'absorbeur du canal.

III-7-3 Performance électrique

A) Variation de courant

Figure (III-17), présente l'évolution temporelle du courant de court - circuit et du courant de la puissance maximale. L'allure des courbes est identique au cas précédent, ainsi que la variation des courants I_{sh} et I_{mp} est très faible en comparant avec le premier cas. L'évolution de courant ne dépasse pas 2 %, cela indique que l'influence de vitesse est très faible sur le courant généré par le panneau PV.

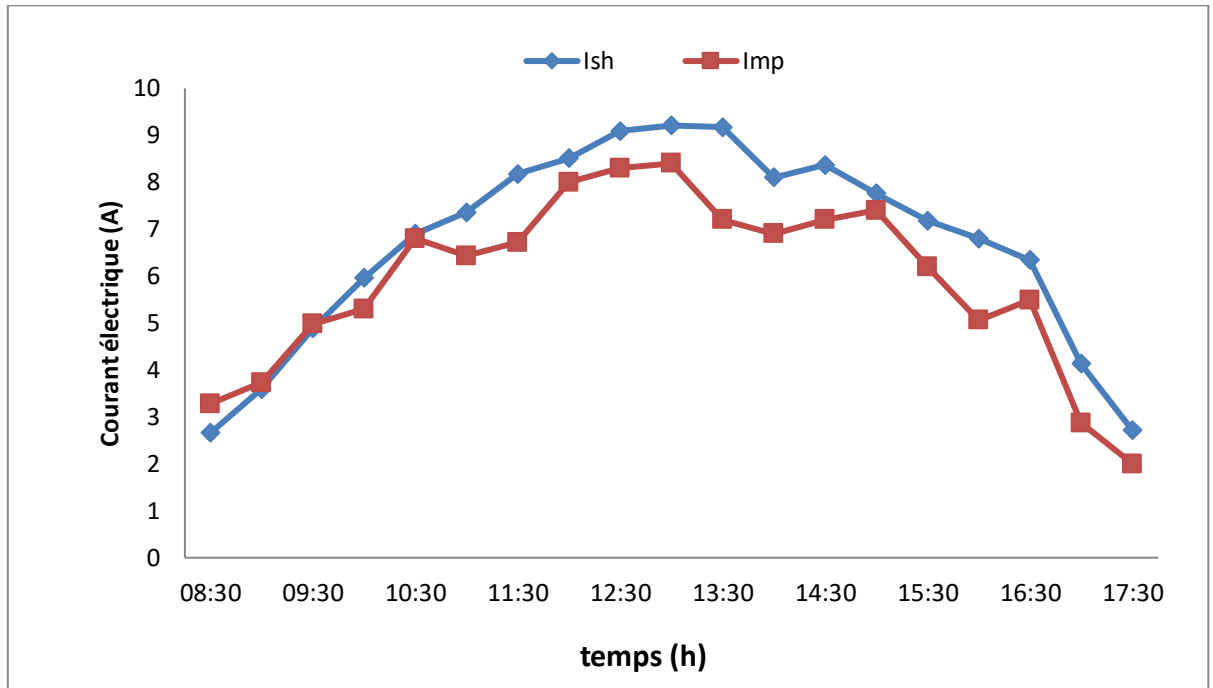


Figure (III-17) Variations du courant de court - circuit et du courant de la puissance maximale à $V=0.8$ m/s

B) Variations de la tension

Figure (III-18) présente l'évolution temporelle de la tension de court - circuit et du tension de la puissance maximale. L'allure des courbes est identique au cas précédent, ainsi que la variation des tensions V_{co} et V_{mp} est très faible en comparant avec le premier cas. L'évolution de tension ne dépasse pas 2%, cela indique que l'influence de vitesse est très faible sur la tension du panneau PV.

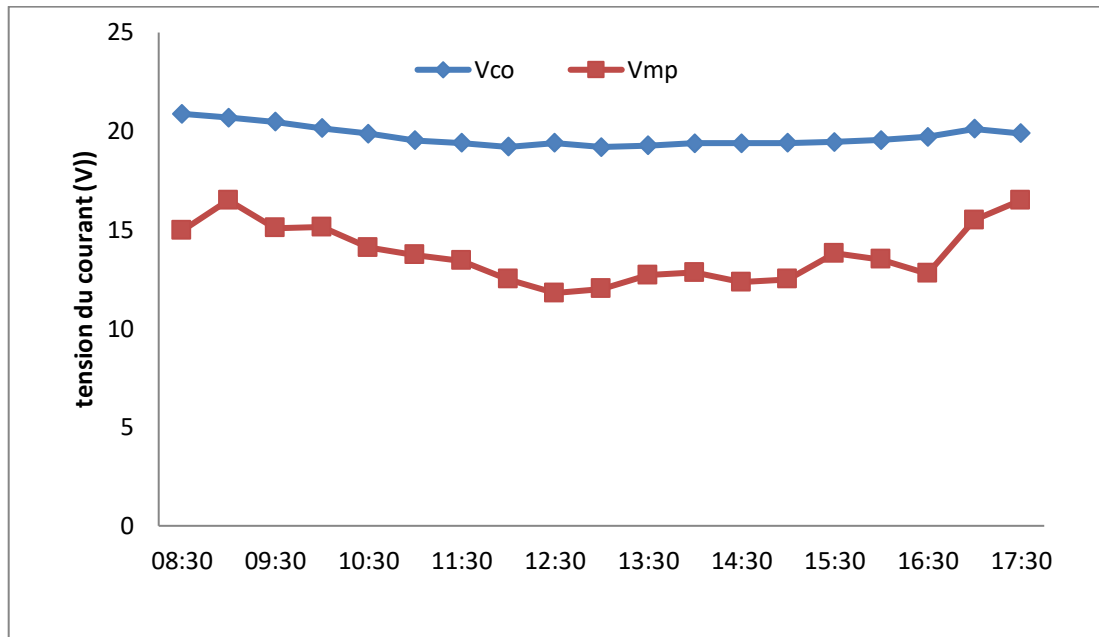


Figure (III-18) Variations de la tension en circuit ouvert et de la tension de la puissance a $V=0.8$ m/s.

III-7-4 Puissance thermique et électrique

Figure (III-19) présente la variation temporelle de puissance électrique et thermique du collecteur. On constate la même allure des histogrammes obtenue au premier cas, mais avec une réduction de la puissance thermique par rapport le premier cas. La puissance thermique atteint une valeur maximale 486W. Pour la puissance électrique, on remarque une très faible différence (1%) par rapport au premier cas sont tirées. L'effet d'augmentation de vitesse ($\Delta V=2.4$ m/s) est prédominant sur l'influence de variation de la température ($\Delta T=T_s-T_{ent}$)

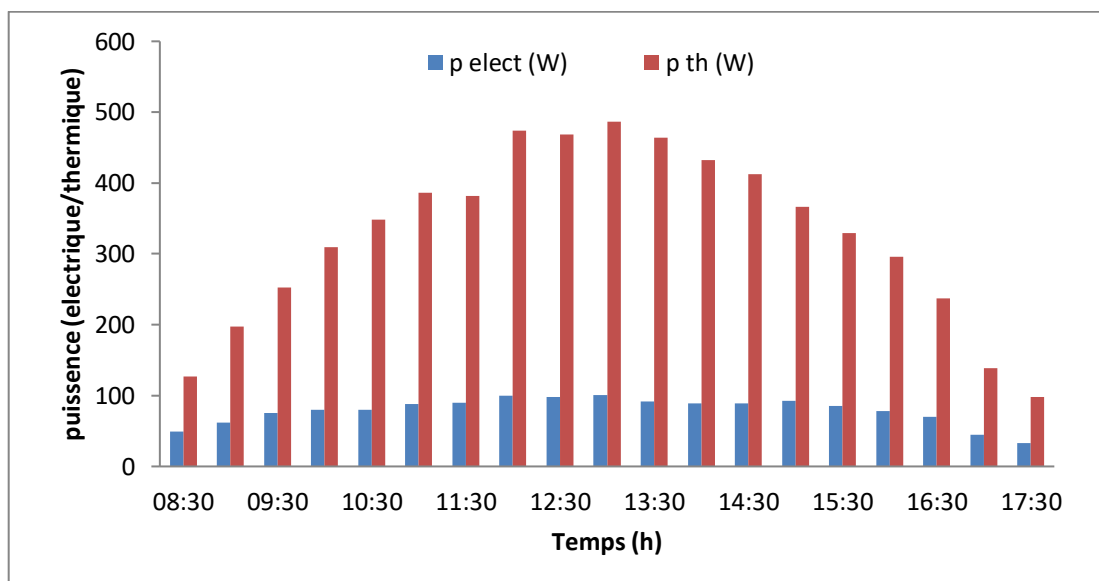


Figure (III-19) Puissance électrique et thermique du collecteur PV/T

III-7-5 Rendement électrique et thermique

A) Profils de rendements

Figure (III-20) présente L'évolution temporelle des rendements électrique et thermique du collecteur. On constate le même l'allure des courbes de premier cas. Mais les rendements de premier cas sont plus élevés par rapport au deuxième cas, les valeurs maximales de rendements thermique et électrique sont 62.94% et 12.04%, respectivement.

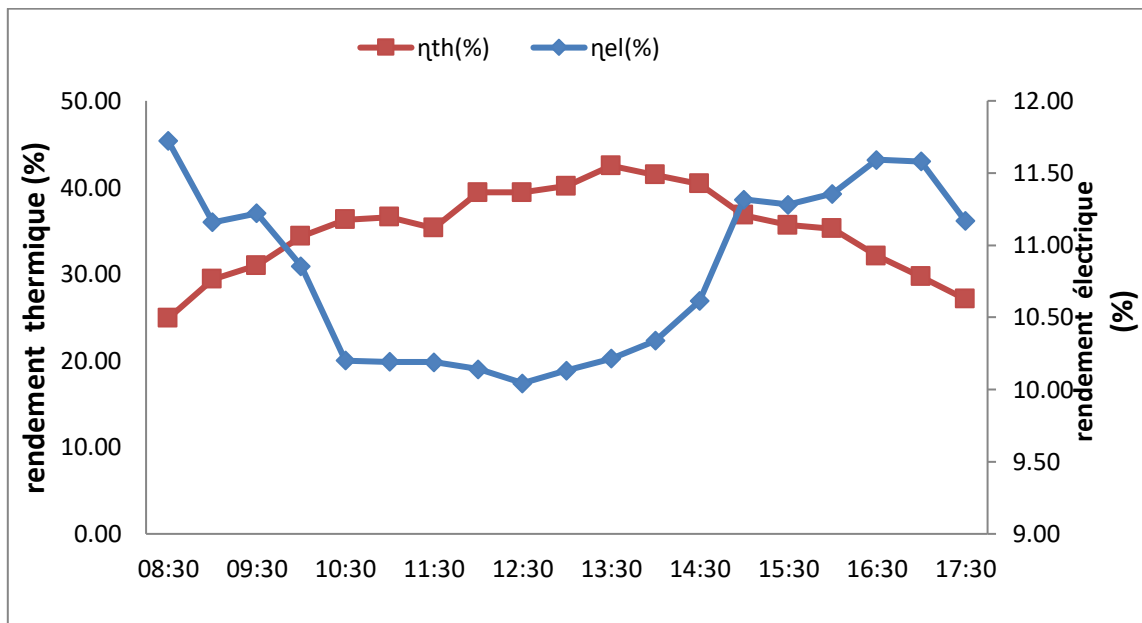


Figure (III-20) Evolution temporelle des rendements électrique et thermique du collecteur.

B) Le rendement total

Figure (III-21) présente l'évolution de rendement total en fonction des heures de la journée à la vitesse 0.8 m/s. On remarque que la valeur du rendement total diminue jusqu' à la valeur 70.88% par rapport au premier cas qui atteint 93.03%. Cette réduction est dû a la chute de rendement thermique provoqué par la diminution de la vitesse de ventilateur (0.8 m/s).

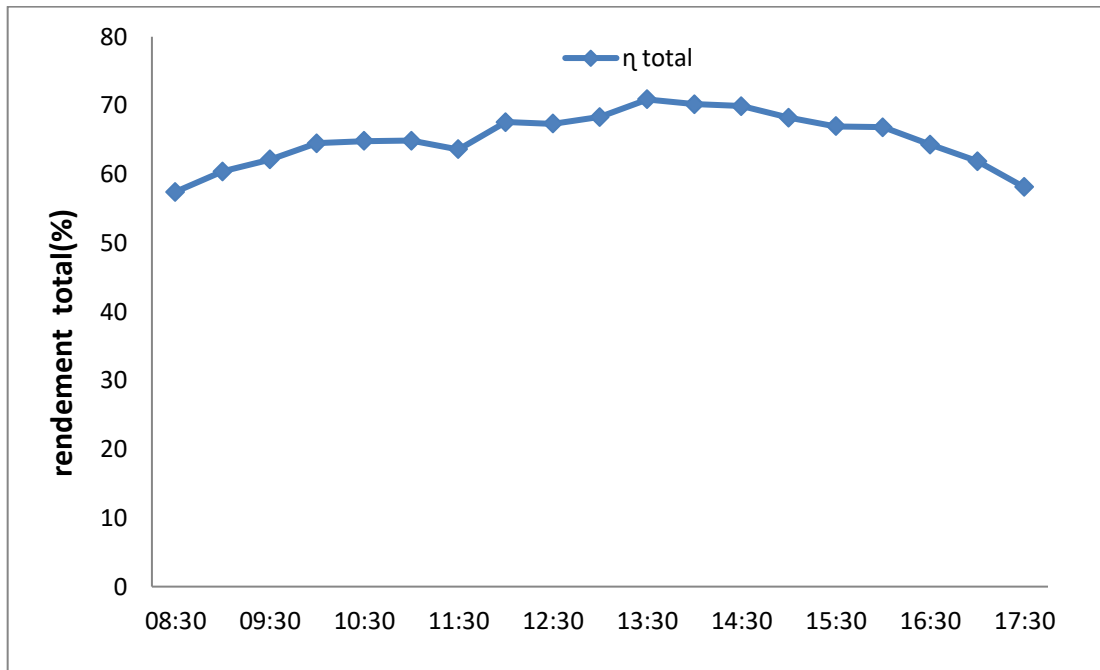


Figure (III-21) Evolution de rendement total du collecteur à $V=0.8$ m/s

III-8 Influence de débit sur les températures d'entrée et sortie

Figure (III-22) présente la différence entre la température d'entrée et sortie pour les débits massiques (0.032Kg/s et 0.12Kg/s). On remarque une augmentation de la différence de température, qui atteint un maximum à 12h: 00, la différence de température est de 14 °C pour 0.032 kg/s (vitesse= 0.8) et 4 °C pour 0.12kg/s (vitesse = 3.2m/s). A l'après-midi les différences températures diminuent progressivement. En générale, la différence de température pour 0.032 (kg/s) est supérieure à la différence de température en 0.12 (kg/s), ce qui réduit la différence de température entre l'entrée et la sortie.

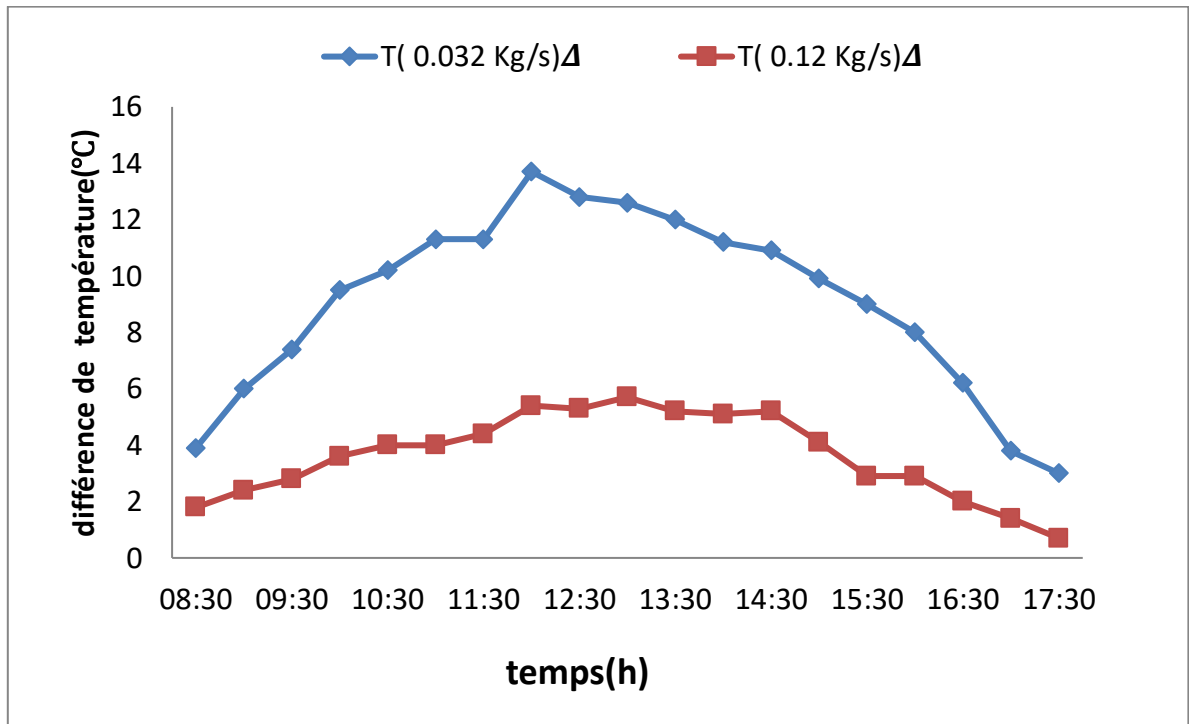


Figure (III-22) Différence de température d'entrée et sortie pour les débits massiques (0.032Kg/s et 0.12Kg/s)

Pour voir clairement les résultats, on va faire une comparaison sur le rendement total pour les deux cas de vitesse de ventilateur: 3.2 m/s et 0.8 m/s qui correspondent aux débits massiques 0.12Kg/s et 0.032 Kg/s respectivement.

La figure (III-23) présente la variation temporelle de rendement total pour les deux cas précédents, on remarque que les valeurs de rendement de 1^{er} cas est plus élevé par rapport au 2^{ième} cas, où la valeur maximale de 1^{er} cas atteint 93.07% et pour le 2^{ième} est égale à 70.87%.

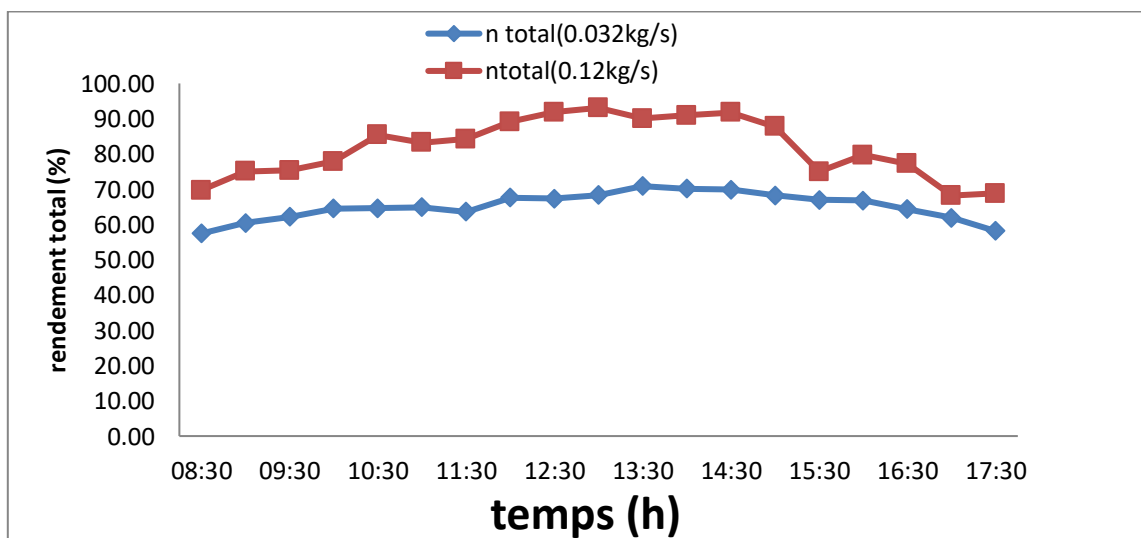


Figure (III-23) le rendement total à deux cas

III-9 Conclusion

En examinant les cas étudiés sous les différents modes opératoires pour atteindre la meilleure performance du capteur, on constate que :

- La lenteur du phénomène de refroidissement des monocles d'air provoque un déphasage entre l'heure des points maximaux de température et la radiation solaire.
- Les températures et le courant du module PV sont proportionnels au rayonnement solaire.
- Durant l'après-midi le flux solaire diminue ce qui réduit les puissances thermique et électrique.
- Durant l'après-midi, le rendement électrique augmente progressivement par l'effet de refroidissement de panneau. Mais le rendement thermique diminue par la réduction de flux de chaleur dégagée de l'absorber.
- L'augmentation de la ventilation provoque la réduction des températures de PV, mais cette variation effectuée sur la vitesse ($\Delta V=2.4\text{m/s}$) est insuffisante pour réduire la puissance thermique.
- L'augmentation de la vitesse de ventilation provoque l'amélioration des rendements thermique et électrique.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce travail expérimental de conception et développement de collecteur hybride (PV/T) dans le climat chaud de la ville de Ouargla nous a permis d'évaluer l'énorme potentiel solaire (thermique et photovoltaïque) de cette région.

Le système de ventilation forcée réalisé par l'intégration d'un ventilateur axial ($P_{\max}=5W$) à simple étage a conduit à l'amélioration des rendements thermique et électrique par l'augmentation de vitesse de l'écoulement à travers le canal d'air.

L'étude de comportement du collecteur pour deux débits massiques de l'air (0.032Kg/s et 0.12Kg/s) montre que :

- La température de l'air et la puissance électrique dépendent de l'intensité du rayonnement solaire.
- Le système a permis d'obtenir des débits assez élevés à la sortie du collecteur ce que favorise l'exploitation de système dans le chauffage des bâtiments ou séchages.
- Le rendement électrique du système hybride diminue avec l'augmentation de la température du module PV, par contre le rendement thermique augmente avec l'augmentation de cette température.

Pour une future tâche, on prévoit d'aborder un travail de simulation numérique pour optimiser et améliorer la conception de capteur. Ainsi, de développe et raccorde-le system PV/T par une application de thermique de bâtiment.

Références Bibliographiques

- [1] Equer, B. (1993). *Le Pompage Photovoltaïque Manuel de cours. Énergie solaire photovoltaïque ellipses.*
- [2] Brichambaut, C. P., & Vauge, C. (1982). *Le gisement solaire : Evaluation de la ressource énergétique. Tec & Doc.*
- [3] Mohamed, O. (2018). *Poursuite du point de puissance maximale d'un système photovoltaïque.*
- [4] CEA, « L'énergie solaire », CEA/Découvrir & Comprendre, 02-Février-2015
- [5] Zerguine, B. (2010). *Modélisation d'un système de production électrique par la cellule photovoltaïque. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar Annaba Algérie, 31.*
- [6] Bernard, C., Chauvin, J., Lebrun, D., Muraz, J. F., & Stassi, P. (2006). *Station solaire autonome pour l'alimentation des antennes de l'expérience de radio détection à l'Observatoire Pierre Auger.*
- [7] Equer, B. (1993). *Le Pompage Photovoltaïque Manuel de cours. énergie solaire photovoltaïque ellipses.*
- [8] Benlarbi, K. (2001). *Optimisation floue, Neuronale et neuro-floue d'un système de pompage photovoltaïque entraîné par différentes machines électriques : Machines à induction, machines synchrone à aimants permanents et machine à courant continu (Doctoral dissertation, Université de Batna 2-Mustafa Ben Boulaid).*
- [9] Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français, Royer, J., & Schiller, E. J. (1998). *Le pompage photovoltaïque : manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens. Québec : Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français.*
- [10] *Pompage photovoltaïque : guide à l'intention des ingénieurs et techniciens, Institut de L'énergie et de l'environnement de la francophonie, Université d'OTTAWA*
- [11] Tahar, B. M., Khaled, T., Ismail, T., & Abdelkrim, K. *Capteur solaire hybride photovoltaïque thermique en système thermosiphon.*

- [12] Tiwari, A., Sodha, M. S., Chandra, A., & Joshi, J. C. (2006). *Performance evaluation of photovoltaic thermal solar air collector for composite climate of India. Solar Energy Materials and Solar Cells, 90(2), 175-189.*
- [13] Kasaeian, A., Khanjari, Y., Golzari, S., Mahian, O., & Wongwises, S. (2017). *Effects of forced convection on the performance of a photovoltaic thermal system: An experimental study. Experimental Thermal and Fluid Science, 85, 13-21.*
- [14] Joshi, A. S., Tiwari, A., Tiwari, G. N., Dincer, I., & Reddy, B. V. (2009). *Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal (PV/T)(glass-to-glass) system. International Journal of Thermal Sciences, 48(1), 154-164.*
- [15] Mojumder, J. C., Chong, W. T., Ong, H. C., & Leong, K. Y. (2016). *An experimental investigation on performance analysis of air type photovoltaic thermal collector system integrated with cooling fins design. Energy and buildings, 130, 272-285.*
- [16] Guo, C., Ji, J., Sun, W., Ma, J., He, W., & Wang, Y. (2015). *Numerical simulation and experimental validation of tri-functional photovoltaic/thermal solar collector. Energy, 87, 470-480.*
- [17] Tonui, J. K., & Tripanagnostopoulos, Y. (2008). *Performance improvement of PV/T solar collectors with natural air flow operation. Solar energy, 82(1), 1-12.*
- [18] Su, D., Jia, Y., Huang, X., Alva, G., Tang, Y., & Fang, G. (2016). *Dynamic performance analysis of photovoltaic–thermal solar collector with dual channels for different fluids. Energy Conversion and Management, 120, 13-24.*
- [19] Baissi, M., Touafek, K., Tabet, I., Khelifa, A. *Conception d'un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique (système-thermosiphon).*
- [20] Chow, T.T., *A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. Applied Energy, 2010. 87(2): p. 365-379.*
- [21] Tonui, J. and Y. Tripanagnostopoulos, *Improved PV/T solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation. Renewable Energy, 2007. 32(4): p. 623-637.*
- [22] Ameri, M., M. Mahmoudabadi, and A. Shahsavari, *An Experimental Study on a Photovoltaic/Thermal (PV/T) Air Collector With Direct Coupling of Fans and Panels. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2012. 34(10): p. 929-947.*

- [23] Jin, G.L., et al., *Evaluation of single-pass photovoltaic-thermal air collector with rectangle tunnel absorber*. *American Journal of Applied Sciences*, 2010. **7**(2): p. 277.
- [24] Ji, J., et al., *Experimental investigation of tri-functional photovoltaic/thermal solar collector*. *Energy Conversion and Management*, 2014. **88**: p. 650-656.
- [25] Amori, K.E. and M.A. Abd-AllRaheem, *Field study of various air based photovoltaic/thermal hybrid solar collectors*. *Renewable Energy*, 2014. **63**: p. 402-414.
- [26] Kim, J.-H., S.-H. Park, and J.-T. Kim, *Experimental Performance of a Photovoltaic-thermal Air Collector*. *Energy Procedia*, 2014. **48**: p. 888-894.

Résumé

Dans ce travail, nous présentons une étude expérimentale sur le collecteur solaire photovoltaïque thermique dans le climat chaud.

Un capteur photovoltaïque-thermique (PV/T) est un capteur solaire combinant un module photovoltaïque (PV) et un capteur solaire thermique, qui produit simultanément de l'électricité et de la chaleur. Selon le support utilisé pour collecter l'énergie thermique, il existe deux types de capteurs PV/T: à base d'air et à base d'eau. L'intégration de modules photovoltaïques avec des capteurs thermiques peut entraîner une augmentation des températures dans le module photovoltaïque, ce qui diminue le rendement des capteurs PV/T. Pour obtenir de meilleures performances des capteurs PV/T à base d'air, il est nécessaire d'extraire la chaleur, sous forme d'air chaud, le module PV et diminuer ainsi sa température. L'air chaud extrait du collecteur PV/T peut être utilisé comme source de chaleur pour le bâtiment. Dans cette étude, un collecteur PV/T à base d'air avec un module PV monocristallin a été conçu et ses performances électriques et thermiques ont été analysées à l'aide des résultats expérimentaux. Les résultats ont indiqué que les rendements thermique et électrique du collecteur PV/T étaient en moyenne de 62.94% et environ 12%, respectivement.

Mots clés : Energie solaire photovoltaïque, Système Photovoltaïque thermique PV/T, Convection forcée, Performance thermique.

Abstract

In this work, we present experimental study on the photovoltaic thermal solar collector in hot climate.

A photovoltaic-thermal (PV/T) collector is a solar collector that combines a photovoltaic (PV) module with a solar thermal collector, and which produces electricity and heat at the same time. Depending on the medium used for collecting thermal energy, there are two types of PV/T collectors: air-based and water-based. The integration of PV modules with thermals collectors could cause higher temperatures in the PV module, and this decreases the efficiency of PV/T collectors. In order to have better performance of air-based PV/T collectors, it is necessary to extract the heat, in the form of hot or warm air, from the PV module and thus decrease its temperature. The warm air extracted from the PV/T collector can be utilized as a heat source for the building. In this study, an air-based PV/T collector with a mono-crystalline PV module was designed, and its electrical and thermal performance was analyzed with the

experimental results. The results indicated that the thermal and electrical efficiencies of the PV/T collector were, on average, 62.94% and about 12%, respectively.

Keywords: Photovoltaic solar energy, PV/T Thermal Photovoltaic System, forced convection, thermal performance.

ملخص

في هذا العمل ، نقدم دراسة تجريبية حول جامع الطاقة الشمسية الضوئية و الحرارية في المناخ الحار . لاقط الطاقة الشمسية الضوئية و الحرارية هو مجمع للطاقة الشمسية يجمع بين وحدة الطاقة الشمسية الضوئية و مجمع الطاقة الشمسية الحرارية التي تنتج الكهرباء و الحرارة في نفس الوقت . ، يوجد نوعان من الاواظ الحرارية باعتماد على الوسيلة المستخدمة لجمع الطاقة الحرارية اما عن طريق الهواء أو الماء. قد يتسبب تكامل الوحدات الكهروضوئية مع مجمعات الحرارة في ارتفاع درجات الحرارة في الوحدة الكهروضوئية ، وهذا يقلل من كفاءة PV. من أجل الحصول على أفضل أداء للاقط القائم عمله على الهواء فمن الضروري استخلاص الحرارة في شكل هواء ساخن أو دافئ من الوحدة الكهروضوئية وبالتالي تقليل درجة حرارتها. ويمكن استخدام الهواء الدافئ المستخرج من المجمع PV/T كمصدر حرارة للمبنى . وقد تم تصميم جامع قائم على الهواء مع وحدة أحادية البلورية ، وتم تحليل أدائها الكهربائي و الحراري مع النتائج التجريبية . أشارت النتائج إلى أن الكفاءة الحرارية والكهربائية للمجمع كانت في المتوسط ، 62.94 % و حوالي 12% ، على التوالي.

كلمات مفتاحية : الطاقة الشمسية الكهروضوئية ، النظام الكهروضوئي الحراري ، الحمل القسري ، الأداء الحراري