

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologies

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique

Thème

**ETUDE ET CONCEPTION D'UNE NOUVELLE
CONFIGURATION D'UN CAPTEUR HYBRIDE
PHOTOVOLTAÏQUE THERMIQUE**

Présenté par :

HANNI AHMED YACINE

Devant le jury :

Dr. BOUARAOUR Kamel

Maître de conférences B

Univ. Ghardaïa

Président

Dr. CHEDDADI Amel

Maître de conférences B

Univ. Ghardaïa

Examineur

Dr. TOUAFEK Khaled

Maître de Recherche A

URAER. Ghardaïa

Encadreur

Année universitaire 2014/2015

Remerciements

Tout d'abord, merci pour le grand **Dieu** qui m'a donné la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

Au cours de ce travail, j'ai été encadré par **Dr KHALED TOUAFEK** (Maitre de Recherche Classe A à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER) de Ghardaïa, et enseignant au département de science et technologie à l'université de Ghardaïa, je tiens à le remercier pour avoir accepté d'être le directeur de ce mémoire, et pour ses encouragements, et les conseils précieux tout le long du travail.

J'exprime mes sincères remerciements à Monsieur **Dr KAMAL BOUAROUR**, Maitre de conférences et doyen de la faculté de science et technologie à l'université de Ghardaïa, d'avoir accepté de présider le Jury de ce mémoire.

Je remercie Madame **Dr CHEDDADI Amel**, Maitre de conférences et enseignante au département de science et technologie à l'université de Ghardaïa d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes sincères remerciements vont également à Messieurs **Khelifa Abdelkrim** et **TABET Ismail** (chercheurs à l'unité de recherche -URAER). Je souhaite également les remercier pour leurs aides précieuses m'ayant permis de mener à bien cette étude dans les meilleures conditions possibles, et surtout l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et l'attention toute particulière accordée à la lecture et à la correction de ce mémoire.

Je remercie également tous les chercheurs de l'unité (URAER) sans exception pour leurs encouragements efficaces.

Tous mes remerciements et mon estime à tous mes collègues.

Enfin à toutes les personnes qui ont contribué de loin ou de près à l'aboutissement de ce travail, en particulier toute ma famille pour son soutien moral durant toute la durée de préparation de ce mémoire.

المخلص

إن اللاقط الكهروضوئي الحراري ينتج الكهرباء من خلال الأشعة الشمسية الممتصة من طرف الخلايا الكهروضوئية, وكذلك الحرارة التي يتم تحويلها إلى السائل, خلال عملية إنتاج الكهرباء ترتفع درجة حرارة الخلايا مما يؤدي الى الحد من فعاليتها و تناقص المردود. يمكن خفض حرارة الخلايا من خلال تبريدها بسائل (الماء في بحثنا هذا) و بالتالي الرفع من مردوديتها , استخدمنا نموذج جديد للتبريد بحيث يوصلنا إلى نتائج مستحسنة. الهدف من عملنا هذا هو دراسة تطبيقية و انجاز نموذج مركب بحيث يستطيع أن ينتج طاقة كهربائية و حرارية في نفس الوقت. ان النتائج التي تحصلنا عليها تدل على أن اللاقط يمكن أن يكون بديل للواقط الكهروضوئية و الحرارية المستعملة بصفة مستقلة.

الكلمات المفتاحية : اللاقط الكهروضوئي , الحرارة , المردود , جهاز التبريد.

Résumé

Le capteur photoélectrique thermique du produit de l'électricité par le rayonnement solaire absorbé par les cellules photovoltaïques, et chaleur qui se transforme en liquide, un procédé de production d'électricité augmente cellules thermiques degrés, ce qui conduit à la réduction de leur efficacité et de rendements décroissants. Peut réduire la température des cellules au cours de fluide de refroidissement (l'eau dans notre recherche de cette) et donc augmenter le coût-efficacité, nous avons utilisé un nouveau modèle de refroidissement de sorte que nous amène à des résultats souhaitables. Le but de notre travail cette étude est un appliquée et la réalisation d'un modèle composite de sorte qu'il peut produire de l'énergie électrique et de la chaleur en même temps. Les résultats que nous avons acquis indiquent que le détecteur peut être un substitut pour PV et Le capteur thermique utilisé indépendamment.

Mot clés : Le capteur photoélectrique, température, rendement, système de refroidissement

Abstract

The thermal photoelectric collector produces electricity through solar radiation absorbed by the PV cells, and heat which is converted into liquid, process of producing electricity rises degree heat cells, leading to the reduction of their effectiveness and diminishing returns. Can reduce the temperature of the cells during cooling fluid (water in our research this) and thus increase the cost-effectiveness, we used a new model for cooling so that brings us to the desirable results. The goal of our work this is an applied study and the completion of a composite model so that it can produce electrical energy and heat at the same time. The results that we have acquired them indicate that the detector can be a substitute for PV and thermal detector used independently.

Keywords: The thermal photoelectric collector, the temperature, rendement, model for cooling.



Liste des figures

Figure (I.1) : Les structures opérant dans le domaine des énergies renouvelables.....	3
Figure (I.2): Conception solaire passive.....	4
Figure (I.3): Schéma d'un system photovoltaïque.....	5
Figure (I.4) : Chauffe eau solaire.	5
Figure (I.5) : Configuration d'un system de Pompage photovoltaïque.....	6
Figure (1.6) : production d'électricité à base de la géothermie haute énergie.....	7
Figure (I.7) : Schéma d'un dispositif éolien à axe verticale et horizontale.....	8
Figure (1.8) : Centrale à biomasse.....	10
Figure (1.9):les vagues.....	11
Figure (1.10) : schéma d'exploitation de l'énergie des marées.....	11
Figure II.1: Principe de fonctionnement du générateur photovoltaïque.....	14
Figure (II.2) : Caractéristique résultante d'un groupement en série de ns cellules identiques.....	15
Figure(II.3) : Caractéristique résultante d'un groupement.....	16
Figure (II.4) : Caractéristique résultante d'un groupement hybride de (np+ ns) cellules identiques.....	16
Figure (II.5) : vue en coupe d'un capteur thermique.	18
Figure (II-6) : les trois couches du module photovoltaïque.....	21
Figure (II.7) : Vue en coupe du capteur hybride.....	21
Figure (II.8) : Schéma représentant l'échange thermique au niveau du vitrage.	24
Figure (II.9): schéma représentant l'échange thermique au niveau des cellules photovoltaïque.....	25
Figure (II.10) : schéma représentant l'échange thermique au niveau de la couche de tedlar.....	26

Figure (II.11): schéma représentant l'échange thermique au niveau de la plaque absorbante.....	27
Figure(II.12) : schéma représentant l'échange thermique au niveau du tube.....	28
Figure (II.13): schéma représentatif d'un collecteur hybride PV/T à air.....	28
Figure (II.14): schéma présentatif d'un collecteur hybride à liquide.....	29
Figure (III.1) : le module photovoltaïque.....	32
Figure (III.2) : Une plaque en acier.....	33
Figure (III.3) : tubes qui sont soudé Parallèlement sur plaque.....	33
Figure (II.4) : la laine de verre.....	34
Figure (III.6) : fixation du capteur sur le support.....	34
Figure (III.7) : photo d'une acquisition de donnée.....	35
Figure (III. 8) : photo d'une Thermocouple de type « k »	36
Figure (III. 9) : Tasse graduée.....	37
Figure (III. 10) : schéma représente l'appareil qui mesure $I_f(V)$	37
Figure (III.11) : banc d'essai de notre prototype.....	38
Figure (IV.1) : évolution de l'éclairement solaire globale pendant le jour 21/04/2015...41	41
Figure (IV.2) : évolution de l'éclairement solaire globale pendant le jour 28/04/2015...41	41
Figure (IV.3) : évolution de la température Pendant le jour 21/04/2015.....	41
Figure (IV.4) : évolution de la température Pendant le jour 28/04/2015.....	41
Figure (IV.5) : variation de la température l'eau à l'entrée du capteur PVT (21/04/2015)	42
Figure (IV.6) : variation de la température l'eau à l'entrée du capteur PVT 28/04/2015)	42
Figure (IV.7) : variation de la température l'eau à la sortie du capteur PV/T (21/04/2015)	43

Figure (IV.8) : variation de la température l'eau à la sortie du capteur PV/T (28/04/2015)	43
.....
Figure (IV.9) : Variation de l'écart entre la température entré et sortie du capteur PVT	43
.....
Figure (IV.10) : variation de la température l'eau à la sortie du capteur PV/T 21/04/2015)	44
.....
Figure (IV.11) : variation de la température l'eau à la sortie du capteur PV/T 28/04/2015)	44
.....
Figure (IV.13) : Courbes caractéristiques courantes tensions (I-V) à vide du capteur hybride PV/T et du module photovoltaïque.....	45



Nomenclature

Nous donnons dans cette table la liste des principaux symboles utilisés ainsi que la Définition des paramètres qu'ils désignent.

A: Surface [m^2]

C_p : Chaleur spécifique [$J/Kg \text{ } ^\circ C$]

cel : Cellule solaire

D : Diamètre intérieur du tube [m]

G : Eclairement global [W/m^2]

h_i : Coefficient d'échange avec l'ambient [$W/m \text{ } K$]

h_{cond} : Coefficient d'échange par conduction [$W/m^2 \text{ } K$]

h_{conv} : Coefficient d'échange par convection [$W/m^2 \text{ } K$]

M : Masse [Kg]

\dot{m} : Débit massique [Kg/s]

PV/T : Photovoltaïque thermique

Q_{th} : Energie thermique [W]

Q_{ele} : Energie électrique [W]

T : Température [K]

T_a : Température ambiante [K]

T_s : Température de sortie du fluide [K]

T_e : Température d'entrée du fluide [K]

ted: Tedlar

tub: Tube

pl: Plaque

V : Verre

λ : Conductivité thermique [$W/m \text{ } K$]

ε : Emissivité

$\tau\text{-}\alpha$: Transmittivité-absorptivité

ρ : Masse volumique [Kg/m^3]

v : Vitesse [m/s]

τ : Transmittivité du verre

α_{cel} : Coefficient d'absorption de la cellule solaire

E : Epaisseur [m]

η : Rendement [%]

n_p : nombre des cellules en parallèle,

n_s : nombre des cellules en série.

I_{cc}^t : courant de court-circuit total

I_{cc} : courant de court-circuit

V_{oc}^t : la tension à vide totale

V_{oc} : la tension à vide

φ_{sa} : flux solaire absorbé par la surface exposée (W)

φ_p : flux perdu par la paroi absorbante

φ_u : flux utile transmis au fluide caloporteur

φ_{st} : flux stocké dans le capteur.

M_e : Masse en eau du capteur définie.

T : Température moyenne du capteur.

t : Temps

τ_{cs} : Coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement

q_{cf} : Débit calorifique du fluide caloporteur ($\text{W} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) = débit massique x capacité

h_p : Coefficient global de pertes du capteur

T_{pm} : Température moyenne de la paroi absorbante

T_a : Température de l'air extérieur.

T_{air} : Température ambiante [K]

T_{verre} : Température de verre [K]

$\varepsilon_{\text{verre}}$: émissivité du verre

σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($\text{w/m}^2 \cdot \text{k}^4$)

β : Coefficient de température qui représente la relation entre le rendement de la cellule solaire et la température, il est égal (0.004) pour une cellule solaire en silicium.

T_{sil} : Température de la cellule solaire en [K].

$\eta_{\text{réf}}$: est le rendement de référence est mesuré pour une température de référence $T_{\text{réf}}$ prise égale à 25°C.



Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I	
LES ENERGIES RENOUVLABLES	
I.1 Introduction.....	3
I.2. Les différents types des ressources énergétiques renouvelables.....	3
I.2-1 L'énergie solaire	4
a)Techniques pour capter l'énergie solaire.....	4
□ L'énergie solaire passive.....	4
□ L'énergie solaire photovoltaïque.....	5
□ L'énergie solairethermique.....	5
I.2-2 L'énergie géothermique.....	7
a) La géothermie très basse énergie:	7
b) La géothermie basse énergie	7
c) La géothermie haute énergie	7
I.2-3 L'énergie éolienne.....	8
I.2-3-1 L'origine du vent.....	8
I.2-3-2 Les différents types d'éoliennes.....	8
I.2-4 L'énergie de biomasse.....	9
I.2-4-1 La bioénergie.....	9
I.2-4-2 La Biogaz.....	9
I.2-4-3 Le biocarburant.....	10
I.2.5. Energie hydraulique.....	10
I.2.6. L'énergie des vagues.....	11
I.2.7. L'énergie de marées.....	11
I.3. Avantages des ressources renouvelables.....	12
I.4 Conclusion.....	12

CHAPITRE II
ETAT DE L'ART SUR LES CAPTEURS HYBRIDES PV/T

II.1. Introduction.....	13
II.2. Historique et état de l'art.....	13
II.3. Capteurs solaires photovoltaïques.....	13
II.3.1 Panneau photovoltaïques.....	13
II.3.2. La cellule solaire.....	14
II.3.3. Effet photovoltaïque.....	14
II.3.4. Association des cellules photovoltaïques.....	15
II.3.4.1. Association en série.....	15
II.3.4.2. Association en parallèle.....	15
II.3.4.3. Association hybride (en série et en parallèle).....	16
II.3.5 Avantages et inconvénients des systèmes PV.....	17
II.3.5.1. Avantages.....	17
II.3.5.2. Les inconvénients.....	17
II.4. Les capteurs solaires thermiques.....	18
II.4.1. Composants du capteur.....	18
II.4.2. Principe de captation du rayonnement solaire thermique.....	18
II.4.3. Bilan thermique globale de la paroi absorbante.....	18
II.4.4. Le rendement d'un capteur solaire.....	19
II.5. les capteurs hybrides photovoltaïque thermique.....	20
II.5.1. Constitution et principe.....	20
II.5.2. Modélisation thermique du capteur hybride.....	21
II.5.3 Principe de base d'étude thermique.....	21
II.5.4. Bilan énergétique du capteur hybride.....	22
II.5.4.1. Bilan énergétique au niveau de la surface du verre.....	22
II.5.4.2. Bilan énergétique au niveau de la couche des cellules et de tedlar est.....	24
II.5.4.3. Bilan d'énergie au niveau de la couche du tedlar.....	25
II.5.5. Les différents types du capteur solaire hybride photovoltaïque thermique.....	28
II.5.5.1. Collecteur hybride PV/T à air.....	28
II.5.5.2. Capteur hybride PV/T à liquide.....	29
II.6. Conclusion.....	30

CHAPITRE III
CONCEPTION ET REALISATION D'UN CAPTEUR HYBRIDE PV/T

III.1. Introduction.....	31
III.2. Matériels utilisés	31
III.3. Description technique.....	31
III.4. Caractéristiques électriques.....	31
III.5. Les étapes de réalisation du capteur PV/T	32
<input type="checkbox"/> Un module photovoltaïque.....	32
<input type="checkbox"/> Absorbeur.....	32
<input type="checkbox"/> Support métallique.....	33
<input type="checkbox"/> Isolation.....	33
<input type="checkbox"/> Montage du capteur PV/T.....	34
<input type="checkbox"/> Fixation du capteur sur le support.....	34
III.6. Instrument de mesure.....	35
<input type="checkbox"/> Acquisition de donnée de la température.....	35
<input type="checkbox"/> Thermocouple de type « k »	36
<input type="checkbox"/> Tasse graduée.....	36
<input type="checkbox"/> Acquisition de donnée pour I(V).....	37
III.7. Essai effectué sur le banc d'essai.....	38
III.9. Conclusion	39

CHAPITRE IV
RESULTAT ET INTERPRETATION

IV.1. Introduction	40
IV.2. Interprétation des résultats obtenus	40
<input type="checkbox"/> Éclairement solaire globale.....	40
<input type="checkbox"/> Température ambiante.....	41
<input type="checkbox"/> Température d'eau à l'entrée et sortie du capteur hybride PVT.....	42
<input type="checkbox"/> Le rendement thermique.....	44
<input type="checkbox"/> Courant et la tension du capteur PVT et le module PVT.....	44
IV.6. CONCLUSION	45
CONCLUSION GENERAL.....	46

Bibliographie

Annexe



INTRODUCTION
GENERAL

INTRODUCTION GENERALE

Sans énergie, notre monde ne pourrait fonctionner. La demande totale d'énergie dans le monde s'accroît d'une manière exponentielle par rapport à la croissance démographique, et aux besoins de l'industrialisation généralisée.

Pousser par un contexte favorable (volonté politique, intérêt économique,...) l'investissement dans le domaine des énergies renouvelables et la sauvegarde de l'environnement a fait son apparition dans le programme national de promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable et du bilan annuel de l'usage des énergies renouvelables paru dans le journal officiel de la république algérienne n°52 du 18 Aout 2004. C'est un programme quinquennal qui s'inscrit dans les projections d'aménagement du territoire et de développement durable à l'horizon 2020.

Cependant, le point noir de l'utilisation de l'énergie photovoltaïque reste le faible taux de rendement pour un investissement initial conséquent.

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 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'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 du capteur photovoltaïque, ce qui va le refroidir en même temps.

L'objectif de notre travail est la mise en œuvre d'un prototype de capteur hybride et de l'étudier expérimentalement pour évaluer ses performances électriques et thermiques et le comparer avec capteurs solaire photovoltaïque classique.

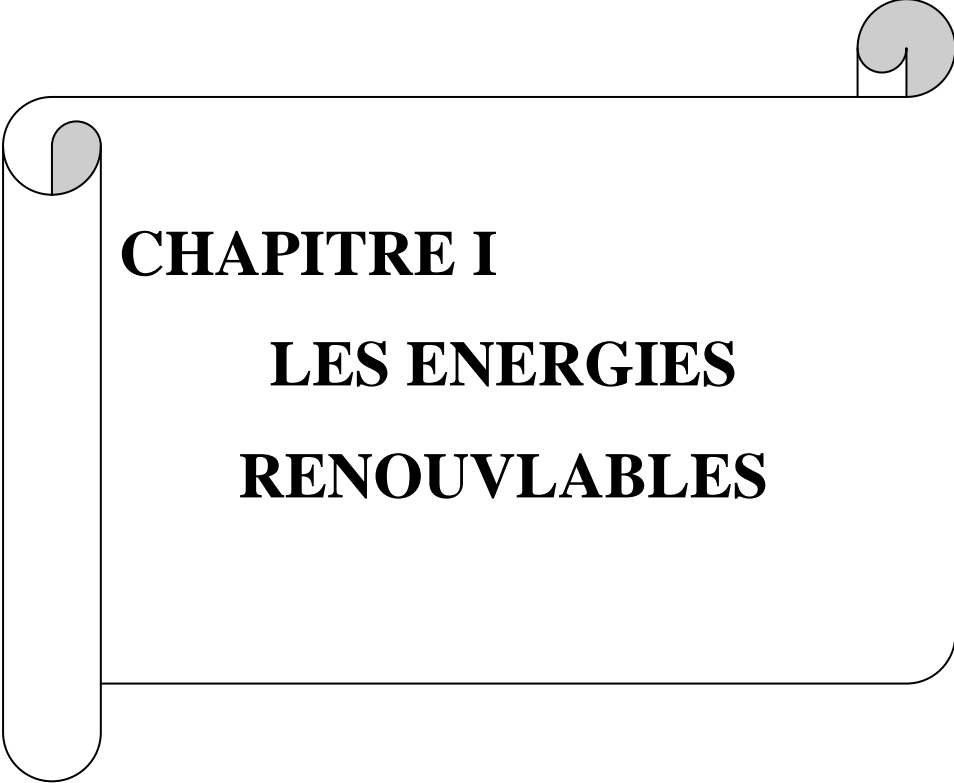
Nous avons subdivisé notre travail en quatre chapitres :

Pour le premier, nous avons présenté des généralités sur les énergies renouvelables, leurs disponibilités et leurs principaux atouts.

Dans le second chapitre, un état de l'art sur les capteurs hybrides photovoltaïques thermiques à eau a été dressé. On a pris des études théoriques sur les capteurs thermiques, photovoltaïques et hybrides. Leurs principes de fonctionnement et ainsi leurs avantages et leurs inconvénients.

Le troisième chapitre est consacré pour l'étude expérimentale et la conception. Nous avons cité les différentes étapes de réalisation et ses dispositifs des mesures pour relever les résultats thermiques et électriques.

Dans le dernier chapitre, on a exposé et interprété les résultats obtenus de notre réalisation durant le stage à l'unité de recherche appliquée en énergies renouvelables. Nous avons terminé notre travail par une conclusion générale.



CHAPITRE I
LES ENERGIES
RENOUVLABLES

CHAPITRE I

LES ENERGIES RENOUVLABLES

I.1 Introduction

Les énergies renouvelables sont des formes d'énergies dont la consommation ne diminue pas la ressource à l'échelle humaine. L'expression énergie renouvelable est la forme courte et usuelle des expressions « sources d'énergie renouvelables » ou « énergies d'origine renouvelable » qui sont plus correctes d'un point de vue physique [1].

Le soleil est la source d'énergie renouvelable par excellence et est une énergie propre, silencieuse et inépuisable: il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi l'homme cherche depuis des millénaires à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète [2].

La figure (I.1) montre les structures opérant dans le domaine des énergies renouvelables

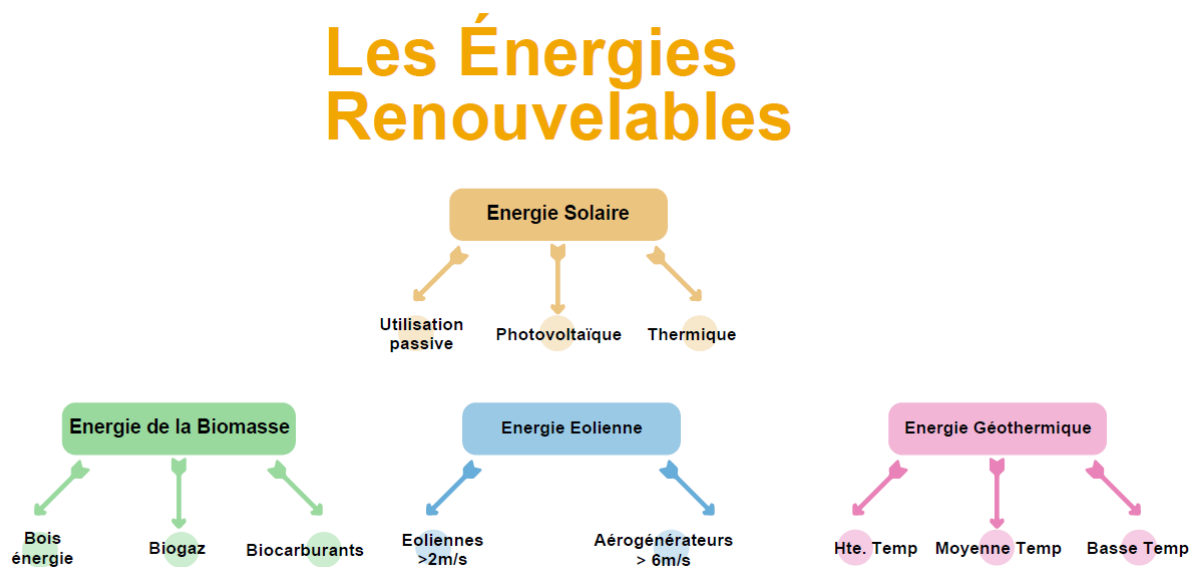


Figure (I.1) : Les structures opérant dans le domaine des énergies renouvelables [3].

I.2. Les différents types des ressources énergétiques renouvelables

Les énergies renouvelables ont plusieurs ressources. On se limite à cinq ressources fondamentales selon l'importance [4], [5], [6], [7]:

I.2-1 L'énergie solaire

L'énergie solaire est l'énergie qui provient du rayonnement solaire, directement à travers l'atmosphère.

Sur terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau, du vent et de la photosynthèse réalisée par le règne végétal, dont dépend le règne animal via les chaînes alimentaires. L'énergie solaire est donc à l'origine de toutes les énergies sur terre à l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice.

L'homme utilise l'énergie solaire pour la transformer en d'autres formes d'énergie : énergie alimentaire, énergie cinétique, énergie thermique, énergie électrique ou énergie de la biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'énergie électrique et l'énergie thermique obtenue à partir de cette dernière [1].

a) Techniques pour capter l'énergie solaire

Les techniques pour capter directement une partie de cette énergie sont disponibles et sont constamment améliorées. On peut distinguer le solaire passif, le solaire photovoltaïque et le solaire thermique.

➤ L'énergie solaire passive

Est une autre forme d'utilisation de l'énergie solaire qui consiste à utiliser directement la lumière pour le chauffage. La figure (I.2) montre la conception solaire passive.

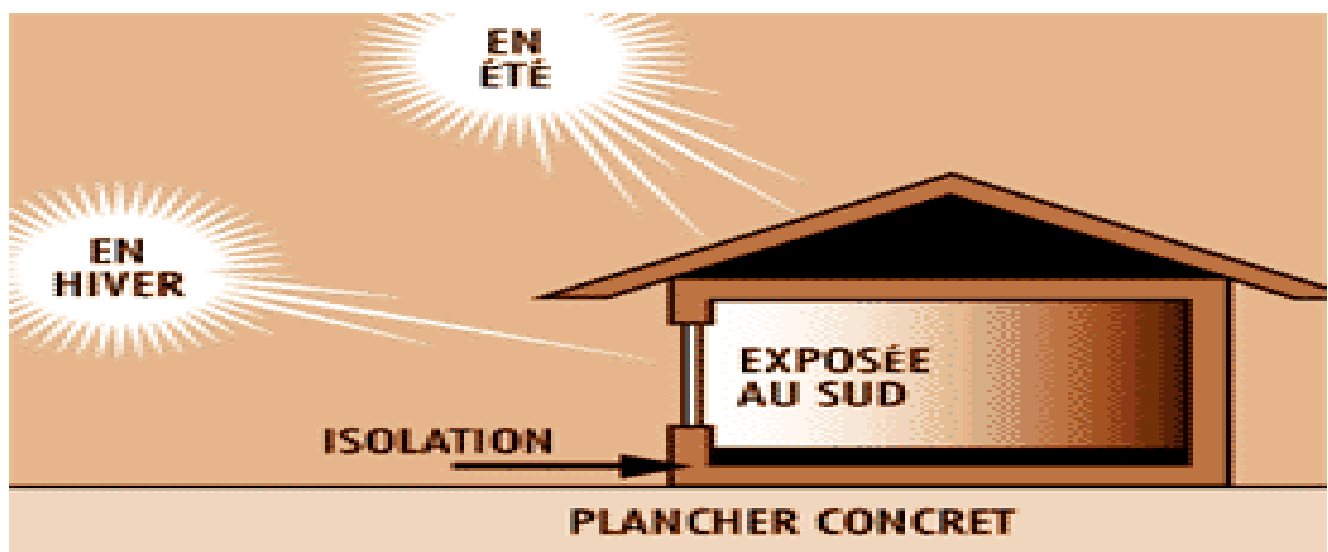


Figure (I.2) : Conception solaire passive [8].

➤ L'énergie solaire photovoltaïque

Qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires (figure I.3). Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon.

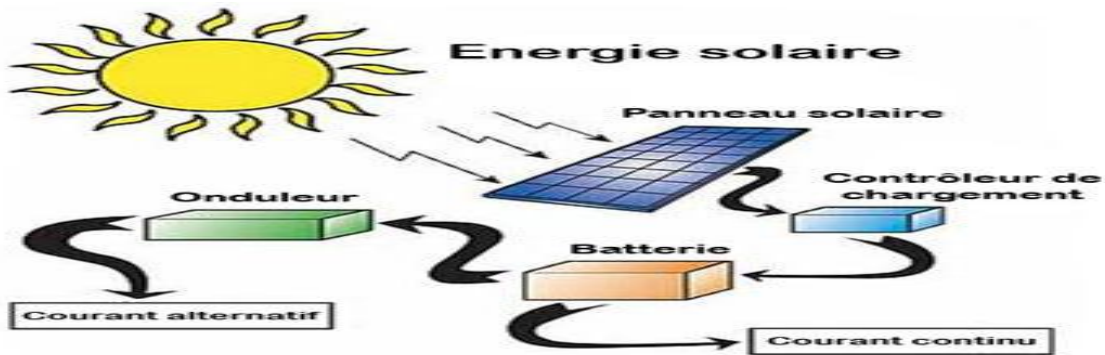


Figure (I.3) : Schéma d'un system photovoltaïque.

➤ L'énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique est la transformation instantanée de l'énergie des rayons solaires en énergie thermique. Cette transformation peut être utilisée directement, comme par exemple le chauffage de l'eau sanitaire à l'aide des capteurs solaires, ou indirectement dans le cas de la production de l'électricité dans une centrale thermodynamique solaire.

Le solaire thermique est basé sur l'utilisation de la chaleur transmise par rayonnement qui est différente de celle du photovoltaïque où l'électricité est générée par l'énergie des photons (figure I.4).

A l'aide des progrès technologiques, les techniques de captation directe d'une partie de l'énergie solaire sont nettement améliorées afin de rendre les systèmes solaires plus fiables, efficaces et rentables [1].

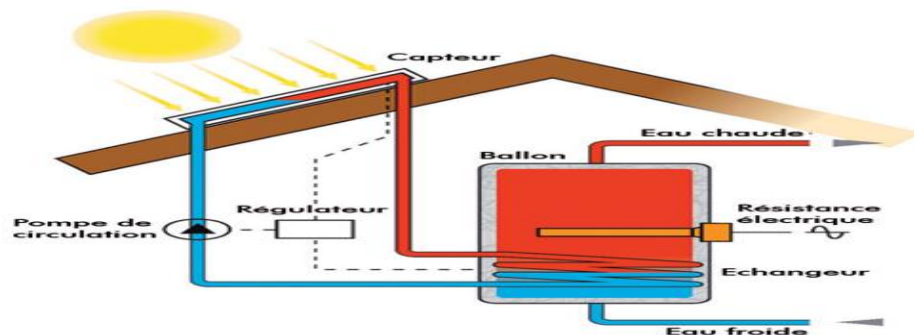


Figure (I.4) : Chauffe eau solaire.

❖ Utilisation de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau

L'utilisation de l'énergie solaire, en particulier l'énergie photovoltaïque, pour le pompage de l'eau est bien adaptée pour la plus part de ces régions arides et semi-arides en raison de l'existence dans ces régions d'un potentiel hydraulique souterrain peu profond, inférieurs à 30 mètres dans la majorité des zones désertique sahariennes, et un grand potentiel énergétique solaire, supérieur à 6KWh /m² sur une surface inclinée à la latitude du lieu.

Les systèmes de pompage photovoltaïque apparaissent comme l'une des applications solaires prometteuse.

L'utilisation de cette énergie solaire photovoltaïque reste la solution idéale pour les régions arides et permet ainsi l'alimentation en eau et l'autosuffisance agricole.

Généralement, un système de pompage photovoltaïque est composé de :

- Un générateur photovoltaïque,
- Un groupe moteur-pompe,
- Une tuyauterie et des accessoires.
- Comme option, un système de conditionnement de puissance, de réservoir d'eau, des batteries et de l'équipement de régulation et contrôle (Figure I.5) [9].

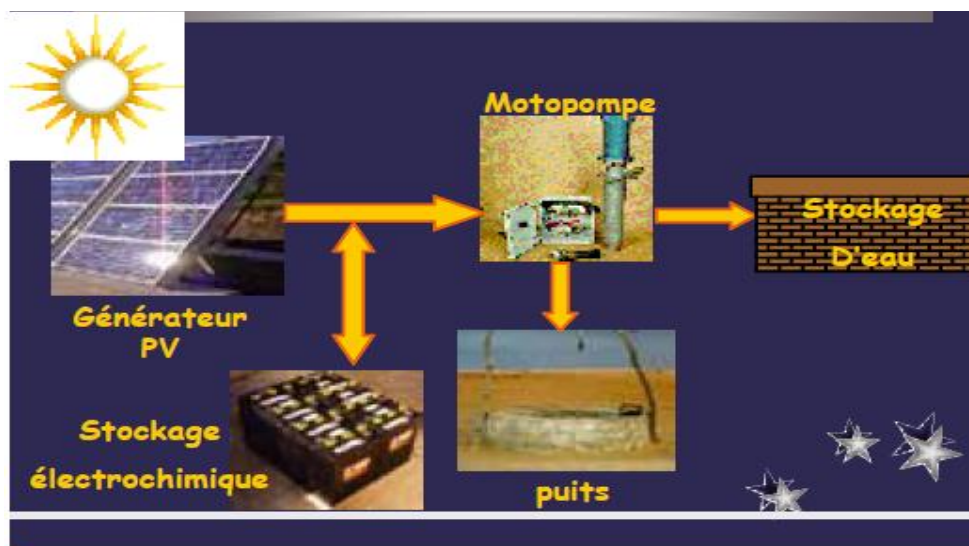


Figure (I.5) : Configuration d'un système de Pompage photovoltaïque.

I.2-2 L'énergie géothermique

Le principe de la géothermie consiste à extraire l'énergie contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou d'électricité. La figure (1.6) montre la production d'électricité à base de la géothermie haute énergie [10].

On distingue quatre types de géothermie ; la haute, la moyenne, la basse et la très basse énergie.

a) La géothermie très basse énergie:

Géothermie des faibles profondeurs, des nappes phréatiques aux niveaux de température compris entre 10 et 300°C Principales utilisations : pisciculture, horticulture, chauffage.

b) La géothermie basse énergie :

La géothermie basse énergie géothermie des aquifères profonds aux températures situées entre 30 et 100°C.

Principale utilisation : le chauffage urbain, chauffage de serres, utilisation de chaleur dans les process industriels, thermalisme....etc.

c) La géothermie haute énergie:

La géothermie de haute énergie (température supérieure à 180°C) est réservée à la production d'électricité (figure I.6).

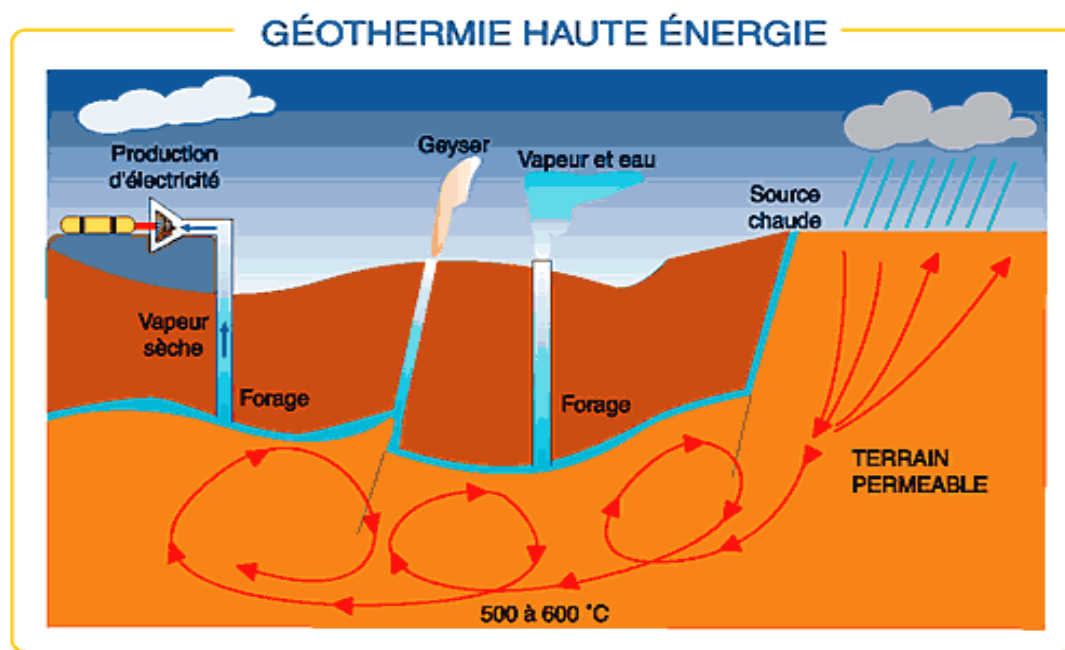


Figure (1.6) : production d'électricité à base de la géothermie haute énergie.

I.2-3 L'énergie éolienne

I.2-3-1 L'origine du vent

L'énergie éolienne (l'énergie de vent) est une forme indirecte de l'énergie solaire. L'absorption du rayonnement solaire dans l'atmosphère engendre des différences de température et de pression qui mettent les masses d'air en mouvement, et créent le vent. Figure (1.7) qui montre le schéma d'un dispositif éolien à axe verticale et horizontale.

I.2-3-2 Les différents types d'éoliennes

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal.

Eolienne à axe vertical

Les éoliennes à axe vertical ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité paradoxalement en contradiction avec le traditionnel moulin à vent à axe horizontal. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol donc facilement accessibles.

Eolienne à axe horizontal

Les éoliennes à axe horizontal (figure I.7) sont basées sur la technologie ancestrale des moulins à vent. Elles sont constituées de plusieurs pales profilées aérodynamiquement à la manière des ailes d'avion. Dans ce cas, la portance n'est pas utilisée pour maintenir un avion en vol mais pour générer un couple moteur entraînant la rotation. Le nombre des pales utilisé pour la production d'électricité varie classiquement entre 1 et 3, le rotor tripale étant le plus utilisé car il constitue un compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolien [11].

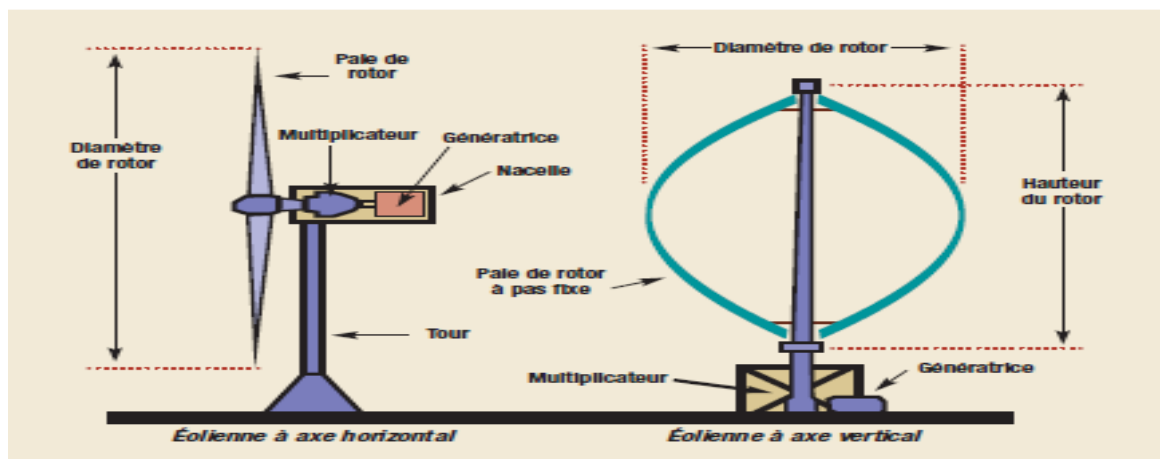


Figure (I.7) : Schéma d'un dispositif éolien à axe verticale et horizontale [12].

I.2-4 L'énergie de biomasse

La biomasse est l'ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale pour la transformation de ces résidus en énergie (chaleur, gaz, carbone).

Grâce à la valorisation de la biomasse, on peut obtenir de l'électricité, de la chaleur et des carburants propres appelés, biocombustibles ou biocarburants liquides ou gazeux, tels que le biogaz, le bioéthanol et le biodiesel. Ces carburants sont utilisés soit purs, ou en mélange avec des carburants d'origine fossile.

La biomasse est donc une source d'énergie renouvelable que si sa régénération équivaut à sa consommation. Ainsi, par exemple, l'utilisation du bois ne doit pas conduire à une diminution du nombre d'arbres, la figure (I.8) montre un schéma d'une centrale biomasse [13].

Cette énergie est divisée en trois catégories sont :

- Bioénergie.
- Biogaz.
- Biocarburant.

I.2-4-1 La bioénergie

Bioénergie est une forme d'énergie renouvelable issue de la transformation de la biomasse, une ressource ancestrale pour la production de chaleur. Elle est formée de l'ensemble des organismes vivants sur les continents et dans les océans, les micro-organismes, les plantes et les animaux.

La bioénergie présente plus de 10% de l'utilisation globale d'énergie.

La bioénergie peut être produite à partir des déchets végétaux ou autres provenant de l'agriculture et de l'industrie agroalimentaire, une source de biomasse très économique. Il est aussi possible d'obtenir cette énergie par la transformation des cultures destinées à cet usage.

La bioénergie en tant qu'énergie renouvelable, et de part l'impact de son utilisation dans la participation à la lutte contre les effets néfastes des changements climatiques [13].

I.2-4-2 La Biogaz:

Le biogaz est une technologie universelle pour la production un combustible inépuisable ; elle obtenue par la fermentation des matières organique animales ou végétale en l'absence d'oxygène par un processus est appelé méthanisation.

La méthanisation est un procédé de digestion anaérobie des résidus animale ou végétale pour la production du gaz qui constitué essentiellement de méthane (CH_4 : 50 à 80 %) et de dioxyde de carbone (CO_2 : 20 à 50 %) [14].

I.2-4-3 Le biocarburant

L'autre atout de la biomasse est la possibilité de fabriquer des biocarburants. Il en existe deux types : les éthanol et les biodiesels. Les éthanol, destinés aux moteurs à essence, sont issus de différentes plantes comme le blé, le maïs, la betterave et la canne à sucre. Le procédé consiste à extraire le sucre de la plante pour obtenir de l'éthanol après fermentation.

Quant aux biodiesels, ils sont extraits des oléagineux (colza, tournesol, sojaetc) Les esters d'huile obtenus peuvent alors être mélangés au gazole.

En règle générale, ces biocarburants sont mélangés aux carburants classiques, essence et gazole. Ils entraînent alors une petite diminution des rejets de monoxyde de carbone et de dioxyde de carbone, gaz responsable de l'effet de serre. Mais ces biocarburants ont un énorme inconvénient ; ils occupent des surfaces agricoles au détriment des cultures vivrières.

Ces combustibles ont différentes applications. Dans les zones rurales, ils peuvent alimenter les moulins mécaniques ou les systèmes d'électrification à petite échelle. Dans les villes, les biocarburants sont particulièrement employés dans le secteur des transports où ils contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre [13].

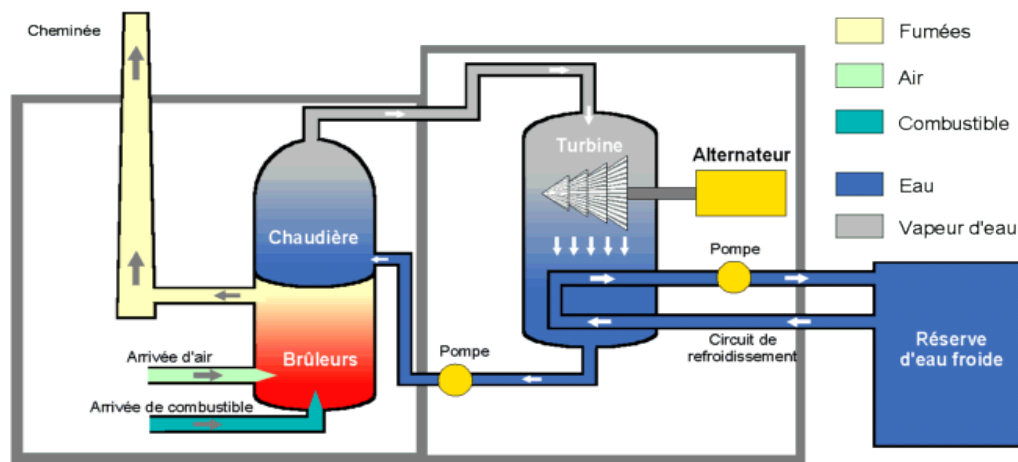


Figure (I.8) : Centrale à biomasse.

I.2.5. Energie hydraulique

L'hydroélectricité, c'est-à-dire la production d'électricité à partir de la force de l'eau, est apparue au milieu du XIXe siècle dans la continuité des moulins qui exploitaient directement la force motrice

de l'eau. Son principe ressemble à celui de l'éolienne. Simplement, ce n'est plus le vent mais l'énergie mécanique de l'eau qui entraîne la roue d'une turbine qui à son tour entraîne un alternateur. Ce dernier transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

Parmi les énergies, la filière hydraulique comprend les grands barrages, les usines marémotrices, les petites centrales au fil de l'eau et les moulins à eau. L'hydroélectricité est la deuxième source d'énergie renouvelable dans le monde [4], [5].

I.2.6. L'énergie des vagues

Les vagues figure (1.9) transportent l'énergie du vent : une partie de celle-ci se dissipe dans les moutonnements et autres turbulences en cours de route, et la fraction résiduelle se dissipe dans les vagues déferlantes de bord de cote et en friction exercée sur le rivage. La conversion d'une partie de cette énergie en a été mise à l'étude et plusieurs types de dispositifs mécanique ont été conçus pour récupérer l'énergie des vagues de houle. Les problèmes d'opération et d'entretien sont toutefois considérables, et aucun dispositif n'est encore en exploitation régulière [15].



Figure (I.9):les vagues

I.2.7. L'énergie de marées

La figure (I.10) montre le schéma d'exploitation de l'énergie des marées.



Figure (I.10) : schéma d'exploitation de l'énergie des marées.

L'énergie de la marée due à l'action de la lune sur les eaux figure (I.10). Les barrages ou des hydroliennes installées dans les endroits fortement touchés par ce phénomène peuvent être une source de l'énergie substantielle. L'énergie en provenance du mouvement des eaux de la mer est une énergie très difficilement récupérable bien qu'elle représente un potentiel immense. Les investissements sont très lourds dans un environnement hostile et imprévisible. Cette énergie est à exploiter dans l'avenir et ne représente qu'une toute petite quantité de l'énergie produite à ce jour par rapport aux autres ressources exploitées [16].

I.3. Avantages des ressources renouvelables

Les énergies renouvelables constituent donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres [4], [5]:

- elles sont généralement moins perturbatrices de l'environnement, elles n'émettent pas de gaz à effet de serre et ne produisent pas de déchets ;
- elles sont inépuisables ;
- elles offrent une importante indépendance énergétique.
- elles autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux.

I.4 Conclusion

Le potentiel national en énergies renouvelables est fortement dominé par le solaire. Les potentiels en éolien, en biomasse et en géothermie, comparés à celui du solaire, sont beaucoup moins importants, alors que le potentiel hydroélectrique est très faible.

Les coûts des filières d'énergies renouvelables, bien qu'élevés actuellement, par rapport à la filière classique (en dehors de celle de l'éolien qui est déjà compétitive) devraient chuter sensiblement au cours des 20 prochaines années.

Pour la production d'électricité d'origine renouvelable, l'objectif global du programme des renouvelables consiste dans l'installation de 22000 MW à l'horizon 2030, dont 10 000 MW pourraient être dédiés à l'exportation.

Pour le marché national, la concrétisation de l'objectif du programme permettra, à l'horizon 2030, à l'électricité d'origine renouvelable de représenter 40% de la production nationale d'électricité [17].



CHAPITRE II

ETAT DE L'ART SUR LES CAPTEURS HYBRIDES PV/T

CHAPITRE II

ETAT DE L'ART SUR LES CAPTEURS HYBRIDES PV/T

II.1.Introduction

La combinaison d'un capteur thermique et d'un module 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 deux du système photovoltaïque et thermique séparément installés [18].

II.2. Historique et état de l'art

Les capteurs solaires thermiques appelés capteurs plans ont une longue histoire et ont été dans la phase de production commerciale depuis le 19ème siècle, tandis que la commercialisation des cellules photovoltaïques date des années 50. Pendant les années 1960 des cellules solaires étaient toujours très chères et les travaux de recherches développement étaient concentrés sur l'industrie spatiale. L'idée de combiner la production thermique et électrique dans un seul capteur avait germé dans les années soixante-dix [19].

II.3. Capteurs solaires photovoltaïques

II.3.1Panneau photovoltaïques

La cellule photovoltaïque (ou cellule solaire) est l'élément de base de l'effet photovoltaïque (ou conversion par photopiles) permettant de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire. Ce phénomène implique la production et le transport de charges négatives et positives sous l'effet de la lumière dans un matériau semi-conducteur (qui est généralement, le silicium). Ou la surface de ce matériau, les photons transfèrent leur énergie aux électrons contenus dans la matière dopée négativement et positivement (jonction p-n). Ceux-ci se mettent alors en mouvement dans une direction particulière, créant ainsi un courant électrique continu (CC), I , qui est recueilli par des fils métalliques très fins micro-soudés en surface (figure II.1) [20].

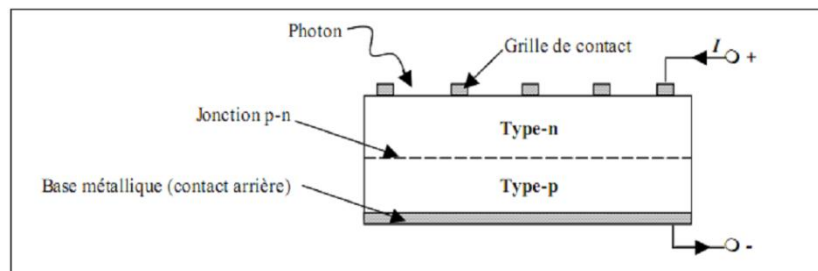


Figure (II.1): Principe de fonctionnement du générateur photovoltaïque

Les cellules amorphes (a-Si). Les cellules en silicium cristallin sont les plus commercialisées et comprennent les cellules monocristallines offrant un bon rendement électrique situé entre 10 et 17 % et les cellules poly-cristallines ayant un rendement électrique compris entre 11 et 15 %. Le rendement électrique de ces technologies amorphes reste faible et est compris entre 4 et 7%, bien qu'elles soient moins coûteuses que les précédentes [20].

Les panneaux PV peuvent être de plus, inclus dans un système photovoltaïque permettant la production et le stockage de l'énergie électrique si nécessaire.

II.3.2. La cellule solaire

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque », a été découverte par E. Becquerel en 1839 [21].

II.3.3. Effet photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque (PV) est la transformation directe de la lumière en électricité. A l'encontre de l'énergie solaire passive, qui utilise les éléments structuraux d'un bâtiment pour mieux le chauffer (ou le refroidir), et de l'énergie solaire active, qui utilise un caloporteur (liquide ou gazeux) pour transporter et stocker la chaleur du soleil (on pense au chauffe-eau), l'énergie photovoltaïque n'est pas une forme d'énergie thermique. Elle utilise une photopile pour transformer directement l'énergie solaire en électricité.

L'effet photovoltaïque, c'est-à-dire la production d'électricité directement de la lumière, fut observée la première fois, en 1839, par le physicien français Edmond Becquerel. Toutefois, ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs de la compagnie Bell-Lab, aux États-Unis, parvinrent à fabriquer la première photopile, l'élément primaire d'un système photovoltaïque [22].

II.3.4. Association des cellules photovoltaïques

II.3.4.1. Association en série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné [22].

La figure II-2 montre la caractéristique résultante obtenue en associant en série n_s cellules identiques.

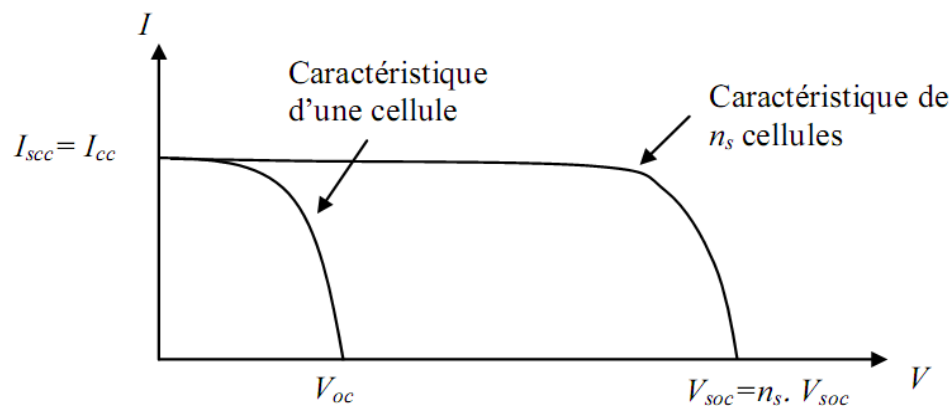


Figure (II.2) : Caractéristique résultante d'un groupement en série de n_s cellules identiques

II.3.4.2. Association en parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante de groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. [22]

La figure II-3 montre la caractéristique résultante obtenue en associant en parallèles n_p cellules identiques.

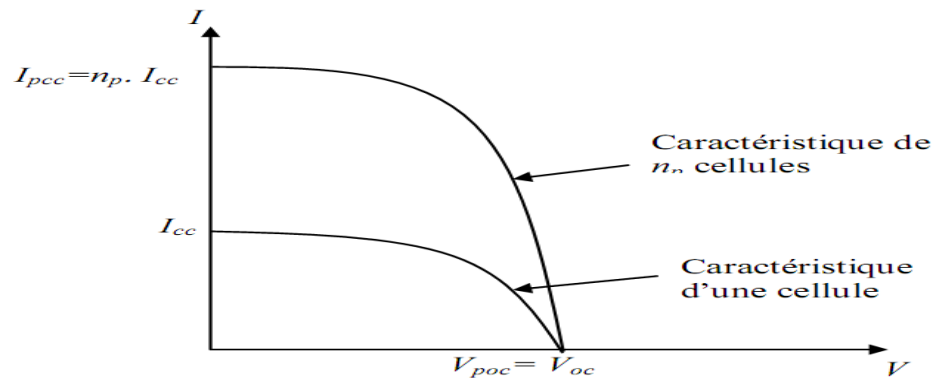


Figure (II.3) : Caractéristique résultante d'un groupement

II.3.4.3. Association hybride (en série et en parallèle)

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit total et de la tension à vide totale sont données par les relations :

$$I_{cc}^t = n_p \cdot I_{cc} \quad (\text{II.1})$$

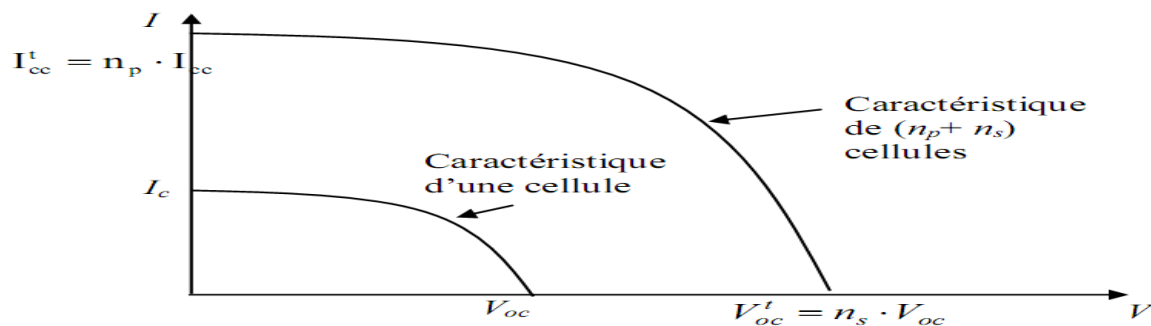
$$V_{oc}^t = n_s \cdot V_{oc} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

n_p : nombre des cellule en parallèle,

n_s : nombre des cellule en série.

La figure II-4 montre la caractéristique résultante obtenue en associant, en série n_s et en parallèle n_p , cellules identiques.

Figure (II.4) : Caractéristique résultante d'un groupement hybride de $(n_p + n_s)$ cellules identiques

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit I_{cc} et de la tension à vide V_{oc} sont plus ou moins importantes (figure II-5). La caractéristique d'un générateur PV constitué de plusieurs cellules a une allure générale assimilable à celle d'une cellule élémentaire, sous réserve qu'il n'y ait pas de déséquilibre entre les caractéristiques de chaque cellule (irradiation et température uniformes) [22].

II.3.5 Avantages et inconvénients des systèmes PV

II.3.5.1. Avantages

Les systèmes PV présentent les avantages suivants:

- D'abord une haute fiabilité. Le système PV ne comporte pas de pièces mobiles qui le rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux solaires permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliWatt au MégaWatt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.[23]

II.3.5.2. Les inconvénients

Les systèmes PV présente les inconvénients suivants

- La fabrication du module PV relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % avec une limite théorique pour une cellule de 28%.
- Tributaire des conditions météorologiques.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes [23].

II.4. Les capteurs solaires thermiques

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air,...).

II.4.1. Composants du capteur

Chaque ensemble capteur est constitué :

- D'une couverture transparente
- D'un absorbeur avec circuit échangeur et revêtement de surface
- D'une isolation thermique sur les côtés et à l'arrière de l'absorbeur
- D'un cadre et d'un coffre.

II.4.2. Principe de captation du rayonnement solaire thermique

Le capteur plan est considéré comme un simple absorbeur des rayons solaires qui les transforment en chaleur, en absorbant les rayons solaires provenant de toutes les directions qui représente dans la figure (II.5) sous dessus [24].

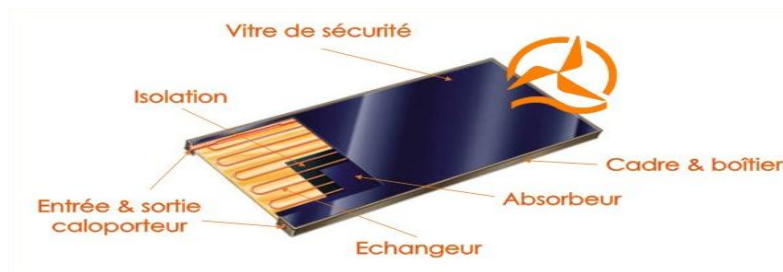


Figure (II.5) : vue en coupe d'un capteur thermique.

II.4.3. Bilan thermique globale de la paroi absorbante [25]

Le bilan thermique de la paroi absorbante s'écrit :

$$\varphi_{sa} = \varphi_p + \varphi_u + \varphi_{st} \quad (\text{II-3})$$

Où :

φ_{sa} : Flux solaire absorbé

φ_p : Flux perdu par la paroi absorbante

φ_u : Flux utile transmis au fluide caloporteur

φ_{st} : Flux stocké dans le capteur qui s'écrit :

$$\varphi_{st} = M_e c_{eau} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{II-4})$$

Où :

M_e : Masse en eau du capteur définie par : $\sum m_i c_i = M_e c_{eau}$.

i représentant les différents éléments constitutifs du capteur

T : Température moyenne du capteur

t : Temps

La puissance absorbée par le capteur s'écrit :

$$\varphi_{sa} = \tau_{cs} \alpha_{ps} G A \quad (\text{II-5})$$

Où:

φ_{sa} : Flux solaire absorbé par la surface exposée (W)

τ_{cs} : Coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement solaire

α_{ps} : Coefficient d'absorption de la paroi absorbante par rapport au rayonnement solaire

G :Eclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur (W.m^{-2})

A :Surface de la paroi absorbante.

Dans le cas où le fluide caloporteur ne subit pas de changement d'état, le flux utile s'écrit:

$$\varphi_u = q_{cf} (T_{sf} - T_{ef}) \quad (\text{II-6})$$

Où :

q_{cf} : Débit calorifique du fluide caloporteur ($\text{W. } ^\circ\text{C}^{-1}$) = débit massique x capacité calorifique

T_{sf} : Température du fluide caloporteur à la sortie de l'absorbeur

T_{ef} : Température du fluide caloporteur à l'entrée de l'absorbeur.

Les déperditions thermiques du capteur sont mises sous la forme :

$$\varphi_p = h_p (T_{pm} - T_a) A \quad (\text{II-7})$$

h_p : Coefficient global de pertes du capteur

T_{pm} : Température moyenne de la paroi absorbante

T_a : Température de l'air extérieur.

II.4.4. Le rendement d'un capteur solaire [26]

Les rendements d'un capteur sont définis par rapport au flux solaire incident de la manière suivante :

Le rendement global :

$$\eta = \frac{\varphi_u}{G.S} \quad (\text{II-8})$$

Le rendement interne :

$$\eta = \frac{\varphi_u}{\varphi_{sa}} \quad (\text{II-9})$$

Le rendement optique :

$$\eta_0 = \frac{\varphi_{sa}}{G.S} \quad (\text{II-10})$$

II.5. les capteurs hybrides photovoltaïque thermique

II.5.1. Constitution et principe

Le capteur hybride photovoltaïque thermique est constitué de six éléments :

- 1- Vitrage
- 2- Module photovoltaïque (PV)
- 3- Absorbeur
- 4- Le fluide de refroidissement
- 5- Isolant
- 6- Boitier

Le module PV est composé de trois couches :

- la couche trempé qui est la face exposée aux rayonnements solaires incidents.
- La couche contenant les cellules photovoltaïques (englobés dans l'EVA) :
- La couche protectrice qui est la tedlar.

La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement au courant électrique [26], les cellules (en silicium monocristallin) ont un taux de rendement de 15% à 24% en laboratoire [27].

La figure(II.6) présent les trois couches du module photovoltaïque.

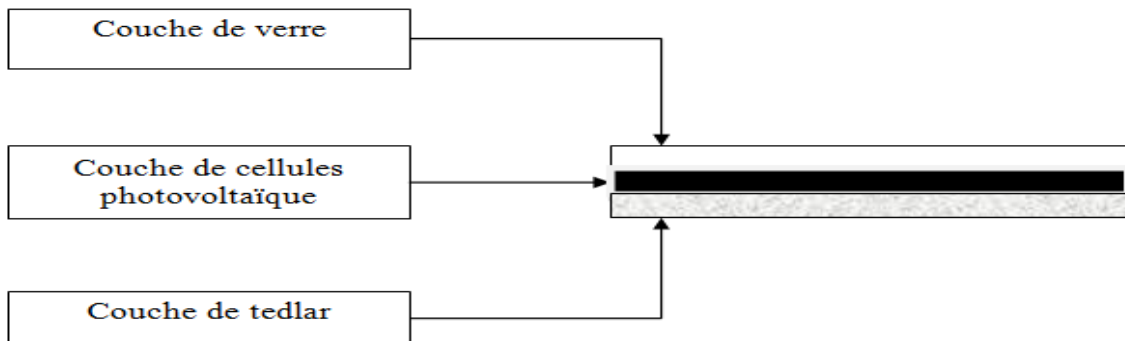


Figure (II-6) : les trois couches du module photovoltaïque

II.5.2. Modélisation thermique du capteur hybride

Les modèles théoriques servent à calculer (prédire) la production thermique des capteurs hybrides, ces modèles se basent sur la distribution du flux de chaleur dans les différentes couches du capteur hybride.

On considère le capteur hybride de la figure (II.7) constitué du module photovoltaïque logé dans une enceinte métallique qui englobe l'isolation thermique latérale et transversale.

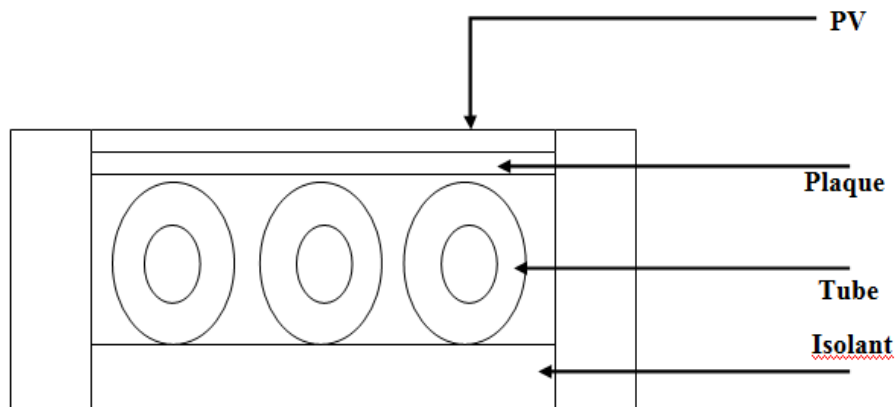


Figure (II.7) : Vue en coupe du capteur hybride

II.5.3 Principe de base d'étude thermique

L'étude thermique du capteur hybride met en évidence différents processus physiques mis en jeu dans son fonctionnement. Elle est donc un préalable à l'élaboration d'un modèle mathématique.

Les bilans énergétiques représentent les règles d'évolution du modèle de son état initial à un temps donné. Ils traduisent le principe de conservation de l'énergie.

Chaque élément du système peut donc être présenté par une équation de bilan d'énergie qui s'écrit :

ENERGIE RECUE-ENERGIE PERDUE=VARIATION DE LE ENERGIE INTERNE

Ou encore sous forme mathématique :

$$\sum_i Q_i - \sum_i Q_i = M_i C_{pi} \frac{dT_i}{dT} \quad (\text{II-11})$$

Donc laquelle :

M_i : la masse du nœud i

C_i : la chaleur spécifique à pression du nœud i

T_i : la variable d'état considérée (température)

II.5.4. Bilan énergétique du capteur hybride

Nous avons considéré dans notre étude thermique le capteur hybride photovoltaïque thermique non recouvert de une vitre supplémentaire figure (II.13)

II.5.4.1. Bilan énergétique au niveau de la surface du verre

L'énergie thermique fournie par le rayonnement solaire est donnée comme suit :

$$Q_g = A_{pv} \cdot I_g \cdot \alpha_{verre} \cdot \tau_{verre} \quad (\text{II.13})$$

Avec :

I_g : rayonnement direct total absorbé par la cellule solaire (w/m²)

A_{pv} : surface du verre (m²)

α_{verre} : Coefficient d'absorptivité de la cellule solaire

τ_{verre} : transmissivité du verre

Puisque le verre est opaque par rapport aux rayonnements émis par les cellules, sa surface devient une surface émettrice, les pertes thermiques par rayonnement sont exprimées comme suit :

$$Q_{ray,air} = \sigma \cdot \varepsilon_{verre} A_{verre} (T_{verre}^4 - T_{air}^4) \quad (\text{II-14})$$

Avec :

$\varepsilon_{\text{verre}}$: émissivité du verre

σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($\text{w/m}^2\cdot\text{k}^4$)

T_{air} : Température ambiante

T_{verre} : Température de verre

Nous avons exprimé les pertes thermiques par convection par l'équation de transfert de chaleur entre le verre du capteur hybride et le milieu extérieur :

$$Q_{\text{conv,air}} = h_i \cdot A_{\text{pv}} (T_{\text{verre}} - T_{\text{air}}) \quad (\text{II-15})$$

Avec :

h_i : coefficient d'échange par convection entre la surface de verre et l'air

Ce coefficient de transfert convectif qui est en fonction de la vitesse du vent ($\text{w/m}^2\cdot\text{k}^4$) est donné par l'expression suivante [25].

$$h_i = 2,8 + 3.0V \quad (\text{w/m}^2\cdot\text{k}^4)$$

L'énergie électrique produite par le capteur hybride [55] est donnée par :

$$Q_{\text{éle}} = \frac{Q_g}{\alpha_{\text{si}}} \eta_{\text{réf}} \cdot \exp [\beta (T_{\text{si}} - T_{\text{réf}})] \quad (\text{II-16})$$

Avec :

β : Coefficient de température qui représente la relation entre le rendement de la cellule solaire et la température, il est égal (0.004) pour une cellule solaire en silicium.

T_{si} : Température de la cellule solaire en [°K].

$\eta_{\text{réf}}$: est le rendement de référence est mesuré pour une température de référence $T_{\text{réf}}$ prise égale à 25°C.

L'équation de la chaleur par conduction entre le verre du capteur et les cellules photovoltaïque est donnée par :

$$Q_{\text{cond,verre,sil}} = \frac{\lambda_{\text{verre}}}{E_{\text{verre}}} A_{\text{pv}} (T_{\text{verre}} - T_{\text{sil}}) \quad (\text{II-17})$$

Avec :

E_{verre} : épaisseur de verre

λ : Conductivité thermique du verre

Equation d'énergie au niveau de la vitre :

Le bilan énergétique au niveau de la vitre du capteur hybride est donné par l'équation suivante :

$$M_{\text{verre}} \cdot C_{\text{pverre}} \cdot \frac{dT_{\text{verre}}}{dt} = Q_{\text{g}} - Q_{\text{conv,air}} - Q_{\text{cond,verre,sil}} \quad (\text{II-18})$$

C_{p} : chaleur spécifique de verre.

La figure (II.3) montre le bilan énergétique au niveau du vitre du capteur hybride.

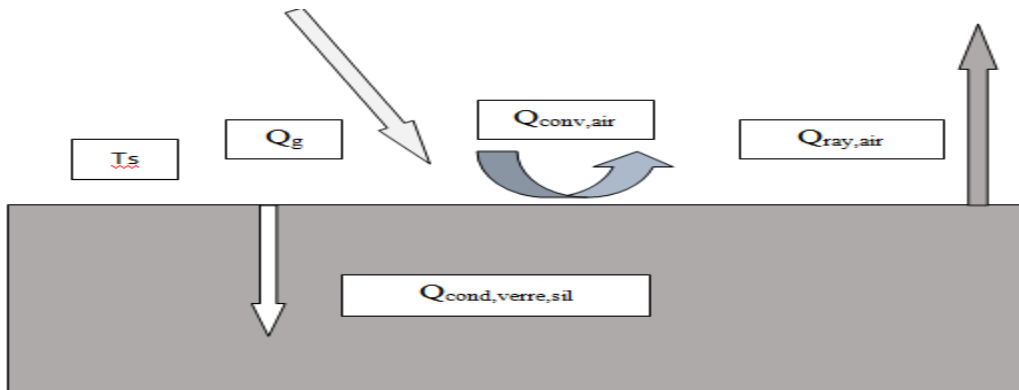


Figure (II.8) : Schéma représentant l'échange thermique au niveau du vitrage.

II.5.4.2. Bilan énergétique au niveau de la couche des cellules et de tedlar est :

$$Q_{\text{cond,sil,ted}} = \frac{\lambda_{\text{ted}}}{E_{\text{ted}}} A_{\text{sil}} (T_{\text{sil}} - T_{\text{ted}}) \quad (\text{II-19})$$

T_{sil} : température au niveau de la couche des cellules.

T_{ted} : température au niveau de la de tedlar.

A_{sil} : surface de la couche des cellules.

$\frac{\lambda_{ted}}{E_{ted}} = k_i$: coefficient de conduction entre la couche des cellules et couche de tedlar.

λ_{ted} : coefficient de conductivité de tedlar.

e_{ted} : épaisseur de la couche de tedlar.

Equation d'énergie au niveau de la couche des cellules photovoltaïque

$$M_{sil} \cdot C_{p_{sil}} \frac{dT_{sil}}{dt} = Q_{cond,verre,sil} - Q_{cond,sil,ted} - Q_{élé} \quad (II-20)$$

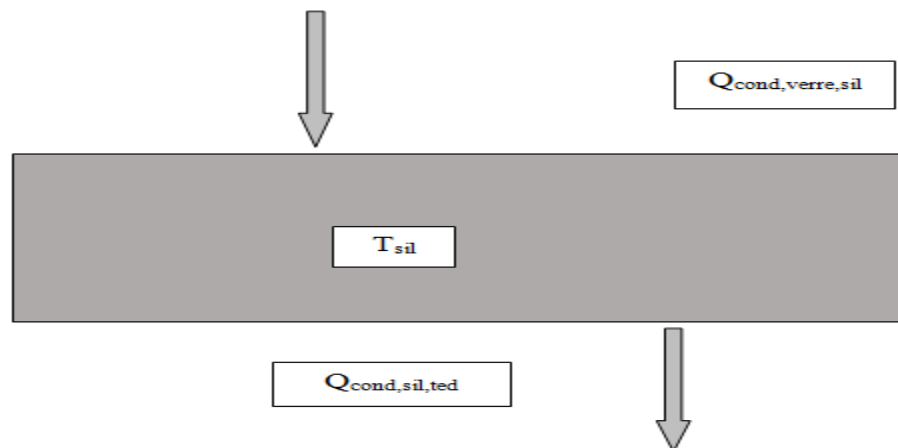


Figure (II.9) : schéma représentant l'échange thermique au niveau des cellules photovoltaïques

II.5.4.3. Bilan d'énergie au niveau de la couche du tedlar :

L'équation de la chaleur par conduction entre la plaque et le tedlar est donnée par :

$$Q_{cond,ted,pl} = \frac{\lambda_{ted}}{E_{ted}} A_{ted} (T_{ted} - T_{pl}) \quad (II-21)$$

Equation d'énergie au niveau de la couche du tedlar

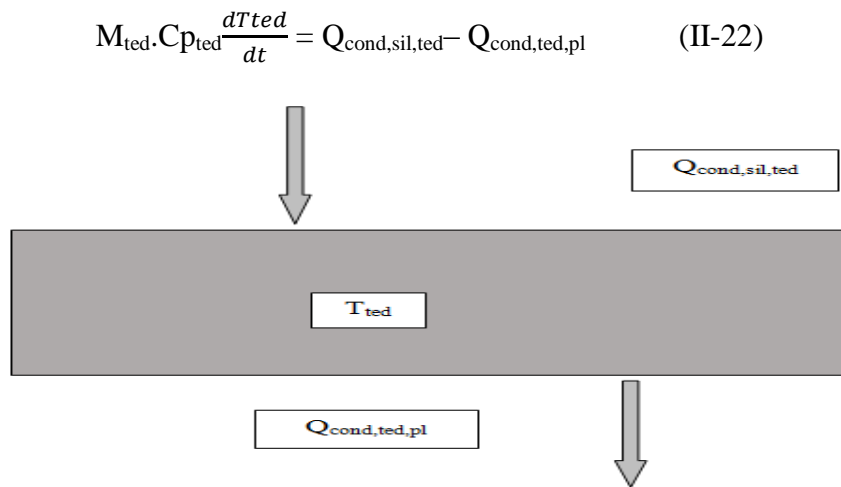


Figure (II.10) : schéma représentant l'échange thermique au niveau de la couche de tedlar

a-Bilan d'énergie au niveau de la plaque absorbante

Les pertes thermiques par convection entre la plaque et l'air entourant les tubes sont données par l'équation de la chaleur suivante:

$$Q_{pert} = h_2 \cdot (A_{pl} - A_{pl, tub}) \cdot (T_{pl} - T_{air})$$

Avec:

h_2 : coefficient de convection de la surface libre ($A_{pl} - A_{pl, tub}$)

$A_{pl, tub}$: surface de contact entre la plaque et le tube

$$A_{pl} = A_{pv}$$

$$C_{p, pl} = C_{p, gal}$$

$$K_2 = \lambda_{pl} / e_{pl}$$

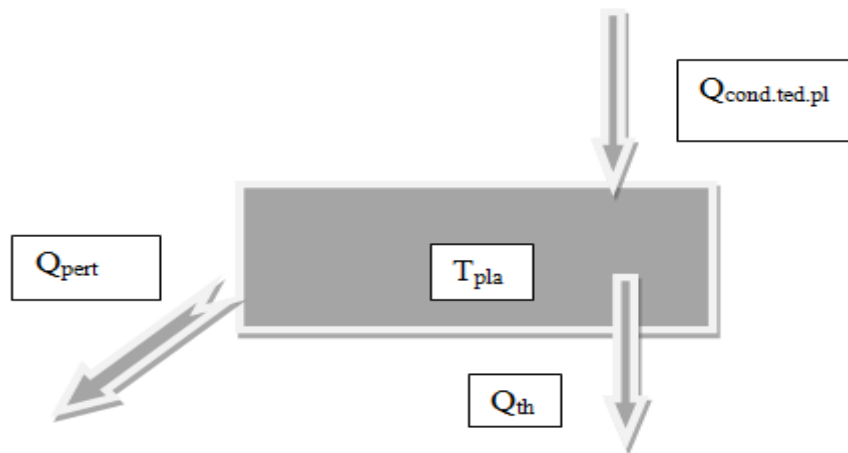
K_2 coefficient de conduction (pla-tube)

L'équation de transfert de chaleur par conduction entre la plaque et le tube est donnée par :

$$Q_{th} = \lambda_{pl} / e_{pl} \cdot A_{pl, tube} (T_{pl} - T_{tub})$$

-Bilan énergie au niveau de la plaque

$$M_{pl} \cdot C_{p\ pl} \cdot dT_{pl}/dt = Q_{cond.ted.pl} - Q_{pert} - Q_{th}$$



Figure(II.11): schéma représentant l'échange thermique au niveau de la plaque absorbante

-Bilan énergétique au niveau du tube

Nous avons choisi l'eau comme fluide caloporteur qui circule dans les tube quantité de chaleur de l'eau :

$$Q_{eau} = \dot{m}_{eau} \cdot c_{p\ eau} (T_s - T_e)$$

Avec:

\dot{m}_{eau} : débit massique de l'eau

$c_{p\ eau}$: chaleur spécifique de l'eau

T_s : température de sortie de l'eau

T_e : température d'entrer de l'eau

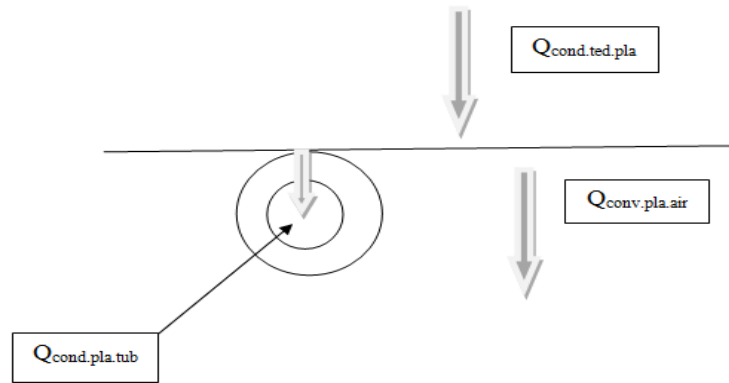
Equation d'énergie au niveau du tube

$$\pi/4(D_{ext}^2 - D_{int}^2) \cdot \rho_{cu} \cdot C_{p\ cu} = Q_{pert} + Q_{th} - Q_{eau}$$

Avec :

D_{ext} : diamètre extérieur du tube

D_{ent} : diamètre intérieur du tube



Figure(II.12) : schéma représentant l'échange thermique au niveau du tube.

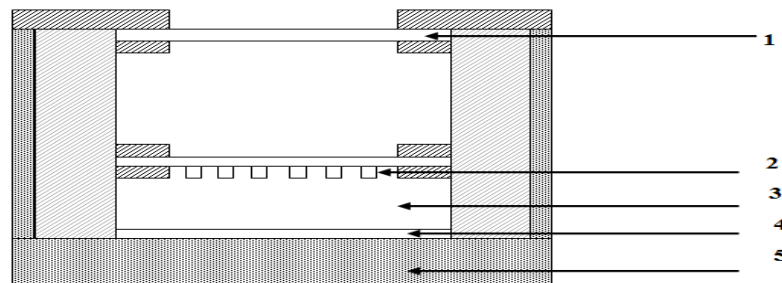
II.5.5. Les différents types du capteur solaire hybride photovoltaïque thermique:

Il existe deux types de collecteurs hybrides PV/T :

- Collecteur hybride à air
- Collecteur hybride à liquide.

II.5.5.1. Collecteur hybride PV/T à air:

Nous allons présenter l'étude du capteur hybride PV/T à air, le schéma représentatif de ce dernier est donné en figure (II.13):



Figure(II.13): schéma représentatif d'un collecteur hybride PV/T à air

Avec:

- | | |
|------------------------|-------------|
| 1- Couverture de verre | 4-Absorbeur |
| 2- Cellules solaire | 5-Isolant |
| 3- Fluide caloporteur | |

Le collecteur hybride PV/T à air se compose de:

- ✓ Deux plaques de verre qui empêchent la perte thermique en haut et l'isolation thermique dans les cotés et la bas empêchent la perte à l'arrière et aux cotés.
- ✓ Les cellules solaires sont soudées sous la deuxième plaque de verre les cellules solaires représentent la première surface sous qui absorbe la chaleur.
- ✓ La radiation incidente passée entre les cellules est absorbée par l'absorbeur qui est une plaque noire en aluminium.
- ✓ L'air circule entre les cellules et l'absorbeur.

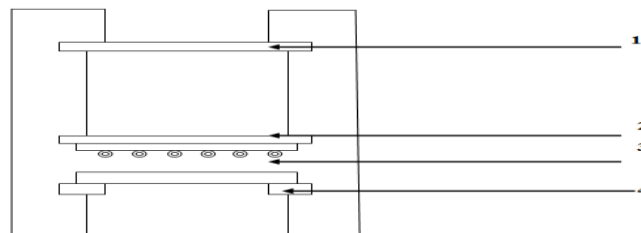
II.5.5.2. Capteur hybride PV/T à liquide

Le collecteur hybride solaire PV/T à liquide utilise une seule couverture de verre pour empêcher la perte de chaleur en haut avec l'isolation thermique dans les coutés et en bas qui empêche la perte du chaleur à l'arrière et aux bords.

Après la couverture les cellules solaires forment la première surface d'absorption avec une plaque noir d'aluminium directement après les cellules cette plaque absorbe la radiation entre les cellules.

Après la plaque, des tubes de cuivre soudées sur la plaque d'aluminium assurent la circulation du fluide caloporteur.

Nous allons présenter l'étude du capteur hybride PV/T à eau, le schéma représentatif de ce dernier est donné en figure (II.14).



Figure(II.14): schéma présentatif d'un collecteur hybride à liquide

Avec:

- | | |
|-----------------------|-------------------|
| 1-Couverture de verre | 3-Tubes de cuivre |
| 2-Cellule solaire | 4-Isolant |

II.6. Conclusion

Le capteur hybride photovoltaïque thermique est constitué d'un module photovoltaïque et d'un système thermique logé dans un seul capteur, ceci permet l'augmentation de l'efficacité de la conversion totale de l'énergie solaire captée, la production de l'énergie totale (électrique et thermique) du capteur hybride PV/T dépend des paramètres d'entrée : l'énergie lumineuse, la température ambiante et la vitesse du vent de sortie qui est la température de fonctionnement du système, cette production dépend aussi du mode d'extraction de la chaleur [14].

A decorative scroll graphic with a black outline and grey shaded rollers at the top and bottom. The text is centered within the scroll.

CHAPITRE III

CONCEPTION ET REALISATION D'UN CAPTEUR HYBRIDE PV/T

CHAPITRE III

CONCEPTION ET REALISATION D'UN CAPTEUR HYBRIDE PV/T

III.1. Introduction

La réalisation du capteur hybride photovoltaïque thermique PV/T exige l'utilisation d'un module photovoltaïque classique, et de fabriquer un nouveau absorbeur à eau pour la face arrière du module.

III.2. Matériels utilisés

- Module photovoltaïque en silicium monocristallin
- Une tôle en fer galvanisé [1 mm]
- Cornière en fer [20 mm]
- Fer plat de largeur [40 mm]
- Laine de verre [50 mm]
- Peinture (noire et blanche)
- Des boulons de diamètre [100 mm]
- Une tôle d'inox (inoxydable) [0.5 mm]

III.3. Description technique

- Cellules photovoltaïques : silicium monocristallin
- Encapsulation : les cellules sont laminées en EVA entre une plaque de verre trempé de haute transmissivité à la face avant et une feuille de Tedlar à la face arrière
- Cadre: en acier galvanisé pour montage facile sur structure
- Boîte de jonction étanche qui contient les deux pôles
- Circuit hydraulique : enceinte en acier galvanisé qui contient le fluide à chauffer au dessous du module photovoltaïque
- Isolation thermique : laine de verre de premier choix

III.4. Caractéristiques électriques

Les caractéristiques sont mesurées suivant les spécifications internationales à un niveau d'ensoleillement de 1000 W/m^2 , un spectre de AM 1.5 et une température de 25°C .

Composition du module : 2 x 36 cellules au silicium monocristallin en série.

Surface du module : (1290 x 330) [mm²].

III.5. Les étapes de réalisation du capteur PV/T

➤ Un module photovoltaïque

Le module utilisé est à base du silicium. (Unité de Développement Et du Technologie au Silicium). **Figure (III.1).**



Figure (III.1) : le module photovoltaïque

➤ Absorbeur

L'absorbeur c'est l'élément intérieur du capteur hybride, son rôle principal est d'absorber les rayonnements et les transmettre en chaleur pour qu'il puisse la transporter au fluide caloporteur.

Dans notre étude on a proposé :

Un absorbeur qui est en contact direct avec la face arrière du module, il est composé de deux parties. Une plaque en acier galvanisé (**figure (III.2)**), et des tubes qui sont soudés parallèlement sur la plaque (**Figure (III.3)**).



Figure (III.2) : Une plaque en acier



Figure (III.3) : tubes qui sont soudé
Parallèlement sur plaque

➤ Support métallique

C'est le composant principale du capteur qui supporte tout les éléments du capteur et assure la sécurité des éléments intérieures, son rôle principale est de transporter l'eau chaud.

Cette étape comporte plusieurs démarches, on commence par prendre les mesures du module PV et on coupe une cornière selon les démenions de ce dernier en suite on soude deux cadre.

Ensuite on coupe trois plaques de tôle avec les mesures de l'intérieur et du cote de l'ossature qu'on soudera par la suite sur celle-ci et après cela on soude quatre boulons de 100 mm de longueur verticalement à l'intérieur du corps et en dernier on le peint avec une peinture blanche et avec cela on aura réalisé le corps du capteur.

Les dimensions de cette partie est les suivantes :

Langueur : 1020 mm ;

Largeur : 430 mm ;

L'épaisseur : 100 mm ;

➤ Isolation

Cet élément est la laine de verre qui isole l'intérieur du capteur de l'échange thermique avec les facteurs extérieurs, et est dans le tableau suivant :

Tableau (III.1) : les caractéristiques de la laine de verre

Nature Kg m ⁻³ Masse volumique	La température °C	La conductivité thermique W m ⁻¹ °C ⁻¹	Cp Jkg ⁻¹ °C ⁻¹
08	20	0.051	875
10	20	0.045	880
15	20	0.041	880
40	20	0.035	880

On coupe la laine de verre avec les mêmes dimensions interne du support (du bas et des cotés) comme indiqué sur la figure (II.4)



Figure (II.4) : la laine de verre

➤ Montage du capteur PV/T

On place la laine de verre à l'intérieur du corps du capteur, en suite on met en dessus la plaque isolante et on la fixe avec des écrous qu'on serrera sur les boulons.

Ensuite on met en place l'absorbeur sur la face arrière du panneau PV en le glissement sur les rails, et on posera après sur le corps du capteur et qu'on serrera avec des écrous.

➤ Fixation du capteur sur le support

On pose les trois capteurs sur le support et on les fixe à l'aide de boulons et des écrous.

Ensuite on fixera le module PV sur le support.



Figure (III.6) : fixation du capteur sur le support

III.6. Instrument de mesure

Nous avons utilisé pour notre étude plusieurs types des dispositifs de mesure dans le but de mesurer le capteur (température, rayonnement global, solaire, température ambiante) on va les présenter par les suites.

➤ Acquisition de donnée de la température

Nous avons utilisé une acquisition de données de type agilent 34970 DATA Acquisition/Switch Unit. GPIB, RS232. Serial Number : MY44050878 pour déterminer les valeurs de température figure (III.7).



Figure (III.7) : photo d'une acquisition de donnée

➤ **Thermocouple de type « k »**

Le thermocouple de type « k » figure (III.8) est requis pour mesurer des températures de 200 à 2000 °C ou il joue le rôle de thermomètre très précis.



Figure (III. 8) : photo d'une Thermocouple de type « k »

➤ **Tasse graduée**

La tasse graduée utilisé pour savoir la quantité d'eau par unité de temps (débit volumique), figure (III. 9)



Figure (III. 9) : Tasse graduée

➤ Acquisition de donnée pour I(V)

Nous avons prélevé les mesures de rayonnement global à l'aide d'un pyranomètre de type « Kippand Zonen » de coefficient : $0,00000457 \text{ V.m}^2 / \text{w}$.

Et pour relever les caractéristique nous avons utilisé un système contient des dispositifs de mesure on va les cités par la suite.

Une deuxième acquisition de données du même type que du même type que la précédente (34970 DATA Acquisition /Switch Unit GPIB, RS232. Serial Number : MY44050878).

Une charge variable (résistance variable) qui a été réalisé au sein de l'unité de recherche appliquée en énergies renouvelables de Ghardaïa figure (III.10)



Figure (III. 10) : schéma représente l'appareil qui mesure If(V)

Nous avons ce dispositif pour prélever les caractéristique I-V qu'elle va être branché par une autre acquisition des données pas celle qui a été utilisé pour la distribution thermique.

III.7.Essai effectué sur le banc d'essai

Le capteur hybride photovoltaïque thermique à eau a été construit montré dans les figure précédentes, Il a été installé à l'orientation plein sud et d'un angle d'inclinaison de $32,49^\circ$. Le dispositif installé pour mesurer les données relatives à la performance thermique et électrique du capteur PVT. Un thermocouple de type k utilisé pour mesurer la température de l'eau à l'entrée et à la sortie du capteur photovoltaïque thermique, ces thermocouple relier avec une acquisition par un câble pour enregistrer les valeurs des températures mesuré durant toute la journée , Un instrument d'acquisition de données de courant et la tension du capteur a également été utiliser pour enregistrer les valeurs du courant et la tension du capteur PVT et PV .

Les résultats expérimentaux obtenus sont présentée sous forme de graphe à l'aide d'un logiciel Origin dans les chapitre V.



Figure (III.11) : banc d'essai de notre prototype

III.9. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une étude expérimentale d'un capteur hybride photovoltaïque thermique PV/T avec une nouvelle configuration de refroidissement de l'eau, ce capteur qui a été réalisé au sein de l'unité de recherche appliquée en énergie renouvelable de Ghardaïa.

Nous avons commencé par le côté de réalisation et on a cité les étapes de réalisation pas à pas ainsi que la description du notre banc d'essai qui porte le nouveau capteur hybride réalisé avec les autres trois capteurs.

Le but de ce chapitre en premier lieu est de relever les performances électriques (les caractéristique I-V) et celle de la température à de thermocouple de type « k » utilisant une acquisition de données et le bécher. Les résultats obtenus seront présenté dans le chapitre suivant avec l'interprétation des données.



CHAPITRE IV

RESULTAT ET INTERPRETATION

CHAPITRE IV

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

IV.1.Introduction

Dans cette partie nous avons récapitulé les principaux résultats obtenus à partir des essais expérimentaux que nous avons faits sur notre banc d'essai durant la période des tests. Comme nous avons montré dans le chapitre précédent, notre banc d'essai est composé par des capteurs hybrides PVT photovoltaïques thermiques à eau.

Au cours de ces essais nous mesurons la température de l'eau à l'entrée et à la sortie du capteur hybride PV/T et également la tension et le courant du capteur PVT et le module photovoltaïque. Le but ces essais est de montré le comportement thermique et électrique du système hybride PVT à eau.

IV.2. Interprétation des résultats obtenus

➤ Éclairement solaire globale

Nous montrons dans les figure 1,2 l'évolution journalière du rayonnement solaire global sur une surface horizontal, Ces données sont issue par la station météorologique installer au sein de l'unité de recherche appliqué en énergie renouvelable à Ghardaïa. Les deux courbes montrent que le ciel est clair pendant la journée des essais.

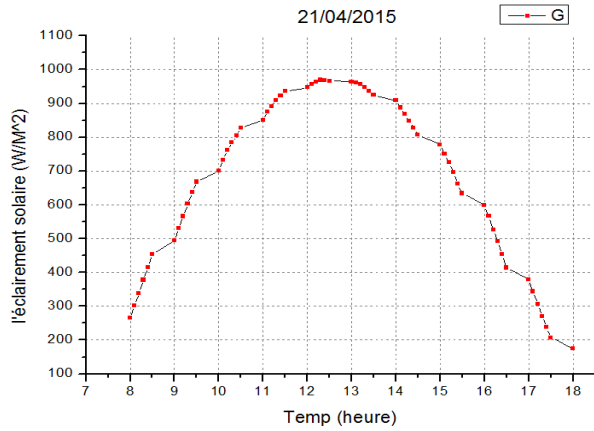


Figure (IV.1) : évolution de l'éclairement solaire globale pendant le jour 21/04/2015

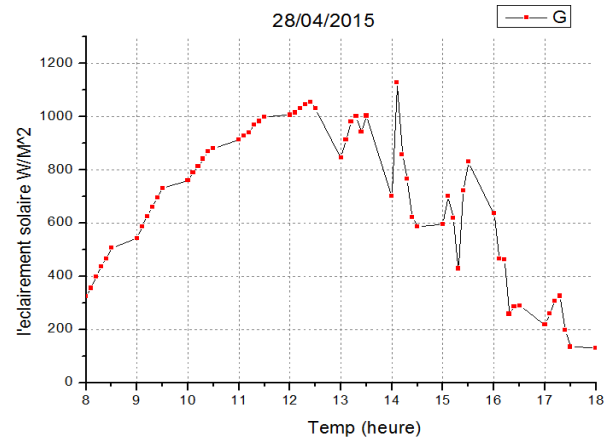


Figure (IV.2) : évolution de l'éclairement solaire globale pendant le jour 28/04/2015

➤ **Température ambiante**

La figure 3,4 montre la variation de la température ambiante pendant les jours 21,28-04-2014, les valeurs de la température ambiante utiliser pour calculer la température réduite T^* du capteur hybride PVT.

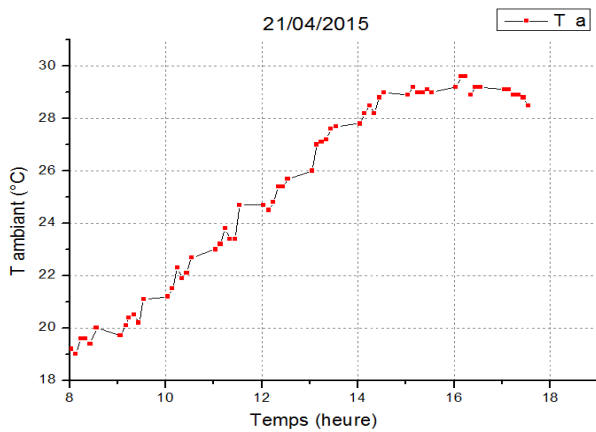


Figure (IV.3) : évolution de la température Pendant le jour 21/04/2015

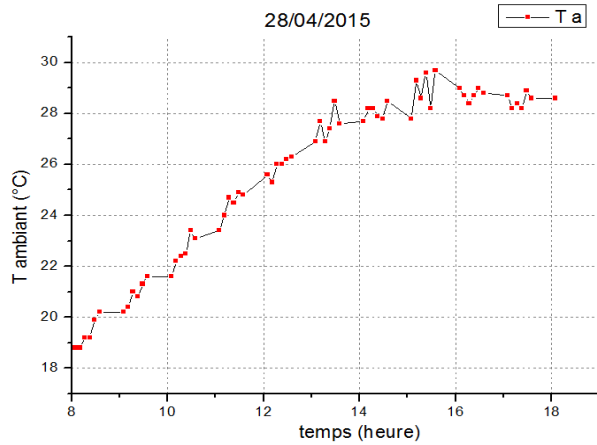


Figure (IV.4) : évolution de la température Pendant le jour 28/04/2015

➤ **Température d'eau à l'entrée et sortie du capteur hybride PVT**

L'allure de la température d'entrée et de sortie du fluide caloporteur est montrée sur les figure IV.5, Les tests de mesures ont été faits dans les jours 21,28 - 04- 2015, une augmentation des valeurs des températures du fluide durant la journée, ils atteignent des valeurs maximum vers midi en raison du rayonnement solaire qui très intéressantes, les valeurs de la température du fluide à l'entrée du capteur PV/T et atteint 33°C à midi du jour, pour la température du fluide à la sortie du capteur atteint jusqu'à 41°C à midi du jour .

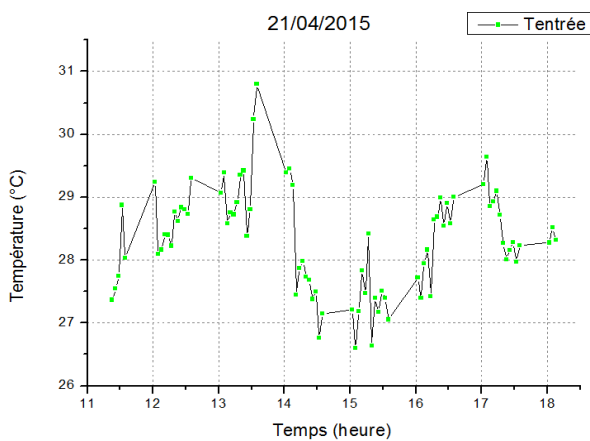


Figure (IV.5) : variation de la température l'eau à l'entrée du capteur PVT (21/04/2015)

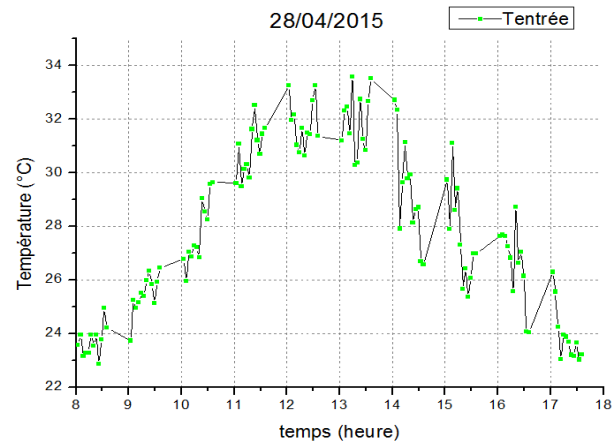


Figure (IV.6) : variation de la température l'eau à l'entrée du capteur PVT (28/04/2015)

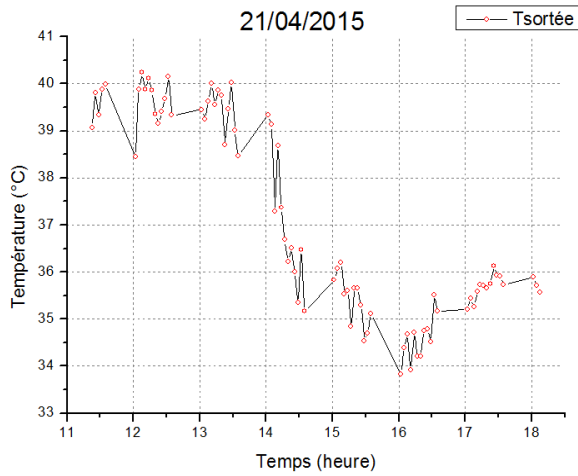


Figure (IV.7) : variation de la température l'eau à la sortie du capteur PV/T (21/04/2015)

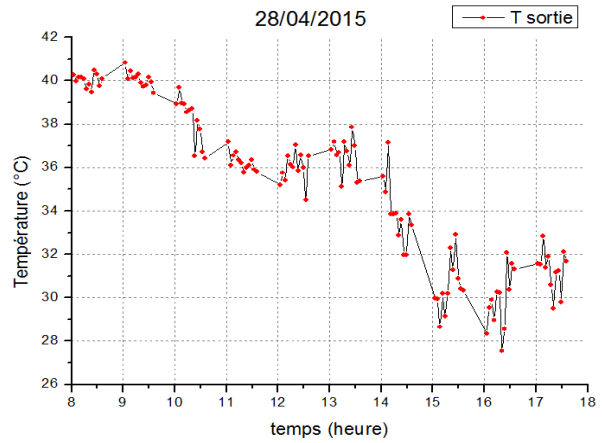


Figure (IV.8) : variation de la température l'eau à la sortie du capteur PV/T (28/04/2015)

Dans la figure IV.7 nous montrons la variation journalière de l'écart de température du fluide à la sortie et l'entrée du capteur PV/T à eau dans le jour 28-04-2015, Une augmentation de la température du fluide caloporteur d'une moyenne de 10°C entre l'entrée et la sortie.

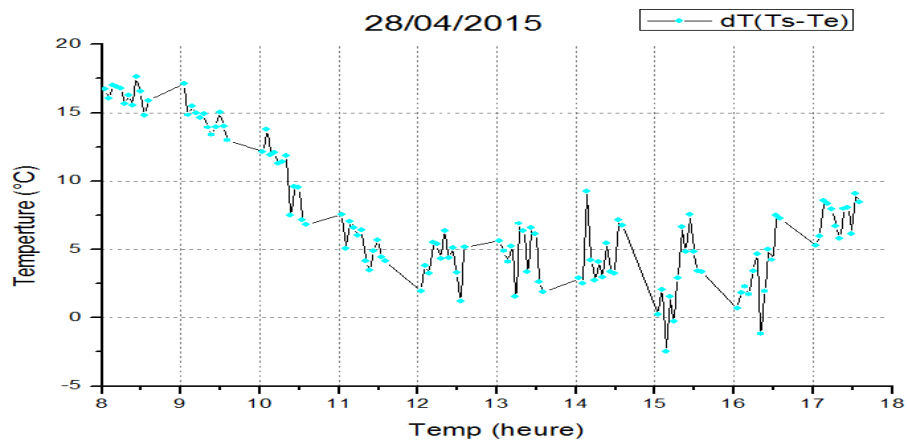


Figure (IV.9) : Variation de l'écart entre la température entré et sortie du capteur PVT

➤ **Le rendement thermique**

Le rendement thermique instantané du capteur hybride PV/T à eau est égale à le rapport de la puissance utile sur la Puissance capté par le capteur.

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{G.S} = \frac{\dot{m}cp(T_{fs} - T_{fe})}{G.S}$$

Avec \dot{m} est le débit massique du fluide, dans notre essais nous avons choisi la valeur du débit massique est égale 0.025 Kg/s

Pour G est l'éclairement solaire global incident sur la surface du capteur PV/T "S"

Les figures IV.10 et IV.11 montrent la variation au cours de la journée 21 et 28 avril 2014 du rendement thermique instantané de notre capteur hybride PV/T à eau. Il atteint le maximum dans l'intervalle du temps entre 13 h et 15 h, sa variation dépend de l'écart de température du fluide à l'entre et à la sortie du capteur pour une vitesse du fluide constante.

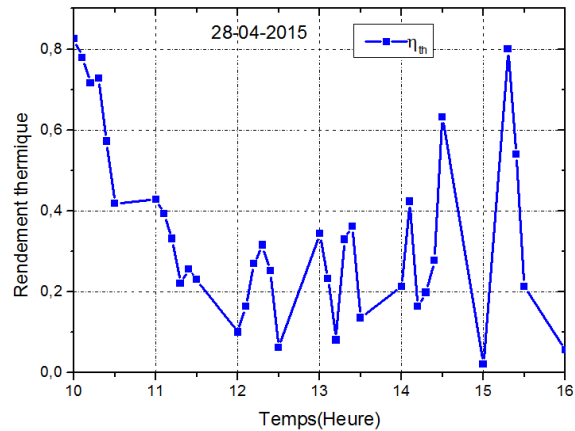
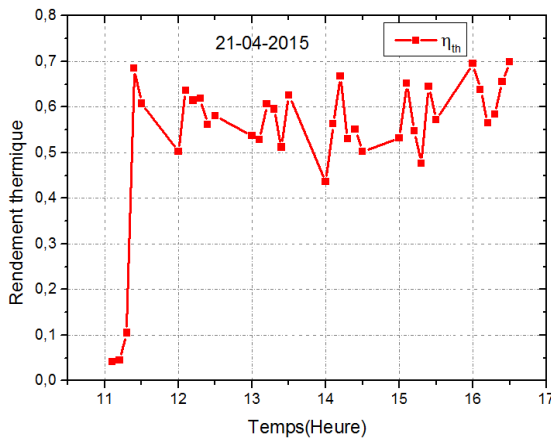


Figure (IV.10) : variation de la température l'eau à la sortie du capteur PV/T (21/04/2015)

Figure (IV.11) : variation de la température l'eau à la sortie du capteur PV/T (28/04/2015)

➤ **Courant et la tension du capteur PVT et le module PVT**

On à étudié les performances électrique du capteurs hybride PV/T et capteur PV. Nous avons relevé les paramètres électrique et sont résumées dans le tracé I = f(V).Les figures suivantes montrent les caractéristiques courantes tensions (I-V) du capteur capteurs hybride PV/T et capteur PV à vide à déférente heure dans les jours 21,28/04/2015.

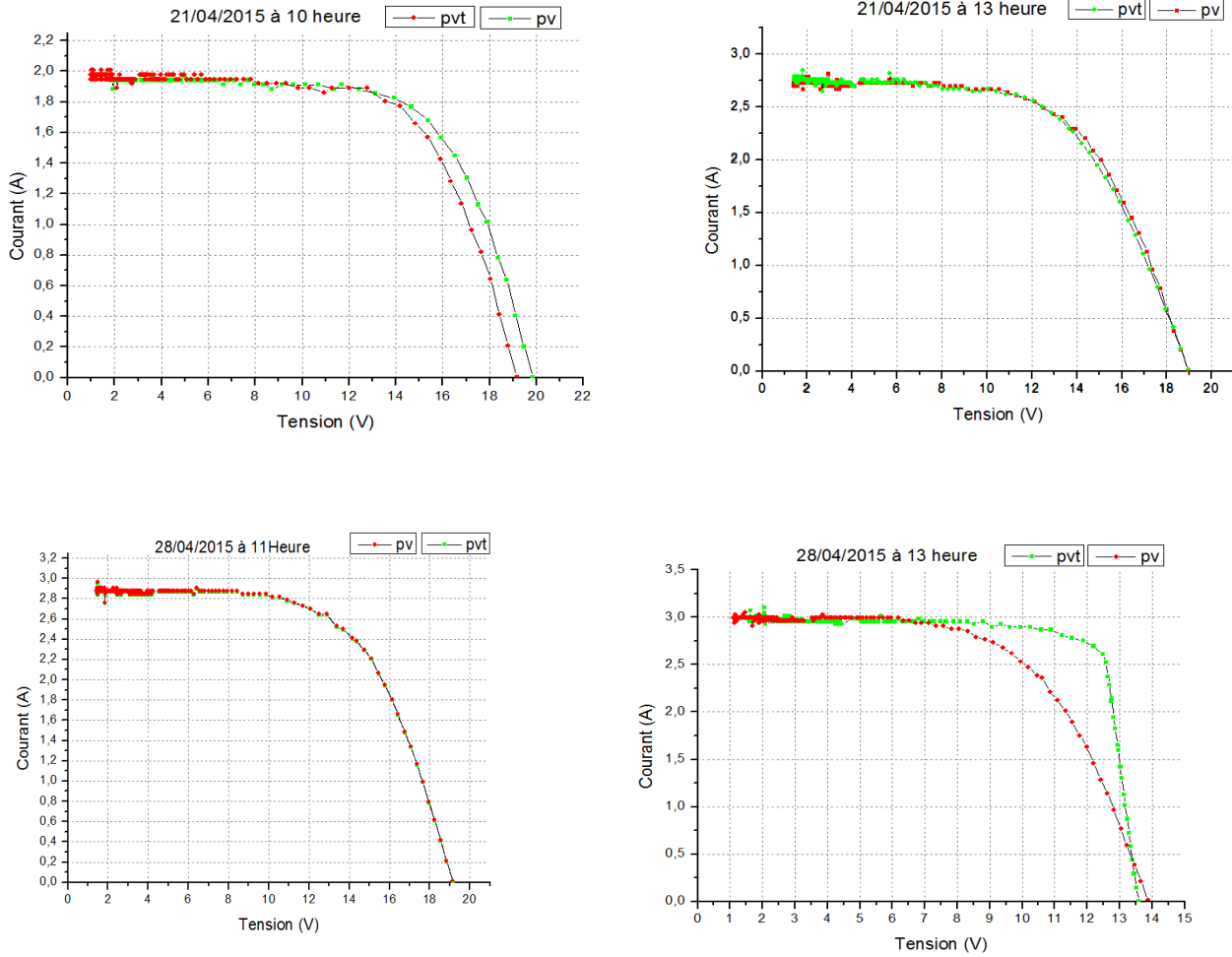


Figure (IV.13) : Courbes caractéristiques courantes tensions (I-V) à vide du capteur hybride PV/T et du module photovoltaïque

La puissance d'un notre capteur hybride est augmente que le capteur PV classique parce que le système hybride contient système de refroidissement qui améliorer le rendement

Les résultats montrent que notre capteur hybride PV/T produit mieux que le module PV.

IV.6. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons conçu et réalisé une nouvelle configuration d'un capteur hybride PV/T à eau en acier galvanisé qui est moins couteux que les autres matériaux utilisés généralement pour les capteurs hybrides.

Pour les mesures, nous avons relevé les performances thermiques et électriques et nous avons comparées avec celles des autres configurations.



CONCLUSION

GENERAL

CONCLUSION GENERAL

Une grande partie du rayonnement solaire absorbé par les cellules photovoltaïques n'est pas convertie en électricité, ce qui provoque une augmentation de leur température et réduit en conséquence leur efficacité électrique. La température des capteurs photovoltaïques peut être abaissée par extraction de la chaleur à l'aide d'une circulation naturelle ou forcée d'air. Cette chaleur extraite peut aussi être utilisée pour chauffage ou transformée en une autre énergie.

L'objet de notre travail est d'étudier un nouveau capteur hybride photovoltaïque thermique avec une nouvelle configuration en acier galvanisé pour la circulation du fluide caloporteur. L'utilisation de l'acier galvanisé est justifiée par la diminution du coût de réalisation du système (en le comparant avec le cuivre qui est généralement utilisé dans la fabrication des capteurs thermiques).

L'étude expérimentale de notre capteur a été effectuée au niveau de l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables-Ghardaïa, cette étude consiste en deux parties : la conception puis la réalisation d'un prototype et ensuite les mesures des températures dans les différentes parties du système (Annexe) puis l'interprétation sur les courbes afin de connaître les performances thermiques du capteur hybride PV/T à eau, En suite une comparaison avec capteur photovoltaïque classique.

Les recherches sur le domaine du capteur hybride est très vaste, beaucoup de recherches intéressantes sont publiées dans ce domaine. Pour cela notre étude ne cesse pas en ce point.

A la fin de notre mémoire on peut résumer les avantages de combiner un collecteur thermique avec un module PV dans l'augmentation de l'efficacité totale de la conversion d'énergie solaire et uniformité architecturale dans le cas d'utilisation sur un toit. Les coûts aussi seront réduits comparés aux deux systèmes (photovoltaïque et thermique) séparément installés.

En perspective, l'utilisation du cuivre à la place de l'acier galvanisé est intéressante pour faire une comparaison avec les capteurs hybride en cuivre. La configuration proposée est celle que nous avons utilisée (nouvelle configuration de l'absorbeur) mais cette fois-ci en cuivre au lieu de l'acier galvanisé.

Bibliographie

[1]<https://fr.wikipedia.org>.

[2] **Bensaha Abdelmadjid et Zita Mohamed** « exploitation d'un dispositif expérimentale assisté par ordinateur permettant la caractérisation des cellules solaires» Université de Laghouat,2009.

[3]CDER «Bulletin des énergies renouvelables N°1» Juin 2002.

[4]:Olivier Gergaud, « Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur », Thèse de doctorat en Electrotechnique de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, 2002.

[5]:Site Internet, <http://www.scribd.com/doc/46661921/Les-energies-renouvelables>,consulté le 12/06/2013.

[6] : M.F. Yaden, M. El Ouariachi, T. Mrabti , Ka. Kassmi, B. Tidhaf, E. Chadli et K. Kassmi, « Conception et réalisation d'un système photovoltaïque muni d'une commande MPPT numérique », Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°1 (2011) 171 – 186, Université Mohamed Premier, Faculté des Sciences, Laboratoire LEPAS, Oujda, Maroc 2011.

[7] : Mohamed Lakhdar Louzane, «Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla », Mémoire de Magister En Electrotechnique Option : Maitrise des énergies, Université de Batna, 2008.

[8] **Pollution Probe**, «L'abc des technologies de l'énergie renouvelable »,2003

[9] **GherbiDjoudiAkila** «Pompage solaire photovoltaïque» bulletin des énergies renouvelables N°23 2012,CDER.

[10] **D. SEMMAR** «Application Directe de l'Énergie Géothermique en Algérie» bulletin des énergies renouvelables N°5 Juin 2004, CDER.

- [11] SAHEB KOUSSA «Production d'électricité par un générateur éolien» bulletin des énergies renouvelables N°13 Juin 2008, CDER.
- [12] Pollution Probe, «L'abc des technologies de l'énergie renouvelable »,2003
- [13]Majda Amina AZIZA «Bioénergie et Biocarburants» bulletin des énergies renouvelables N°14 Décembre 2008, CDER.
- [14]L. AMROUCHE, S. IGOUD «Pourquoi s'intéresser au Biogaz ? » bulletin des énergies renouvelables N°7 Juin 2005, CDER.
- [15] Microsoft Encarta 2009
- [16] A. MIRECKI, « Etude comparative de chaîne de conversion d'énergie à une éolienne de petite puissance » Institut national polytechnique de TOULOUSE Avril 2005.
- [17] «Liste des projets du Programme Algérien de Développement des Energies Nouvelles et Renouvelables et de l'Efficacité Energétique» Extrait du Portail Algérien des ENERGIES RENOUVELABLES.
- [18] MEZZI, ouled sidi omar« etude et conception d'un capteur hydride à tube et à feuille » universitekasdimerbahouargla ; 2011
- [19]toufekkhaled« contribution à l'étude et à la conception d'un système énergétique utilisant des capteurs hybrides photovoltaïque thermiques » ; ecole nationale polytechnique ; 2010
- [20]- Y. B. Assoa, Thèse de Doctorat, Lyon (2008).
- [2118] Rapport de stage projet de fin d'études Ingénieur Technique Industrielle, Septembre 2006, Réalisation de Technique MPPT numérique, par Alain Bilbao Learreta, Université Virgile.
- [2219] Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie, UNIVERSITÉ PAUL SABATIER – TOULOUSE III, Décembre 2003.
- [2320] tahartafticht (analyse et commande d'un système hybride photovoltaïque éolien) université du québec ; décembre 2006

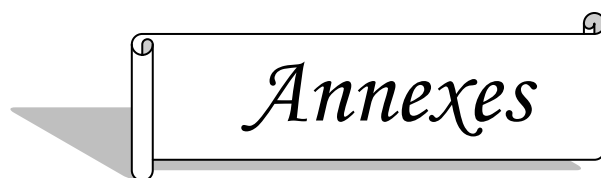
[2421] Mohamed MOGHARBI, Daoud HALASSA « Conception et réalisation d'un capteur solaire plan à air » Université Kasdi MERBAH de Ouargla 2010/2011

[2522] **BRIGAND. S**, « Techniques de construction », Catalogue de technique de construction. Mars/ Avril 2008.

[2623] Equer B, « physique et technologie de la convection photovoltaïque », volume 1. Ellipses. (1993).

[2724] K. Touafek; « étude d'un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique » ; Mémoire de Master, Ecole Nationale polytechnique, Alger. (2005).

[2825] Duffie, J.A. and Beckman W.A., Solar Energy Thermal Process. Wiley-Interscience, New York, (1974).



Annexes

temp	te	ts	dt	rendement	eclairement	ecl * cos(32)	T ambient	T réduit
11,1	38,844	39,55	0,706	0,04160021	875,7901	730,60456	19,2	38,8220769
11,2	38,839	39,611	0,772	0,04469589	891,334	743,571645	19	38,8176836
11,3	38,975	40,823	1,848	0,10487344	909,342	758,594339	19,6	38,953446
11,4	27,547	39,816	12,269	0,68560509	923,4767	770,385836	19,6	27,5257759
11,5	28,874	39,888	11,014	0,60749498	935,6064	780,504715	19,4	28,8532648
12	29,239	38,453	9,214	0,50200931	947,1685	790,150089	20	29,2178844
12,1	28,095	39,887	11,792	0,63598989	956,8152	798,197592	19,7	28,0744109
12,2	28,405	39,879	11,474	0,61491506	962,9207	803,290942	20,1	28,384126
12,3	28,226	39,857	11,631	0,61938955	969,0451	808,40006	20,4	28,2049483
12,4	28,623	39,158	10,535	0,56198729	967,3839	807,014248	20,5	28,6018088
12,5	28,81	39,686	10,876	0,58044571	966,9375	806,641851	20,2	28,7891093
13	29,31	39,333	10,023	0,53658935	963,9322	804,134759	21,1	29,2881105
13,1	29,387	39,24	9,853	0,52902469	961,1327	801,799351	21,2	29,3649427
13,2	28,758	40	11,242	0,60614127	957,1071	798,441101	21,5	28,7355365
13,3	28,923	39,864	10,941	0,59533418	948,3901	791,169176	22,3	28,8994865
13,4	29,422	38,701	9,279	0,51182626	935,5552	780,462003	21,9	29,3985914
13,5	28,81	40,024	11,214	0,62581754	924,7059	771,411263	22,1	28,7861005
14	30,796	38,47	7,674	0,43597941	908,3362	757,755277	22,7	30,7710093
14,1	29,449	39,137	9,688	0,56311358	887,8282	740,647025	23	29,4230941
14,2	27,452	38,677	11,225	0,66734449	868,0147	724,11814	23,2	27,4252723
14,3	27,981	36,686	8,705	0,53028146	847,136	706,700641	23,8	27,9529053
14,4	27,689	36,512	8,823	0,55064099	826,8725	689,796356	23,4	27,6607006
14,5	27,498	35,35	7,852	0,50232722	806,6486	672,925106	23,4	27,4689911
15	27,15	35,175	8,025	0,53182834	778,6896	649,601055	24,7	27,11828
15,1	26,597	36,081	9,484	0,65227579	750,3279	625,941062	24,7	26,5640811
15,2	27,835	35,537	7,702	0,54797527	725,3262	605,08406	24,5	27,8012221
15,3	28,423	34,838	6,415	0,47600382	695,4678	580,175485	24,8	28,3873405
15,4	27,392	35,661	8,269	0,64441948	662,1786	552,404857	25,4	27,3536418
15,5	27,508	34,541	7,033	0,57229404	634,1795	529,047354	25,4	27,4679482
16	27,055	35,117	8,062	0,69569121	598,0219	498,883839	25,7	27,012025
16,1	27,393	34,393	7	0,63808586	566,1216	472,271864	26	27,3470735
16,2	28,164	33,921	5,757	0,56531921	525,5249	438,405148	27	28,1126228
16,3	28,641	34,204	5,563	0,58412747	491,4646	409,99125	27,1	28,5858587
16,4	28,993	34,756	5,763	0,65556208	453,6549	378,449515	27,2	28,9330425
16,5	28,902	34,509	5,607	0,69842798	414,2855	345,606642	27,6	28,8353793
17	29,006	35,16	6,154	0,83710699	379,3738	316,482486	27,7	28,9329849
17,1	29,636	35,445	5,809	0,87175483	343,8728	286,866723	27,8	29,5551562
17,2	28,926	35,586	6,66	1,1206298	306,6923	255,849881	28,2	28,8340512
17,3	28,72	35,716	6,996	1,3323405	270,9726	226,051673	28,5	28,6148233
17,4	28,01	35,749	7,739	1,67525343	238,3939	198,87376	28,2	27,8917084
17,5	28,285	35,937	7,652	1,90317924	207,4847	173,088584	28,8	28,1461946

Annexe 21-28/04/2015

18 28,237 35,727 7,49 2,21605013 174,4187 145,504154 29 28,0707334

Annex 28/04/2015

temp	te	ts	dt	l'eclaircement	Rendement	T ambiant	T réduit
8,04	23,565	40,28	16,715	323.8269	2,66369	21	22,565
8,14	23,166	40,165	16,999	355.2078	2,46963	21	22,166
8,24	23,27	40,08	16,81	398.2902	2,17801	21,5	22,27
8,34	23,537	39,831	16,294	436.9514	1,92436	21,8	22,537
8,44	22,862	40,486	17,624	465.1334	1,95532	22	21,862
8,54	24,94	39,765	14,825	507.9222	1,50622	22,5	23,94
9,04	23,727	40,835	17,108	543.2679	1,62508	22,7	22,727
9,14	24,941	40,44	15,499	587.0098	1,36254	23,2	23,941
9,24	25,515	40,147	14,632	625.6275	1,20692	23,4	24,515
9,34	25,981	39,908	13,927	659.3803	1,08996	23,7	24,981
9,44	25,838	39,805	13,967	695.2094	1,03676	23,4	24,838
9,54	25,918	39,941	14,023	731.6191	0,98911	23,9	24,918
10,04	26,771	38,916	12,145	759.4662	0,82524	23,9	25,771
10,14	27,045	38,976	11,931	790.8785	0,7785	24,2	26,045
10,24	27,271	38,55	11,279	813.418	0,71556	24,2	26,271
10,34	26,831	38,702	11,871	841.3777	0,72809	24,7	25,831
10,44	28,535	38,156	9,621	868.2316	0,57184	25	27,535
10,54	29,571	36,718	7,147	882.1376	0,4181	25,3	28,571
11,04	29,613	37,177	7,564	912.762	0,42765	26,1	28,613
11,14	29,487	36,554	7,067	927.6785	0,39312	25,7	28,487
11,24	30,313	36,339	6,026	939.538	0,33098	26,3	29,313
11,34	31,621	35,761	4,14	969.0846	0,22046	27,2	30,621
11,44	31,212	36,092	4,88	982.568	0,2563	27	30,212
11,54	31,445	35,902	4,457	999.7373	0,23006	27,3	30,445
12,04	33,25	35,205	1,955	1006.366	0,10025	27,1	32,25
12,14	32,172	35,397	3,225	1015.147	0,16394	27,6	31,172
12,24	30,756	36,146	5,39	1031.587	0,26963	27,6	29,756
12,34	30,645	37,037	6,392	1045.001	0,31565	27,7	29,645
12,44	31,431	36,574	5,143	1055.808	0,25138	27,6	30,431
12,54	33,26	34,495	1,235	1030.488	0,06185	27,8	32,26
13,04	31,206	36,832	5,626	845.3224	0,34345	27,8	30,206
13,14	32,465	36,576	4,111	912.66	0,23245	28,1	31,465
13,24	33,581	35,123	1,542	980.8578	0,08113	28,4	32,581
13,34	30,358	36,753	6,395	1002.066	0,32933	28,9	29,358
13,44	31,26	37,862	6,602	941.9175	0,3617	28,7	30,26
13,54	32,673	35,307	2,634	1003.182	0,1355	29	31,673
14,04	32,708	35,605	2,897	701.5085	0,21311	28,4	31,708

Annexe 21-28/04/2015

14,14	27,911	37,161	9,25	1127.784	0,42326	29,5	26,911
14,24	31,139	33,861	2,722	857.9686	0,16372	29,6	30,139
14,34	29,921	32,864	2,943	765.7932	0,19832	29,8	28,921
14,44	28,632	31,985	3,353	622.2431	0,27808	29,3	27,632
14,54	26,685	33,863	7,178	585.8982	0,63223	29,2	25,685
15,04	29,736	29,976	0,24	596.0777	0,02078	30,2	28,736
15,14	31,113	28,649	-2,464	702.1857	-0,18108	30,1	30,113
15,24	29,411	29,142	-0,269	618.4785	-0,02244	29,9	28,411
15,34	25,655	32,301	6,646	429.0697	0,79932	29,9	24,655
15,44	25,361	32,904	7,543	720.8738	0,53998	29,5	24,361
15,54	26,99	30,425	3,435	830.2029	0,21352	30,5	25,99
16,04	27,638	28,334	0,696	636.4207	0,05644	30,5	26,638
16,14	27,627	29,891	2,264	466.627	0,25038	30	26,627
16,24	26,819	30,264	3,445	463.653	0,38343	29,7	25,819
16,34	28,719	27,53	-1,189	258.1546	-0,23768	29,5	27,719
16,44	27,052	32,062	5,01	286.6286	0,90201	29,8	26,052
16,54	24,06	31,579	7,519	289.1734	1,34181	29,8	23,06
17,04	26,293	31,57	5,277	218.662	1,24539	29,8	25,293
17,14	24,251	32,842	8,591	258.9019	1,71238	29,9	23,251
17,24	23,958	31,897	7,939	307.2533	1,3334	29,8	22,958
17,34	23,689	29,505	5,816	326.1792	0,92015	29,7	22,689
17,44	23,166	31,232	8,066	196.5573	2,11768	29,4	22,166
17,54	23,018	32,127	9,109	134.3691	3,49834	29,8	22,018