

الجمهورية الجزائرية
الديمقراطية الشعبية
République Algérienne
Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي
والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de
la Recherche Scientifique

جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

N°d'enregistrement



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie

Memoire

Pour l'obtention du diplôme de master
Domaine Sciences et Technologies

Filière : énergie renouvelable

Spécialité : énergie renouvelable

Thème

**Etude et Conception d'un nouveau capteur
solaire hybride**

Soutenue publiquement le 12/06/2022

Par

Bennaddir Azzedine

Hiba Rachid

Devant le jury composé de

TOUAFEK Khaled

Directeur de Recherche

URAER. Ghardaïa

Encadreur

BENSEDDIK Abdelouahab

Maître de Recherche A

URAER. Ghardaïa

Examineur

ASSAIA farse

Maître de Conférences B

Université Ghardaïa

Examineur

Année universitaire 2021/2022

Dédicace

Avant tous,

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné
le courage et la patience pour réaliser ce travail.

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, qu'ALLAH les garde
Et les protège pour leur soutien moral et financier,
Pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils

A mes frères,

A ma grande famille

Aux chers amis,

A tous les amis (es) d'études

REMERCIEMENTS

Je tiens, avant tout, à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur **TOUAFEK Khaled**, maître de Recherche Aa l'URAER- Ghardaïa et enseignant à l'université de Ghardaïa, qui a assumé la direction de ce travail. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de ma reconnaissance pour son dévouement, sa patience, sa disponibilité, ses conseils et son aide constante qu'il m'a apporté tout au long de ce travail.

Sans oublier bien sur tout les énormes efforts dans l'URAER- Ghardaïa, responsable au centre des énergies renouvelables - Ghardaïa

Nous adressons notre vif remerciement à tous les enseignants qui, par leurs enseignements, leurs encouragements et leurs aides, ont contribué à notre formation.

Nos remerciements vont particulièrement aussi à tous ceux qui, par leur encouragement ou leur amitié, ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

SOMMAIRE :

SOMMAIRE	i
LISTE DES FIGURES.....	ii
LISTE DES TABLEAUX.....	iii
Nomenclatures	iv
Introduction générale	1
CHAPITRE I : ÉNERGIE RENOUVELABLE	1
I.1. INTRODUCTION	3
I.2. SOLEIL.....	3
I.3. MOUVEMENT DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL	5
I.4. RAYONNEMENT SOLAIRE.....	6
I.5. MOUVEMENT APPARENT DU SOLEIL	6
I.6. SPECTRE SOLAIRE	7
I.7. PUISSANCE SOLAIRE REÇUE PAR LA TERRE	8
I.8. CONSTANTE SOLAIRE	8
I.9. COMPOSANTES DU RAYONNEMENT SOLAIRE.....	9
I.9.1. Rayonnement direct	9
I.9.2. Rayonnement diffus.....	9
I.9.3. Rayonnement global	9
I.9.4. L'albédo du sol	10
I.10. APPAREILS DE MESURE	10
I.10.1. Mesure de la fraction d'insolation.....	10
I.10.2. Mesure du rayonnement solaire global.....	11
I.10.3. Mesure du rayonnement direct.....	12
I.11. DIFFÉRENTS TYPES D'ÉNERGIES RENOUVELABLES.....	13
I.11.1. L'énergie solaire	13
I.11.2. L'énergie solaire photovoltaïque	13
I.11.3. Énergie solaire thermique	14

I.11.4. L'énergie hydraulique	14
I.11.5. L'énergie du vent	15
I.11.6. Energie géothermique	15
I.11.7. Biomasse	16
I.12. AVANTAGES ET INCONVENIENTS.....	16
I.13. CONCLUSION	17
CHAPITER II : DIFFERENTS TYPES DE CAPTEUR SOLAIRE HYBRIDE....	1
II.1. INTRODUCTION :	18
II.2. CAPTEUR SOLAIRE :	18
II.3. PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE :	19
II.3.1. Principes :	20
II.3.2. Différentes technologies de la cellule solaire: Pratiquement toutes les cellules solaires disponibles aujourd'hui sont réalisées à base de	20
II.4. TYPES DES CAPTEURS SOLAIRES :	21
II.4.1. Capteur sans vitrage :	21
II.4.2. Capteur sous vide :	21
II.4.2.1. Tubes sous vide à flux direct :	22
II.4.2.2. Tubes sous vide à caloduc :	22
II.4.3. Capteurs plans vitrés:	23
II.5. TYPES DES CAPTEURS SOLAIRES HYBRIDES PVT:	23
II.5.1. Capteurs solaires V/T à air :	23
II.5.2. Capteurs solaires PV/T hybrides à eau :	24
II.5.3. Capteurs PVT de concentration :	25
II.5.4. Capteurs PVT à base de cellules en couches minces :	27
II.6. CONCLUSION:	28
CHAPITER III : CONCEPTION D'UN NOUVEAU CAPTURE	16
III.1. INTRODUCTION	29
III.2. DESCRIPTION :	29

III.3. ECHANGEUR DE CHALEUR:	30
III.3.1. Echangeur faisceau et calandre :.....	30
III.3.2. La calandre:	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
III.3.3. Plaques tubulaires :	31
III.3.4. Faisceau :	31
III.4. ECHANGEURS DOUBLE-TUBE:	32
III.4.1. Echangeurs à plaque tubulaire fixes.....	32
III.4.2. Echangeurs à tête flottante.....	33
III.4.3. Echangeurs à tubes en U	34
III.4.4. Echangeurs double-tube	34
III.5. CAPTEUR SOLAIRE PLAN A EAU	35
III.5.1. Bilan thermique du capteur.....	35
III.6. STOCKAGE D'ENERGIE THERMIQUE	37
III.6.1. Stockage par chaleur sensible.....	37
III.6.2. Stockage par chaleur latente	38
III.7. CONCEPT DE CAPTEUR	38
III.7.1. 1HYBRIDE PHOTOVOLTAIQUE / THERMIQUE :.....	38
III.8. MODELISATION DU SYSTEME PV/T	39
III.8.1. Equations caractérisant le transfert de chaleur	39
III.8.1.1. Bilan énergétique au niveau de la surface du verre.....	40
III.8.1.2. Bilan énergétique au niveau de la couche des cellules photovoltaïques au silicium :.....	42
III.8.1.3. Bilan d'énergie au niveau de la couche du tedlar	43
III.8.1.4. Bilan énergétique au niveau de la plaque en cuivre	43
III.8.1.5. Bilan énergétique au niveau du Tube	44
III.9. DESCRIPTION DE PV/T	45
III.10. CONCLUSION :	46
CHAPITER IV : RESULTAT.....	27
IV.1. INTRODUCTION	48

IV.2. HISTORIQUE SUR LES CAPTEURS HYBRIDES.....	48
IV.3. CAPTEURS SOLAIRES HYBRIDES PV/T A EAU	48
IV.4. CONSTITUTION ET PRINCIPE.....	49
IV.5. CONCEPTION ET REALISATION D'UN CAPTEUR PV/T A CONCENTRATION	50
IV.6. MATERIEL ET LES MATERIAUX UTILISES:	50
IV.7. ETAPES DE REALISATION DU CAPTEUR PV/T	51
IV.7.1. Première étape : le module photovoltaïque.....	51
IV.7.2. Deuxième étape : l'absorbeur.....	51
IV.7.3. L'absorbeur du haut	52
IV.7.4. Troisième étape : le support métallique	53
IV.7.5. Quatrième étape : l'isolant	53
IV.8. MONTAGE DE CAPTEUR PV-T.....	53
IV.9. DESCRIPTION DU BANC D'ESSAI	54
IV.10. PRELEVEMENT DES MESURES	55
IV.11. MAILLAGE DU CAPTEUR PV	56
IV.12. DISPOSITIFS DE MESURE	57
IV.12.1. Thermocouple de type "K" :.....	57
IV.13. MESURE DE TEMPERATURES.....	58
IV.14. DISTRIBUTION DE LA TEMPERATURE	59
IV.14.1. Cas de circulation normale du fluide	59
IV.14.2. Cas où la circulation du fluide est bloquée	60
IV.15. TEMPERATURES EN FONCTION DU TEMPS POUR LE CAS DE LA CIRCULATION LIBRE DU FLUIDE.....	61
IV.16. TEMPERATURES EN FONCTION DU TEMPS POUR LE CAS DE LA CIRCULATION DU FLUIDE BLOQUEE	63
IV.17. CONCLUSION.....	64
Conclusion générale	64
Bibliographie	46

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES :

FIGURE I.1 STRUCTURE DU SOLEIL [6].....	5
FIGURE I.2 LE MOUVEMENT DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL [7]	6
FIGURE I.3 RAYONNEMENT SOLAIRE	7
FIGURE I.4 SPECTRE DU RAYONNEMENT SOLAIRE [10]	8
FIGURE I.5 EVOLUTION ANNUELLE DE LA CONSTANTE SOLAIRE [11].....	9
FIGURE I.6 LES COMPOSANTES DU RAYONNEMENT SOLAIRE	10
FIGURE I.7 COMPTEUR DE DUREE D'ENSOLEILLEMENT	11
FIGURE I.8 PYRANOMETRE	12
FIGURE I.9 PYRHELIOMETRE.....	12
FIGURE I.10 DIFFERENTES SOURCES D'ENERGIES RENOUVELABLES	13
FIGURE I.11 MODULE PHOTOVOLTAÏQUE [13].	14
FIGURE I.12 L'ENERGIE HYDRAULIQUE	15
FIGURE I.13: ENERGIE EOLIENNE.....	15
FIGURE I.14 L'ENERGIE GEOTHERMIQUE	16
FIGURE I.15 ÉNERGIE BIOMASSE [17]	16
FIGURE II.1 CAPTEUR SANS VITRAGE.....	21
FIGURE II.2 CAPTEUR SOUS VIDE	22
FIGURE II.3 PRINCIPE DU CAPTEUR SOUS VIDE A FLUX DIRECT.	22
FIGURE II.4 PRINCIPE D'UN CAPTEUR SOUS VIDE A CALODUC	23
FIGURE II.5 CAPTEUR PLAN VITRE.....	23
FIGURE II.6 SCHEMA DU CAPTEUR SOLAIRE HYBRIDE PVT A AIR.	24
FIGURE II.7 CAPTEUR SOLAIRE PV/T HYBRIDE A EAU [26].....	25
FIGURE II.8 CAPTEURS PVT DE CONCENTRATION.....	26
FIGURE III.1 CALANDRE D'UN ECHANGEUR FAISCEAU ET CALANDRE	31
FIGURE III.2 FIGURE D'UNE PLAQUE TUBULAIRE	31
FIGURE III.3 TYPES DE PAS CARRE	32

LISTE DES FIGURES

FIGURE III.4 TYPES DE PAS TRIANGULAIRE.....	32
FIGURE III.5 ÉCHANGEUR A PLAQUE TUBULAIRE FIXES.....	33
FIGURE III.6 ÉCHANGEUR A TETE FLOTTANTE	33
FIGURE III.7 ÉCHANGEUR A TUBES EN U	34
FIGURE III.8 ECHANGEURS DOUBLE -TUBE	34
FIGURE III.9 CAPTEUR THERMIQUE PLAN A EAU.....	36
FIGURE III.10 SCHEMA DESCRIPTIF PROTOTYPE HYBRIDE PV/T A EAU	38
FIGURE III.11 SCHEMATISATION DES TRANSFERTS PV/T THERMIQUES DANS LE	38
FIGURE III.12 SCHEMA ELECTRIQUE EQUIVALENT DES TRANSFERTS THERMIQUES DU CAPTEUR HYBRIDE PV/T	39
FIGURE III.13: SCHEMA REPRESENTANT L'ECHANGE THERMIQUE AU NIVEAU DE LA COUCH DU TEDLAR.	43
FIGURE III.14 SCHEMA REPRESENTANT L'ECHANGE THERMIQUE AU NIVEAU DE LA PLAQUE.....	44
FIGURE III.15 SCHEMA REPRESENTANT L'ECHANGE THERMIQUE AU NIVEAU DU TUBE.	44
FIGURE III.16 L'ENSEMBLE DE TUBE EST APPOSE SUR LA TOLE GALVANISEE ET APPOSE SUR LE PV / T	45
FIGURE III.17 LA VUE EN COUPE DU COLLECTEUR PV/T DEVELOPPE.....	46
FIGURE IV.1 VU DES TROIS COUCHES DU PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE.....	50
FIGURE IV.2:COUDES EN FER	51
FIGURE IV.3 BAGUETTES	51
FIGURE IV.4 UNE TOLE EN FER GALVANISE	51
FIGURE IV.5 MODULES PV	51
FIGURE IV.6 PLAQUE GALVANISE AVEC TUBES GALVANISE.....	52
FIGURE IV.7 L'ABSORBEUR	52
FIGURE IV.8 SUPPORT METALLIQUE	53
FIGURE IV.9 POLESTAR.....	53
FIGURE IV.10 CAPTEUR HYBRIDE PV/T A EAU.....	54

LISTE DES FIGURES

FIGURE IV.11 CAPTEUR HYBRIDE PV ET PVT A EAU	55
FIGURE IV.12 L'EMPLACEMENT DU THERMOCOUPLE SUR LE CAPTEUR PV-T.....	55
FIGURE IV.13 L'EMPLACEMENT DU THERMOCOUPLE SUR LE CAPTEUR PV/T	56
FIGURE IV.14 L'EMPLACEMENT DES THERMOCOUPLES SUR LE CAPTEUR PV	57
FIGURE IV.15 PHOTO DE L'ACQUISITION	57
FIGURE IV.16 PRINCIPE DE CONSTITUTION D'UN THERMOCOUPLE.....	58
FIGURE IV.17 PHOTOS REPRESENTENT LE RACCORDEMENT DES DIFFERENTS THERMOCOUPLES A L'ACQUISITION DE DONNEES.....	58
FIGURE IV.18 DISPOSITIF DE PRELEVEMENT DE CARACTERISTIQUES I(V)	59
FIGURE IV.19 I(V) DU CAPTEUR PVT AVEC LE MODULE PV TEMOIN POUR LA JOURNEE DU 22/05/2022 -CAS DE CIRCULATION A FAIBLE DEBIT-	59
FIGURE IV.20 PUISSANCE EN FONCTION DE LA TENSION POUR LA JOURNEE DU 22/05/2022.....	60
FIGURE IV.21: I(V) DU CAPTEUR PVT AVEC LE MODULE PV TEMOIN POUR POUR LA JOURNEE DU 23/05/2022 -CAS BLOQUE-	60
FIGURE IV.22 PUISSANCE EN FONCTION DE LA TENSION POUR LA JOURNEE DU 23/05/2022.....	61
FIGURE IV.23 TEMPERATURE D'ENTREE ET SORTIE	61
FIGURE IV.24 TEMPERATURE HAUTE ET BASSE DU CAPTEUR HYBRIDE PVT.....	62
FIGURE IV.25 DISTRIBUTION DE TEMPERATURE POUR TOUS LES POINTS	62
FIGURE IV.26 TEMPERATURE D'ENTREE ET SORTIE	63
FIGURE IV.27 TEMPERATURE HAUTE ET BASSE DU CAPTEUR HYBRIDE PVT.....	63
FIGURE IV.28 DISTRIBUTION DE TEMPERATURE POUR TOUS LES POINTS	64

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX :

TABLEAU I.1 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES ENERGIES RENOUVELABLES	17
--	----

Nomenclatures

T_a	Température ambiante, [K]
T_{ciel}	Température du ciel, [K]
T_s	Température de sortie du fluide, [K]
T	Température réduite <i>ev</i>
E_v	Épaisseur de la vitre, [m]
T_e	Température d'entrée du fluide, [K]
E_{si}	Épaisseur de la couche des cellules solaires, [m]
E_{abs}	Épaisseur de l'absorbeur (couche haute) , [m]
E	Largeur de l'absorbeur (circulation du fluide) , [m]
S	Surface du capteur , [m ²]
λ	Conductivité thermique, [W/(m·K)]
τ	Coefficient de transmission
α	Coefficient d'absorption
G	Eclairement global, [W/m ²]
Rend_{th}	Rendement thermique instantané
Rend_{th}	Rendement thermique théorique
Rend_{exp}	Rendement thermique expérimental
Rend_{elec}	Rendement électrique
M	Masse, [Kg]
C	Chaleur spécifique, [J/(kg·K)]
I	Courant [A]
V	Tension [V]
P	Puissance [W]
dT	Ecart de température entre l'entrée et la sortie
η	Le rendement de la cellule photovoltaïque
P_m	La puissance produite par le générateur PV
E_{STC}	L'éclairement absorbé par la cellule
S_{cellule}	La surface de la cellule [m ²]
G	Rayonnement absorbé par le capteur (en [w/m ²])
U_L	Coefficient de transfert de chaleur (en [w/m ² K])
T_{pm}	Température moyenne de l'absorbeur difficile à déterminer
A_c	Surface de captation du capteur



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'énergie solaire est l'une des plus importantes sources d'énergies renouvelables. Les principales applications de l'énergie solaire peuvent être classées en deux catégories, système thermique (T) et système photovoltaïque (PV). Un système hybride PVT combine un module photovoltaïque avec un capteur solaire thermique générant ainsi simultanément de l'électricité et de la chaleur. Lorsque le rayonnement solaire est absorbé, une chaleur est générée par les cellules photovoltaïques et il est converti en chaleur entraînant une diminution du rendement électrique. Cet effet indésirable peut être partiellement évité par l'application d'un système de récupération de la chaleur avec la circulation d'un fluide (air ou eau) sous le module PV pour garder le rendement électrique à niveau acceptable.

Par ailleurs un module photovoltaïque traditionnel produit plus d'électricité s'il est refroidi. Typiquement, la puissance augmente avec 0,2-0,5% par ° C si la température baisse, mais quand un module photovoltaïque est intégré dans une façade ou un toit, il sera normalement plus chaud qu'un module monté à l'air libre. Il est donc logique d'évacuer la chaleur excessive du module. [1]

Par sa situation privilégiée, l'Algérie dispose du plus grand gisement solaire du Bassin méditerranéen. La durée moyenne d'ensoleillement du territoire Algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le désert du Sahara. Le total d'énergie reçue est estimé à 169 400 TWh/an, soit 5000 fois la consommation d'électricité annuelle du pays.

Pour réaliser ce travail nous avons pu nous appuyer sur nombreuses études théoriques et expérimentales dans le domaine des capteurs solaires hybrides thermiques /photovoltaïques et les systèmes à concentration solaire.

Nous avons étudié l'état de quelques études théoriques et expérimentales dans le domaine des capteurs solaires hybrides nettement les capteurs hybrides PV/T à concentration. Notre mémoire sera présenté de la façon suivante :

Le premier chapitre, on a présenté une étude bibliographique sur les modèles photovoltaïques.

Dans le deuxième chapitre, on a étudié l'état de l'art sur les capteurs PV/ T à eau.

INTRODUCTION GENERALE

Dans le troisième chapitre, on a fait une étude détaillée sur les différents types de concentrateurs solaires : caractéristiques, principe de fonctionnement, types de concentrateurs, avantages et inconvénients.

Dans le quatrième chapitre, on a fait une étude expérimentale sur les capteurs hybrides PV/T à eau : calcul du rendement, puissance, la température d'entrée et sortie du fluide (eau). [2] Le Quatrième chapitre a englobé une interprétation et discussion des résultats obtenus



CHAPITER I : Énergie renouvelable

CHAPITRE I : Énergie renouvelable

I.1. Introduction

Toutes les énergies renouvelables sont issues, directement ou indirectement du soleil. Le rayonnement direct de cette étoile peut être utilisé de deux manières :

Energie solaire thermique : qui représente la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique ; transformation utilisée directement pour chauffer un bâtiment par exemple ou indirectement pour la production de vapeur d'eau dans l'entraînement des turboalternateurs et ainsi obtenir de l'énergie électrique. Des rendements élevés peuvent être atteints.

En revanche l'énergie solaire photovoltaïque désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux photovoltaïques [4].

Nous consacrons ce chapitre aux généralités et notions fondamentales sur le rayonnement solaire et les différentes sources d'énergies renouvelables.

I.2. Soleil

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre de 1390000 km, soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé de 80% d'hydrogène, 19% d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques (Figure I.1). Il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium ; la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement. Sa lumière, à une vitesse de 300000 km/s, met environ 8 minutes pour parvenir à la terre [5] .

Le soleil n'est pas une sphère homogène ,on peut y distinguer trois régions principales :

1. L'intérieur : où se crée l'énergie par réaction thermonucléaire et qui est inaccessible aux investigations, car le rayonnement émis dans cette région est totalement absorbé par les couches extérieures . La température atteint plusieurs millions et la pression un milliard d'atmosphère.
2. La photosphère : l'épaisseur est d'environ 300 km qui est responsable de la presque totalité du rayonnement solaire que nous recevons.
3. Chromosphère et couronne solaire : où la matière est très diluée, fait qui explique que

CHAPITRE I : Énergie renouvelable

bien que la température y soit très élevée (1 million de degrés) le rayonnement émis est très faible.

Structure et composition de l'atmosphère .

L'atmosphère est constituée de plusieurs couches de caractéristiques différentes, c'est :

La troposphère, entre le sol et 15 km d'altitude.

La stratosphère entre 15 et 80 km d'altitude.

L'ionosphère entre 80 et 200 km d'altitude.

Les caractéristiques absorbantes de l'atmosphère sont déterminées par la présence de :

-CO₂ (0,03%) .

Vapeur d'eau : en quantité variable caractérisée par l'épaisseur d'eau condensable qui est l'épaisseur d'eau que l'on obtiendrait en condensant toute la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère .

Ozone O₃ située entre 10 et 30 km d'altitude .

Aérosols : grains de sable , poussières, fumées...

Les gaz non parents de l'atmosphère (CO₂, O₃, H₂O) émettent vers la terre un rayonnement dans les principales bandes suivantes :

Vers 14,7 μm pour le CO₂.

Entre 5 et 7 μm et entre 14 et 20 μm pour la vapeur d'eau .

Vers 9,6 μm pour O₃ .

Figure I.1 .

CHAPITER I : Énergie renouvelable

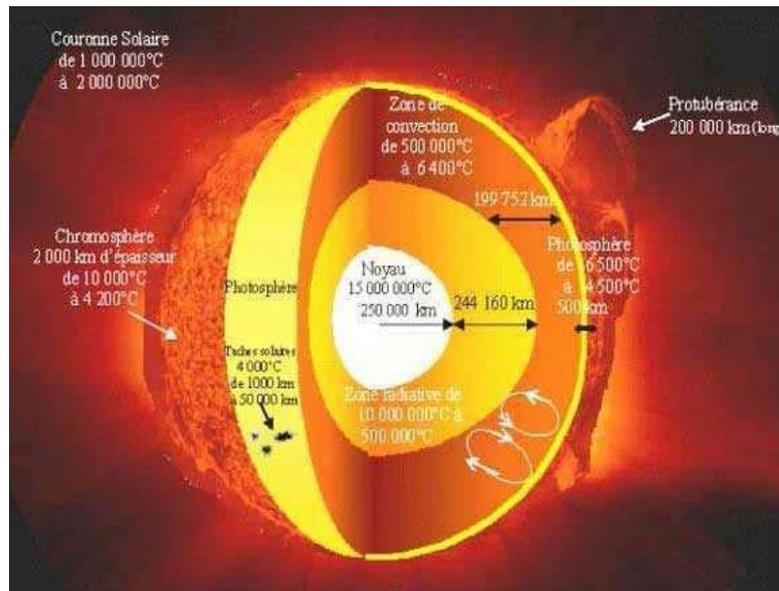


Figure I.1 Structure du soleil [6]

I.3. Mouvement de la terre autour du soleil

Dans son mouvement autour du soleil, la terre décrit une ellipse dont le soleil est l'un de ses foyers, la révolution complète s'effectue en une période de 365,25 jours. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique .

C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil : 147 millions de km. Au 22 juin la distance terre-soleil vaut 152 millions de km, c'est le jour où la terre est la plus éloignée, c'est le solstice d'été. Le 21 mars ET le 21 septembre sont appelés respectivement équinoxes de printemps et équinoxe d'automne. Aux équinoxes le jour ET la nuit sont égaux [6] .

En plus de sa rotation autour du soleil, la terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Cette rotation s'effectue en une journée. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique, ils font entre eux un angle appelé inclinaison égale à 23, 27° Figure I.2 [6] .

CHAPITER I : Énergie renouvelable

Mouvement de la Terre autour du soleil

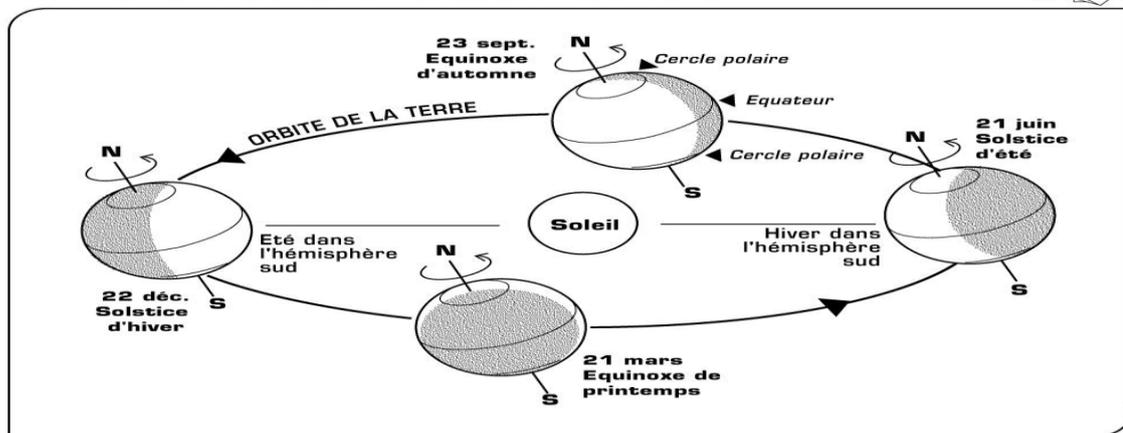


Figure I.2 Le mouvement de la terre autour du soleil [7]

I.4. Rayonnement solaire

Le rayonnement électromagnétique émis par le soleil est la manifestation externe des interactions nucléaires qui se produisent au cœur du soleil et de l'ensemble des interactions secondaires qu'elles génèrent dans son enveloppe. Il constitue la quasi-totalité de l'énergie expulsée par le soleil. Le rayonnement solaire est caractérisé par différentes caractéristiques dont la plus importante est la constante solaire, qui est une donnée fondamentale indépendante des conditions météorologiques.

La deuxième caractéristique du rayonnement solaire est sa répartition spectrale, qui est à peu près celle d'un corps noir à 5800°k. Le rayonnement solaire est une superposition d'ondes dont les longueurs vont de 0,25 micromètres à 4 micromètres [8], [9] .

I.5. Mouvement apparent du soleil

Le mouvement que paraît faire le soleil en une journée vu par un observateur situé sur terre est appelé "Le mouvement apparent du Soleil". En dehors des régions polaires, de l'Equateur et des tropiques :

Le matin ; le Soleil est à l'Est, bas sur l'horizon, c'est le « lever du Soleil »

- A midi ; le Soleil est positionné au Sud ou au Nord, et il est au plus haut de son trajet
 - Apparent ;Le soir ; le Soleil apparaît à l'Ouest, bas sur l'horizon, c'est le « coucher du Soleil »
- »

CHAPITER I : Énergie renouvelable

L'angle que fait la direction du Soleil avec la verticale du lieu au midi solaire est égal à $(L-d)$. La durée du jour est de 12h aux équinoxes, elle est inférieure à 12h entre le 21 septembre et le 21 mars, supérieure à 12 entre le 21 mars et le 21 septembre Figure I.3 .

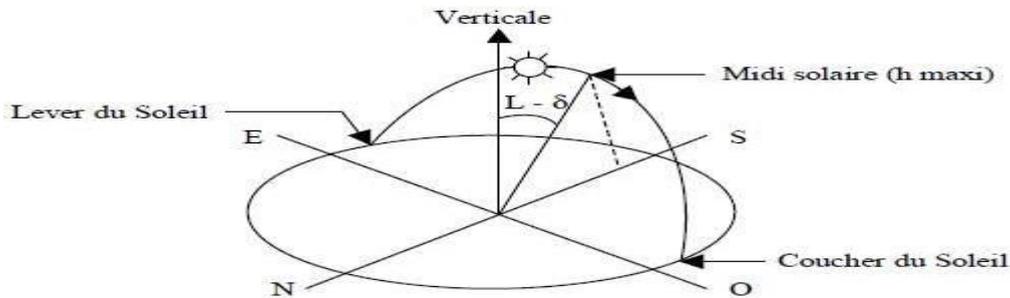


Figure I.3 Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L [9a] .

I.6. Spectre solaire

La lumière solaire est composée de toutes sortes de rayonnements, de couleurs différentes, caractérisées par différentes longueurs d'onde. Des photons ; grains de lumière composent ce rayonnement électromagnétique. En 1924, Louis de Broglie a confirmé que la nature à la fois corpusculaire et ondulatoire de la lumière : présence de corpuscules (photons) et propagation d'ondes avec une fréquence de vibration et une longueur d'onde. Le rayonnement émis par le soleil correspond à celui du corps noir à la température de $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$. L'intensité du rayonnement au-dessus de l'atmosphère est de $1.35\text{ kW}/\text{m}^2$, avec un spectre centré au voisinage de $\lambda = 0.48\text{ }\mu\text{m}$. A la surface du sol, la densité de puissance n'est plus que de $0.9\text{ kW}/\text{m}^2$ en raison de l'absorption essentiellement par l'ozone, l'eau et le gaz carbonique. En outre, le spectre n'est plus continu mais présente des bandes d'absorption. Pour mesurer l'effet de l'atmosphère on utilise l'air masse, défini par $AM=1/\cos \alpha$ ou α représente l'angle que fait la direction .

Du soleil avec la verticale. AM0 est utilisé pour préciser les conditions au-dessus de l'atmosphère. AM 1.5 étant celui atteignant le sol par temps clair (surface d'un mètre carré faisant un angle de 48° avec l'équateur). De plus, on distingue les spectres AM1.5D et AM1.5G qui correspondent respectivement au flux direct et au flux global (direct et diffus). La Figure I.4 donne ces spectres . Elle indique quelques semi-conducteurs utilisés pour les applications photovoltaïques ainsi que leurs énergies de gap E_g correspondantes [5] .

CHAPITER I : Énergie renouvelable

Dans notre cas nous adopterons la valeur de $1353 \text{ W/m}^2 (\pm 1,5\%)$. Ce flux, dit constante solaire varie cependant légèrement au cours de l'année, suivant les variations de la distance terre-soleil. En première approximation, on peut calculer la valeur de E en fonction du numéro du jour de l'année j par la relation suivante : $E = E_0 [1+0,033 \cos (0,984 j)]$
L'évolution annuelle est représentée par la Figure I.5 suivante :

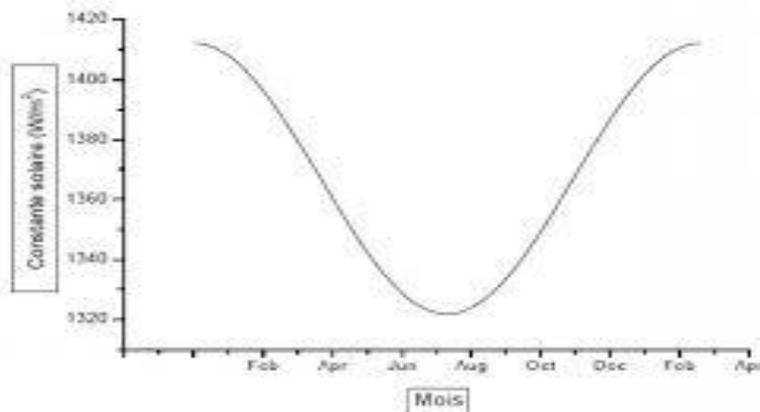


Figure I.5 Evolution annuelle de la constante solaire [11]

I.9. Composantes du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire arrivant au sol a au moins deux composantes : une composante directe I et une composante diffuse D, le tout formant le rayonnement global G [11] .

I.9.1. Rayonnement direct

Rayonnement solaire sous forme de rayons parallèles provenant du disque solaire sans avoir été dispersé par l'atmosphère .

I.9.2. Rayonnement diffus

C'est une partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi de multiples réflexions (dispersion) par l'atmosphère .

I.9.3. Rayonnement global

On appelle rayonnement global le rayonnement solaire parvenant au niveau du sol sur une surface horizontale, soit directement, soit après diffusion. Il s'exprime simplement comme la somme du rayonnement diffus et du rayonnement direct $G=I+D$.

CHAPITER I : Énergie renouvelable

I.9.4. Albédo du sol

C'est le rapport de l'énergie solaire réfléchi par une surface sur l'énergie solaire incidente. On utilise une échelle graduée de 0 à 1, avec 0 correspondant au noir, pour un corps sans aucune réflexion, et 1 correspondant au miroir parfait, pour un corps qui diffuse dans toutes les directions et sans absorption, tout le rayonnement électromagnétique visible qu'il reçoit. Certaines matières ont un albédo très variable, comme les nuages. En revanche, les corps solides ont bien souvent des albédos fixes qui caractérisent leur composition chimique. Par exemple, la lave a un albédo de 0,04, l'albédo du sable varie entre 0,25 et 0,30, celui de la glace entre 0,30 et 0,50, la neige (épaisse et fraîche) a son albédo qui peut atteindre jusqu'à 0,90. L'albédo moyen terrestre est de 0,2, toutes surfaces confondues Figure I.6 [8].

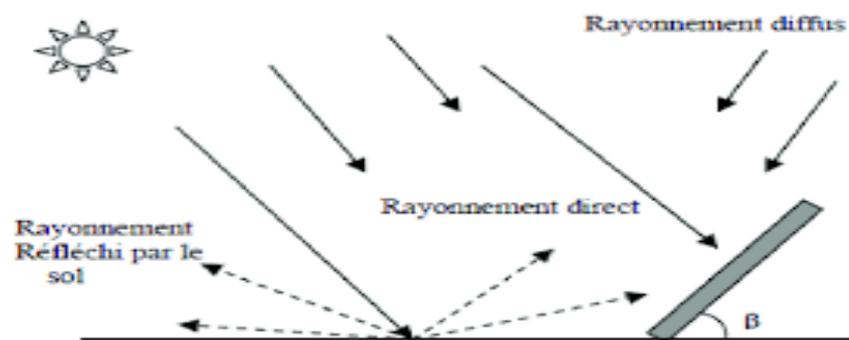


Figure I.6 Composantes du rayonnement solaire [11a].

I.10. Appareils de mesure

I.10.1. Mesure de la fraction d'insolation

La durée d'insolation est mesurée à l'aide d'un héliographe figure I.7, c'est un appareil simple constitué d'une sphère de verre focalisant les rayons du soleil sur une bande de papier graduée en heures. Ce papier spécial est brûlé lorsque le soleil brille et lorsque l'éclairement du rayonnement direct est supérieur à 120 W/m^2 .



Figure I.7 Compteur de durée d'ensoleillement [11b]

I.10.2. Mesure du rayonnement solaire global

On mesure la puissance du rayonnement solaire globale sur une surface horizontale grâce à un pyranomètre Figure I.8.

Un pyranomètre comprend une double coupelle de verre, un thermophile (série de thermocouples) et un système d'enregistrement de la force électromotrice produite par ce thermophile sous l'action d'un rayonnement. Quand l'instrument est exposé à la radiation solaire, une différence de température est créée entre les secteurs noirs et les secteurs blancs. Cette différence de température est détectée par la thermophile qui convertie l'énergie thermique en énergie électrique. Ce courant peut être mesuré et amplifié et le signal de millivolt est converti par un facteur de calibrage en un flux en watt par mètre carré. Les coupelles de verre filtrent la bande de longueurs d'onde à mesurer (en général de 0,3 à 3mm) et limitent la condensation de vapeur d'eau. Pour mesurer uniquement le rayonnement diffus, on ajoute un pare-soleil (bande métallique circulaire) qui protège le pyranomètre du rayonnement solaire direct. Le pyranomètre, appelé " solarimètre " dans le passé, fait partie de l'instrumentation classique des parcs météorologiques ; il est placé sur une surface horizontale [12] .



Figure I.8 Pyranomètre [12a] .

I.10.3. Mesure du rayonnement direct

Les radiations solaires directes peuvent être mesurées par un pyrhéliomètre Figure I.9 . Contrairement au pyranomètre un disque noir détecteur est placé à la base du tube dont l'axe est aligné avec la direction des rayons solaire, ainsi la radiation diffusée est bloquée par la surface du détecteur. Le pyrhéliomètre est continuellement pointé directement au soleil tout au long du jour. Cette grandeur est nulle lorsque le soleil est occulté par les nuages.

La radiation diffusée peut être déterminée par la soustraction de la radiation directe de la radiation globale.



Figure I.9 Pyrhéliomètre [12b]

I.11. Différents types d'énergies renouvelables

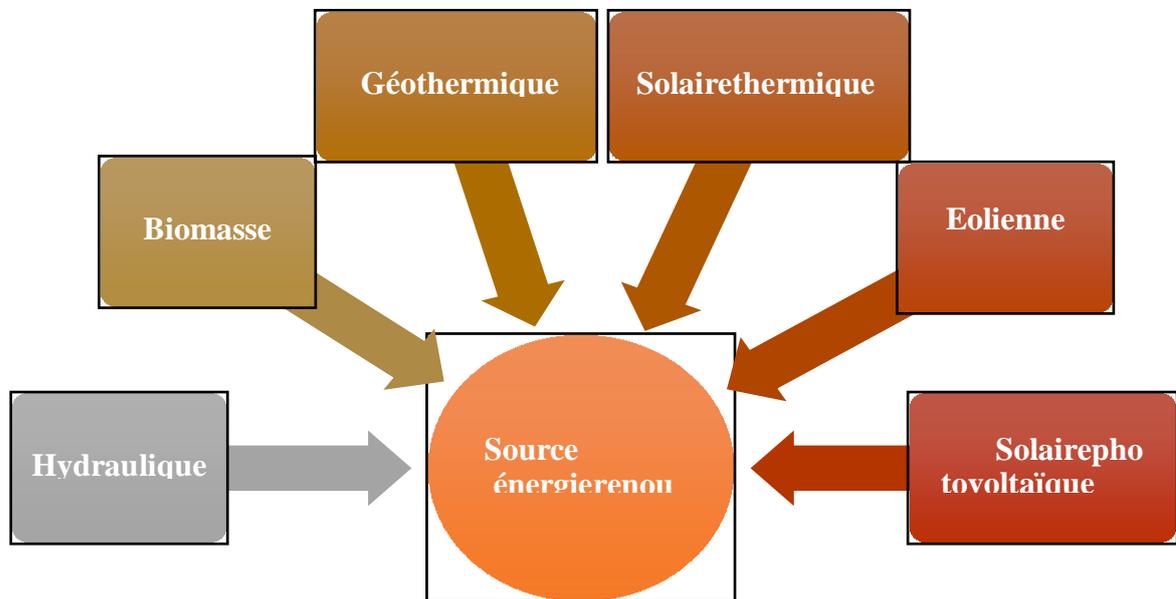


Figure I.10 Les différentes sources d'énergies renouvelables [12c]

I.11.1. Énergie solaire

Transformation de L'énergie solaire en électricité ou en chaleur à partir de panneaux ou de capteurs solaires. Le soleil, principale source des différentes formes d'énergies renouvelables disponibles sur terre. Il existe deux types:

I.11.2. Énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque convertit directement le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en électricité. Elle utilise pour ce faire des modules photovoltaïques composés de cellules solaires ou de photopiles qui réalisent cette transformation d'énergie Figure I.11 .



Figure I.11 module photovoltaïque [13]

I.11.3. Énergie solaire thermique

Le rayonnement solaire est le principe de l'énergie solaire thermique. Cette source d'énergie, par exemple, est utilisée pour le chauffage.

Pour utiliser l'énergie solaire thermique, des panneaux solaires doivent être installés sur le toit des maisons. Ces panneaux pourront réarranger la chaleur des rayons du soleil afin de permettre le réchauffement du liquide transportant l'information. L'information est ensuite transmise à un ballon tampon qui permet d'échanger des appareils de chauffage domestiques ou de l'eau chaude.

L'énergie thermique peut être utilisée directement ou indirectement :

- Directement au chauffage ou à l'eau domestique (serres, génie biologique, panneaux de chauffage solaire, chauffe-eau solaires) ou à la nourriture (cuisson solaire).
- Indirectement pour produire de la vapeur à partir du liquide de refroidissement pour actionner les turbines et ainsi obtenir de l'électricité (solaire thermique : centrales à tour, systèmes de réflecteurs paraboliques, système de réflecteurs cylindriques, systèmes de miroirs Fresnel) .

I.11.4. Energie hydraulique

Depuis les temps anciens, l'énergie hydraulique a été utilisée avec les moulins à eau 19ème siècle.

L'énergie hydraulique est l'utilisation de l'eau comme source de production.

L'électricité est l'énergie nécessaire à l'exploitation des usines et est plus écologique Figure I.12 .

CHAPITRE I : Énergie renouvelable

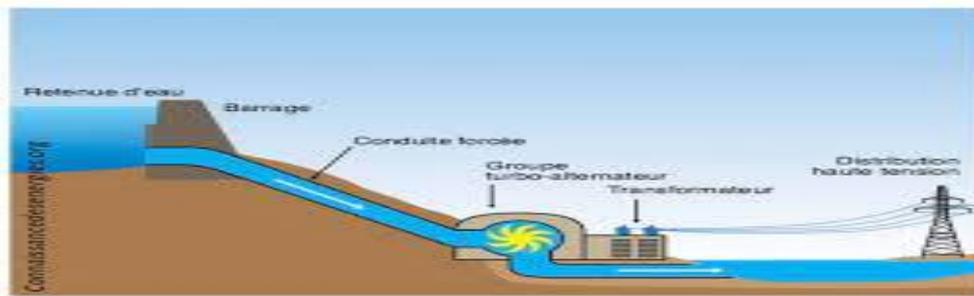


Figure 1.12 L'énergie hydraulique[15]

I.11.5. Énergie du vent

Les énergies éoliennes sont notamment caractérisées par des déplacements de masse d'air à l'intérieur de l'atmosphère. C'est l'énergie mécanique de ces déplacements de masse d'air qui est à la base de l'énergie éolienne. Cette énergie a été exploitée de différentes .

D'abord avec les moulins à vent, dès l'Antiquité puis en Europe du milieu du Moyen Âge au début du XXe siècle, avec les éoliennes pour le pompage de l'eau, pour de petites puissances, avec des éoliennes pour la production d'électricité, qui se sont développées plus récemment.

L'énergie éolienne consiste ainsi à utiliser cette énergie mécanique par l'intermédiaire d'un rotor et de pales. Néanmoins l'énergie éolienne est intermittente, et l'installation de parc éolien engendre des impacts paysagés et sonores FigureI.13 [13] .



Figure 1.13 Energie éolienne [13]

I.11.6. Energie géothermique

Le terme géothermique se partage en deux mots chez les grecs, le premier est "Gé" signifie la terre, le deuxième est "thermos" signifie la chaleur. Le soleil émet un rayonnement électromagnétique sous forme d'une puissance de $3,9.10^{26}$ W au-dessus de l'atmosphère, mais que $1,76. 10^{17}$ W de puissance reçue dans l'espace. Cette énergie peut être dissipée en surface sous forme des volcans, ou bien exploitée dans plusieurs applications, notamment

CHAPITER I : Énergie renouvelable

dans les chauffages si la température est plus basse et pour produire de l'électricité si la température est supérieure à 1500 C. L'avantage de cette énergie est qu'elle ne dépend pas des conditions atmosphériques. Actuellement, tous les sites de production de l'électricité d'origine géothermique, utilisent un réservoir « humide », constitué d'une roche chaude poreuse imprégnée d'eau Figure I.14 [14] et [15] .

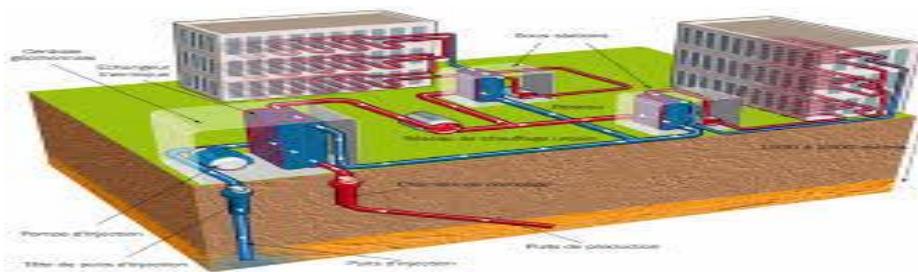


Figure I.14 L'énergie géothermique [15]

I.11.7. Biomasse

Le terme de la biomasse recouvre la production de matière organique résultant de la photosynthèse. L'électricité produite par cette énergie est dû à l'utilisation, soit des végétaux cultivés, soit des déchets organiques provenant de la consommation domestique, de l'industrie ou de l'agriculture [16] .

Il se peut que la quantité d'énergie consommée lors du transport sur une longue distance, dépasse celle transportée. Des différents types sont à considérer Figure I.15 .

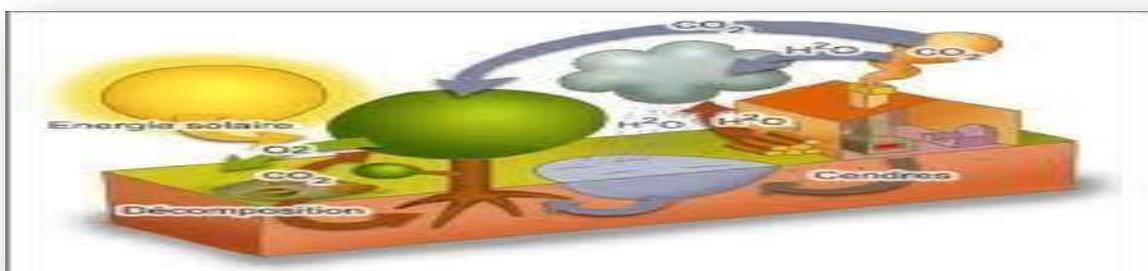


Figure I.15 Énergie Biomasse [17]

I.12. Avantages et Inconvénients

Comme nous pouvons le constater, les énergies renouvelables ne sont pas parfaites. Pour

CHAPITRE I : Énergie renouvelable

presque chaque avantage, il y a un inconvénient. Le plus grand de ceux-ci, c'est le prix. En effet, éoliennes, barrages hydrauliques, panneaux solaires, installation géothermique ... Tout c'est très coûteux, et les gouvernements ont du mal à l'accepter. C'est pour ça que les énergies fossiles sont encodées utilisées en masse, car elles produisent plus d'énergie, même si elles s'épuisent de plus en plus vite.

Les energies	Les A avantages	Les Inconvénient
L'énergie Solaire	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Une bonne source d'énergie renouvelable. ✓ Une énergie non-polluante. ✓ La lumière ne coûte rien. Peut des outient et du rentlong temps. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Il n'y a pas de lumière la nuit. ✓ A besoin de beaucoup d'espace. ✓ Le placement peut modifier l'énergie pris dans les panneaux. ✓ Panneau fragile.
L'énergie Hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Une énergie naturelle non-polluante. ✓ L'eau et autour du monde entier. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Une perturbation de l'équilibre écologique. ✓ Grand barrage coûteux.
L'énergie Éolienne	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Il y toujours du vent dans un même endroit, donc jour et nuit. ✓ Tout le mécanisme est dans l'éolienne donc pas de grandes usines. ✓ Une énergie renouvelable donc non-polluante. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Un impact visual. ✓ Le prix. ✓ La migration des oiseaux .
L'énergie Géothermique	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pollution non-toxique Beaucoup d'énergie pour peu de place. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Repartitions des sources. ✓ Le transport de l'énergie de s'usines. ✓ Installation contuse .

Tableau I.1 Avantages et inconvénients des énergies renouvelables

I.13. Conclusion

Dans cette partie, ont été données des explications générales sur le rayonnement solaire ainsi que notion fondamentale d'astronomie de différentes composantes du rayonnement solaire.



CHAPITER II : Différents types de capteur solaire hybride

CHAPITERII : Les différents types de capteur solaire hybride

II.1. Introduction

Les usages thermiques de l'énergie solaire rencontrent un réel intérêt, moins pour des raisons économiques –la filière solaire est en phase de développement -- que pour leurs capacités à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Sur le plan technique, c'est tout d'abord au niveau de l'enveloppe des bâtiments qu'il faut intervenir. Alliés à une bonne isolation et une maîtrise des pertes dues au renouvellement d'air, les apports solaires directs par les ouvertures des bâtiments constituent une voie économique et sûre. Le deuxième axe d'intervention consiste à utiliser des systèmes de production d'eau chaude, de chauffage, voire de climatisation, qui utilisent l'énergie solaire associée à une énergie conventionnelle. Les chercheurs rêvent toujours de bâtîmes énergétiquement autonomes, ses constructions qui entretiendront les relations équilibrées avec les réseaux auxquels elles seront reliées. Ainsi les installations solaires photovoltaïque produiront dans la journée une quantité d'électricité équivalente à la consommation et le solaire thermique sera mise à contribution pour réduire les besoins de chauffage, d'eau chaude et de climatisation. Ces nouveaux « bâtiments à énergie positive » s'imposeront par la volonté des consommateurs, et donc des gouvernements qui intégreront cette démarche dans les réglementations régissant les nouvelles constructions. Cela se traduira par une plus grande fusion de l'énergie solaire avec l'architecture associée à une croissance des marchés et à une baisse continue de prix [18]. L'énergie solaire thermique est une forme d'énergie solaire. Elle désigne l'utilisation de l'énergie thermique du rayonnement solaire dans le but d'échauffer un fluide (liquide ou gaz). L'énergie reçue par le fluide peut être ensuite utilisée directement (eau chaude sanitaire, chauffage, etc.) ou indirectement (production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir de l'énergie électrique, production de froid, etc.) [19]. Le capteur solaire est l'instrument utilisé pour transformer le rayonnement solaire en chaleur. Les principes physiques fondamentaux sur lesquels se basent cette production d'énergie sont notamment l'absorption, et la conduction thermique [19] .

II.2. Capteur solaire

Les capteurs solaires sont une solution écologique pour la production de l'eau chaude sanitaire, mais peuvent également contribuer au chauffage des pièces. Ils peuvent être utilisés en combinaison avec toute autre méthode de production de chaleur utilisée en cas de faible ensoleillement (chauffage au bois, pompe à chaleur, chaudière à mazout ou à gaz). Les

CHAPITERII : Les différents types de capteur solaire hybride

capteurs solaires peuvent se présenter sous la forme d'installations compactes ou de systèmes étudiés pour des applications spécifiques. Les installations compactes sont dimensionnées sur la base de valeurs standardisées. Par contre, les systèmes spécifiques requièrent l'intervention de concepteurs spécialisés et l'utilisation d'outils de calcul professionnels.

II.3. Panneau photovoltaïque

Les panneaux solaires sont constitués de l'assemblage en série et en parallèle de plusieurs modules photovoltaïques. Ces modules sont composés de la connexion en série d'un certain nombre de cellules solaires.

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 la plupart du temps, le silicium). En heurtant 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 microsoudés en surface. Deux principaux types de cellules au silicium se distinguent : les cellules cristallines (cSi) et 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%. Les cellules monocristallines offrent un meilleur rendement électrique mais font appel à une méthode de production plus complexe et donc

coûteuse. En effet, l'obtention d'un cristal pur nécessite un procédé de fabrication consommant moins d'énergie. Elles ont ainsi un coût de production plus faible malgré leur rendement légèrement inférieur à celui des cellules monocristallines. Quant aux cellules PV en silicium amorphe, elles ont notamment été utilisées pour le développement de capteurs solaires PV/T à eau (dont celui développé dans le cadre du PRI 6.2 [20]) en raison de la faible sensibilité de leur rendement électrique à leur température de fonctionnement. Cependant, 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. Elles sont adaptées aux installations solaires PV/T hybrides à grande surface car la faiblesse du

CHAPITERII : Les différents types de capteur solaire hybride

rendement électrique est compensée par un bon rendement thermique. En dehors des cellules PV à base de silicium, il existe des cellules en Cadmium Telluride (Cds-CdTe), en Diséléniure Cuivre Indium (CIS) ou en matériaux organiques dont le rendement est faible, malgré leur coût plus bas par rapport aux cellules en silicium cristallin. Des cellules solaires en Arséniure de Gallium (GaAs) généralement adaptées à des applications spatiales, sont de même commercialisées. Mais, elles peuvent être employées pour des applications terrestres à grande échelle. Malgré leur coût très élevé, elles présentent un haut rendement électrique (supérieure à 30%). Cependant, elles contiennent un matériau potentiellement toxique, l'arséniure. Enfin, en 2001, environ 80% des cellules solaires produites dans le monde .

II.3.1. Principes

Les capteurs solaires thermiques constituent le cœur des installations destinées à transformer l'énergie transmise par le soleil en chaleur. Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire, parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'utilisation ou de stockage. Une isolation thermique est disposée à l'arrière et sur la périphérie du capteur pour limiter les déperditions par conduction. Différentes configurations conduisent des types de capteurs distincts, dont les performances varient en fonction des domaines d'utilisation .

II.3.2. Différentes technologies de la cellule solaire

Pratiquement toutes les cellules solaires disponibles aujourd'hui sont réalisées à base de silicium .

Ce semi-conducteur est principalement employé dans la fabrication de puces informatiques. Les cellules solaires sont construites avec la même matière première et les mêmes procédés de base. Elles existent en différentes formes et technologies :

•Cellules monocristallines

Chaque cellule est découpée dans un monocristal de silicium. Ce type de cellule présente le plus haut pouvoir de conversion.

•Cellules poly cristallines

Les cristaux de silicium qui les composent sont bien visibles. Leur rendement est légèrement inférieur à celui des cellules monocristallines, ce qui justifie leur coût moindre.

•Cellules amorphes

CHAPITERII : Les différents types de capteur solaire hybride

Ce type de cellule ne possède pas de structure cristalline. Leur coût de fabrication et leur rendement sont légèrement inférieurs par rapport aux autres types cités précédemment. Elles sont généralement utilisées dans des appareils portables (calculatrices, ...). Les techniques de production les plus récentes permettent de fabriquer des cellules à couches minces de grande surface, qui peuvent par exemple être utilisées dans les éléments de façade.

•Cellules en couche mince

La technologie « couche mince » désigne un type de cellule (ou module) obtenu par diffusion d'une couche mince de silicium amorphe sur un substrat (verre). Plusieurs technologies (fonction de l'alliage utilisé) sont industrialisées à ce jour.

II.4. Types des capteurs solaires

II.4.1. Capteur sans vitrage

Également, appelé « capteur moquette », il est constitué de réseau de tubes noirs, généralement en matière plastique souple de type élastomère, l'EPDM (éthylène propylène diène monomère) [21]. Le Solaire thermique (TH) 22 nécessitant pas une Température supérieure à 30 °C (l'eau de piscine par exemple). Ce type de capteur est facile à intégrer, on peut les pros sûrs le sol (à proximité de la piscine) ou sur la toiture. Le rendement du capteur moquette est très bon pour produire des températures proches de la température de l'air ambiante .

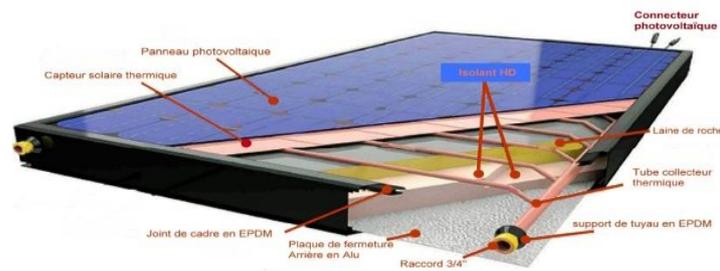


Figure II.1 Capteur sans vitrage [21]

II.4.2. Capteur sous vide

L'utilisation de ce type est très favorable dans le cas où la température de fonctionnement requise est très élevée ($>100^{\circ}\text{C}$), ou lorsque la température ambiante est faible (région de montagne). On distingue deux types : a) Tubes sous vide à flux direct : Il est constitué d'une série de tubes de verre dans lesquels passe un autre tube collecteur de chaleur. La paroi des

CHAPITERII : Les différents types de capteur solaire hybride

tubes est double, comme celle d'une bouteille thermos, et on y fait le vide afin de limiter les pertes thermiques par convection.



Figure II.2 Capteur sous vide [21]

Tubes sous vide à flux direct

Il est constitué d'une série de tubes de verre dans lesquels passe un autre tube collecteur de chaleur. La paroi des tubes est double, comme celle d'une bouteille thermos, et on y fait le vide afin de limiter les pertes thermiques par convection.

L'effet thermos obtenu permet d'obtenir un meilleur rendement. On notera aussi que les pertes de puissances par convection et conduction sont quatre fois moins que pour un capteur plan dans les mêmes conditions de température extérieure .

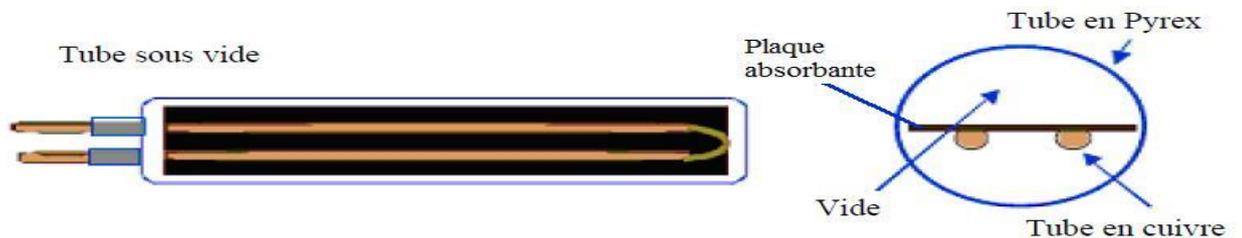


Figure II.3 Principe du capteur sous vide à flux direct [21]

Tubes sous vide à caloduc

Dans les tubes sous vide à caloduc, le tube de l'absorbeur contient une petite quantité de liquide (fluide organique, alcool...). Sous l'action du rayonnement solaire, le liquide se transforme en vapeur qui monte en haut du tube ou elle se condense au contact de l'échangeur et transfère la chaleur au fluide caloporteur. Les tubes doivent impérativement être inclinés Figure 4. Le principal avantage d'un système à caloduc en regard du précédent est de pouvoir remplacer un tube défectueux sans avoir à démonter l'ensemble du capteur .

CHAPITERII : Les différents types de capteur solaire hybride

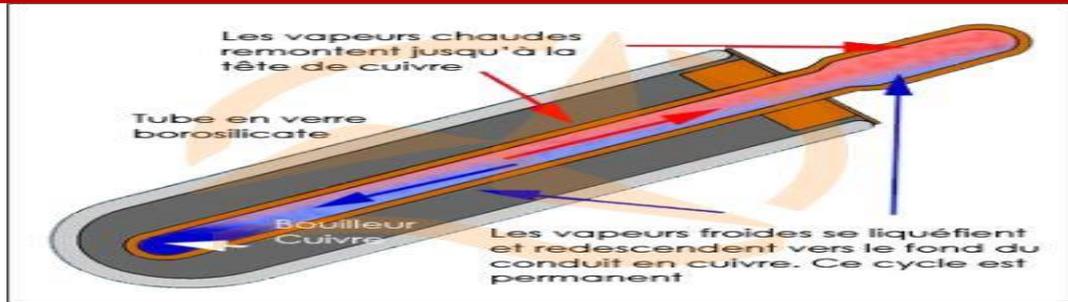


Figure II.4 principe d'un capteur sous vide à caloduc [21]

II.4.3. Capteurs plans vitrés

C'est les capteurs munis d'une couverture transparente, ils sont les plus utilisés (Figure

5). Les principaux éléments constituant un capteur plan sont :

- Le coffre (ou boîtier)
- L'absorbeur
- Un circuit de fluide caloporteur
- Isolant thermique sur la face arrière
- La couverture transparente (généralement vitrage)

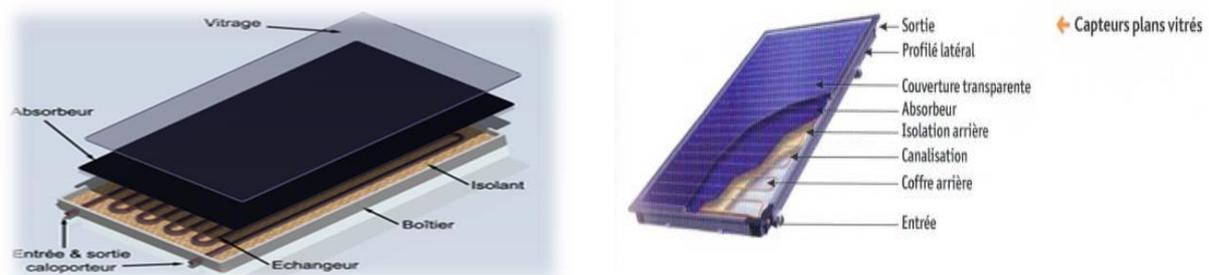


Figure II.5 Capteur plan vitre [21a]

II.5. Types des capteurs solaires hybrides PVT

II.5.1. Capteur solaire V/T à air

Compte tenu de la faible demande en chauffage solaire sur le marché, peu d'études ont été menées sur les capteurs solaires PV/T à air isolés ou intégrés au bâti en comparaison avec les capteurs solaires PV intégrés. Ainsi, par exemple, en 1998, Sandberg et Moshfegh [22] proposent l'étude théorique et expérimentale des phénomènes thermiques et

Aérauliques au sein d'une lame d'air permettant la ventilation naturelle en sous – face d'une façade photovoltaïque et d'une toiture comportant des panneaux PV.

CHAPITERII : Les différents types de capteur solaire hybride

Les études paramétriques menées par ces auteurs ont montré que les dimensions et la position des modules PV le long de la lame, ont une forte influence sur le comportement thermique et aéraluque du système .

En 2000 Hegazy compare, les performances thermiques et électriques de quatre capteurs solaires PV/T hybrides à air qui sont différenciés par le mode de refroidissement (mécanique) des panneaux PV Figure II. 6 [23].

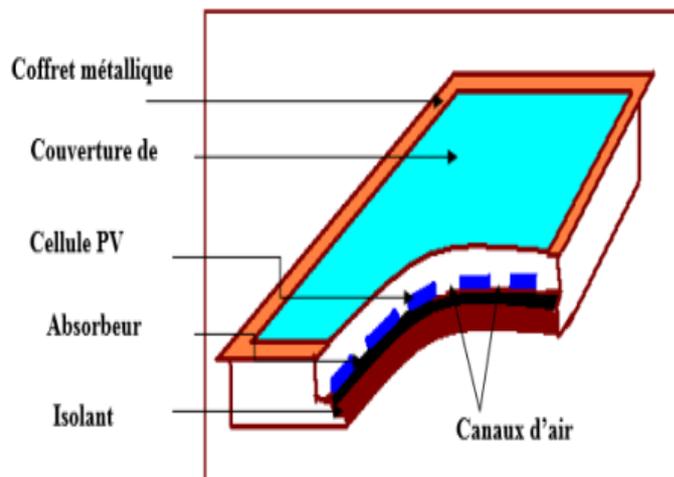


Figure II.6 Schéma du capteur solaire hybride PVT à air [23]

II.5.2. Capteur solaire PV/T hybrides à eau

En 1997, Fujisawa et zain [24] ont conçu et construit un capteur solaire PV/T hybride à eau sur une cité universitaire à Tokyo, au Japon. Ils étudient ainsi un composant solaire hybride composé d'un capteur solaire vitré à liquide caloporteur et à absorbeur plan en aluminium non- sélectif, et de modules PV en silicium mono- cristallin (rendement électrique de 13 %).

Ce capteur solaire a une longueur de 1.3 m et un largeur de 0.5 m. Cette analyse a consisté en l'évaluation des performances énergétiques du composant étudié. Ainsi, une étude expérimentale in situ a été menée sur ce capteur solaire vitré et sur un capteur solaire similaire mais sans vitrage en vue d'estimer et de comparer leurs performances énergétiques annuelles. Les résultats obtenus ont été confrontés à ceux d'un capteur solaire PV et d'un capteur solaire thermique.

Il est noté que le capteur solaire hybride vitré produit autant d'énergie que le capteur solaire thermique . Le capteur solaire hybride non vitré produit le moins d'énergie thermique mais offre la plus grande quantité d'énergie électrique. Le capteur solaire PV a une surface de 0.48

CHAPITERII : Les différents types de capteur solaire hybride

m² et le capteur solaire thermique plan a une surface de 0.61 m². Il est montré qu'en ce qui concerne le gain total d'énergie (thermique et électrique), le système le plus performant est le capteur solaire hybride vitré qui a une production totale de 615 kWh/an, suivi du capteur solaire thermique plan (575 kWh/an), du capteur solaire hybride non vitré (480 kWh/an) et enfin du capteur solaire PV (72.6 kWh/an) .

Ils ont aussi constaté que le capteur solaire PV/T hybride vitré, produit presque autant d'énergie thermique et électrique que le capteur solaire PV et le capteur solaire thermique plan réunis .

En 2001, Trip Anagnostopoulos [25] effectue l'étude d'un capteur solaire hybride faisant appel à deux types de fluides caloporteurs disposés de manière superposée. Trois configurations ont été conçues et analysées expérimentalement afin d'évaluer le comportement de chacune des formes de production thermique (à air ou à eau)Figure II .7 .



Figure II.7 Le capteur solaire PV/T hybride à eau [26]

II.5.3. Capteur PVT de concentration

Le capteur PVT à concentration veut dire la concentration du rayonnement solaire surin capteur hybride PVT . Garg et Adhikari (1999) ont démontré l'utilisation de plusieurs CPCs (capteur de concentration parabolique) tronqués dans un module simple de PVT. Ils ont constaté que leur capteur pour le chauffage à air, avec un taux de concentration de 3, a eu comme conséquence de meilleures efficacités une fois intégrées dans un système .

Un système semblable a également démontré par Othman et al (2005). Cependant, ou Garg et Adhikari ont employé un passage simple pour chauffer l'air, ils ont utilisé un double passage

CHAPITERII : Les différents types de capteur solaire hybride

avec une surface à ailettes arrière dans leur système. Le but de la surface à ailettes était d'améliorer le transfert thermique sur le visage arrière du module PV. Le système de Trip Anagnostopoulos et al (2002) (un système de chauffage à air) est peut-être l'incarnation la plus simple d'un concentrateur de PVT. Comme mentionné, Ceci a utilisé un réflecteur plat pour diriger le rayonnement solaire supplémentaire sur un capteur PVT. Cependant la concentration du rayonnement solaire peut également être réalisée avec les objectifs paraboliques composés les réflecteurs des concentrations (CPC), linéaires ou circulaires de Fresnel ou avec des plaques paraboliques. Un arrangement typique d'un capteur PVT de CPC est montré sur la Figure 8 .

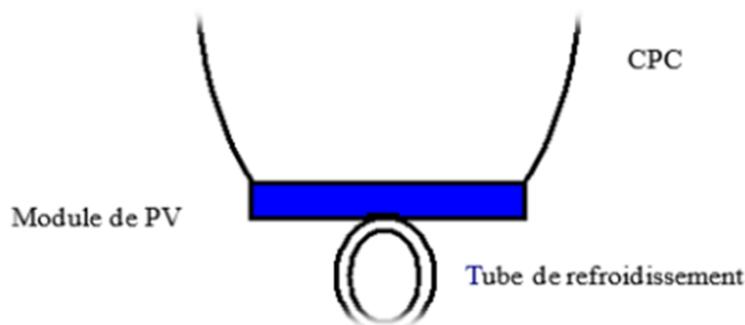


Figure II.8 Capteurs PVT de concentration [26a]

Comme mentionné, la concentration par les réflecteurs linéaires de Fresnel est également possible. Rosell et Al (2005) ont démontré un système basé sur cette méthode qui a eu un rapport de concentration de 11. Ils pouvaient obtenir une efficacité thermique maximum approximativement de 60 % de leur système sans la charge électrique. D'ailleurs , ils ont identifié le fait qu'une des résistances thermiques principales dans leur capteur PVT était celle entre la cellule PV et le plat d'amortisseur sur lesquels il a été collé. Une autre aération sur la ligne focalisant des collecteurs PVT est les GERCURES. Actuellement en service à une des résistances à l'université nationale australienne (ANU). Ce système, discuté par Coventry (2005), utilise un réflecteur parabolique de cuvette avec un module de PVT monté à son foyer .

Le système a un taux de concentration de 37 et a un maximum rapport efficacité combinée de 69.Coventry a noté que le système ait eu une efficacité thermique inférieure que ceux rapportés dans d'autres études, les pertes de chaleur du système de GERCURES où beaucoup inférieur, en raison de son plus petit secteur de chauffage. Coventry a également noté que les imperfections dans la forme de concentrateur ont eu comme conséquence l'illumination non

CHAPITERII : Les différents types de capteur solaire hybride

uniforme affectant de ce fait l'exécution électrique. Kribus et Al (2006) ont discuté la conception d'un système hybride PVT en utilisant un concentrateur parabolique de petite taille. A la différence des systèmes discutés plus tôt, leur conception de système pouvait fournir le chauffage à très hautes températures. Ils proposent que de tels systèmes puissent être employés dans des applications résidentielles pour conduire les systèmes de refroidissement à absorption .

II.5.4. Capteur PVT à base de cellules en couches minces

Parmi les nombreuses technologies possibles en couches minces, les plus prometteurs sont ceux à base de semi-conducteurs composés, en particulier : le silicium amorphe (a-Si), Cadmium Telluride (CdTe), Cuivre Indium Sélénium (CIS) et Cuivre Indium Gallium Sélénium (CIGS).

De nombreux auteurs ont adopté différents sujets de PV et des capteurs thermiques, tels qu'en 2011 GN Tiwari, RK Mishra et S. C Solanki ont présenté un examen des différents modules photovoltaïques (c-Si, p-Si, r-Si, a-Si, CdTe, CIGS) et leurs applications électriques et thermiques telles que le chauffage thermique, le séchage, l'éclairage de jour, etc...., en plus de la production d'énergie, alors l'économie sera en sa faveur pour planificateur d'énergie et le système de PVT sera plus durable pour la production d'énergie décentralisée et la récolte [26].

En 2013 R. K Mishra et G. N Tiwari ont essayé d'évaluer et de comparer les matrices d'énergie d'un collecteur photovoltaïque thermique hybride à eau (HPVT) en mode de température de collecte constante avec cinq types différents de modules photovoltaïques à savoir : mono et poly silicium amorphe de silicium cristallin (couche mince), CdTe et CIGS . Ils obtiennent que le silicium mono cristallin soit la meilleure alternative pour la production d'énergie électrique et thermique .

De la même manière les systèmes avec différentes technologies, en 2014 GN Tiwari et Ankita Gaur également discutent l'application de la (HPVT), il obtient que le module PV avec exposition d'écoulement de l'eau la température du module inférieur à celui sans débit d'eau menant à une plus grande efficacité électrique efficacité électrique moyenne de PV module avec et sans écoulement a été trouvé 7,36% et 6,85% .

CHAPITERII : Les différents types de capteur solaire hybride

Les cellules solaires en couches minces sont une approche prometteuse pour le photovoltaïque terrestre et l'espace et après une grande variété de choix en termes de conception et de fabrication du dispositif .

II.6. Conclusion

Ces travaux sont axés sur étude historique d'un capteur électrothermique hybride et la construction capteur à base de cellules à membrane mince. Déterminez ensuite les niveaux de température de ces différentes couches et étudiez leur efficacité électrique et thermique et comparez finalement ces performances avec d'autres capteurs hybrides.



CHAPITER III : Conception d'un nouveau capture

III.1. INTRODUCTION

L'intérêt grandissant pour le développement de Bâtiments à haute efficacité énergétique est fortement lié aux efforts récents concernant la réduction des émissions de gaz à effet de serre et aux réserves limitées en ressources énergétiques fossiles ou fissiles. Dans ce contexte, l'intégration à grande échelle de modules photovoltaïques (PV) intégrés est l'une des directions privilégiées devant conduire à une production locale d'énergie.

Cependant, l'intégration de tels composants directement dans le bâtiment peut conduire à des risques de surchauffe des matériaux mais aussi du composant PV lui-même. La production électrique des modules PV étant liée à leur température de fonctionnement, le risque de surchauffe peut engendrer une perte importante de rendement. Dans ce contexte particulier, l'utilisation de capteurs hybrides Photovoltaïque-Thermique (PV-T) peut permettre l'évacuation et la valorisation de la chaleur résiduelle. Un capteur photovoltaïque thermique (PV/T) est un capteur solaire hybride permettant de convertir une partie de l'énergie solaire captée en électricité et de valoriser l'énergie thermique habituellement perdue sous forme de chaleur. Le concept consiste à superposer les deux fonctions énergétiques électrique et Thermique.

Dans ce type de composant hybride, les cellules PV sont en contactes à un échangeur de chaleur dans lequel circule un fluide caloporteur. Plusieurs configurations de capteur existent et diffèrent selon la nature du fluide utilisé (air ou eau), le type d'absorbeur (concentrateur, plan.) et selon le type de systèmes auxquels est raccordé (eau chaude sanitaire, chauffage domestique).

III.2. Description

Les échangeurs de chaleurs sont des appareils permettant de transférer de la chaleur entre deux fluides à des températures différentes. Dans la plupart des cas, les deux fluides ne sont pas en contact, et le transfert s'effectue à travers une surface d'échange. Au sein de la paroi séparatrice, le mécanisme de transmission de la chaleur est la conduction, et, sur chacune des deux surfaces de contact avec les fluides, ce sont presque toujours les phénomènes de convection qui prédominent.

CHAPITRE III : CONCEPTION D'UN NOUVEAU CAPTURE

Dans de nombreux cas, les fluides restent monophasiques, qu'ils soient gazeux ou liquides .

Il existe toutefois trois grandes catégories d'échangeurs dans lesquelles surviennent des changements de phase : les vaporiseurs ou évaporateurs où l'on vaporise un liquide, les condenseurs où une vapeur est liquéfiée, et les vapocondenseurs dans lesquels les deux fluides changent de phase .

III.3. Echangeur de chaleur

Les échangeurs de chaleur sont des appareils où le transfert de chaleur à basses et moyennes températures se fait sans changement de phase.

Le principe général d'un échangeur de chaleur consiste à faire circuler deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique. De manière générale, les deux fluides sont mis en contact thermique à travers une paroi le plus souvent métallique, ce qui favorise les échanges de chaleur. On a en général un fluide chaud qui cède de la chaleur à un fluide froid [27] .

III.3.1. Echangeur faisceau et calandre

Ce type d'échangeurs est de loin le plus répandu dans les unités de transformations des industries chimiques et pétrochimiques. Un faisceau de tubes est situé à l'intérieur d'une calandre dans laquelle circule le deuxième fluide. Cette conception se retrouve également dans les condenseurs, les rebouilleurs et les fours multitubulaires.

Le faisceau est monté en deux plaques en communication avec des boîtes de distribution qui assurent la circulation du fluide à l'intérieur du faisceau en plusieurs passes .

Le faisceau muni de chicanes est logé dans une calandre possédant des tubulures d'entrée et de sortie pour le deuxième fluide circulant à l'extérieur des tubes du faisceau selon un chemin imposé par les chicanes [27] .

III.3.2. Calandre

C'est l'enveloppe métallique entourant le faisceau tubulaire, et généralement l'acier au carbone est le matériau le plus couramment utilisé pour la construction des calandres.

CHAPITRE III : CONCEPTION D'UN NOUVEAU CAPTURE

Pour un diamètre nominal inférieur à 24", la calandre est constituée par un tube d'acier, pour des pressions de service inférieures à 20 kg/cm². Au-delà de 24 la calandre est réalisée à partir de plaques d'acier roulées et soudées Figure III.1 .

A chaque extrémité sont soudées les brides qui porteront le couvercle et la boîte de distribution. Les tubulures d'entrée et de sortie sont soudées avec plaque de renforcement ou non, selon la pression de service.

Enfin la calandre pourra être équipée d'anneaux pour le levage et portera la plaque d'identité de l'appareil.

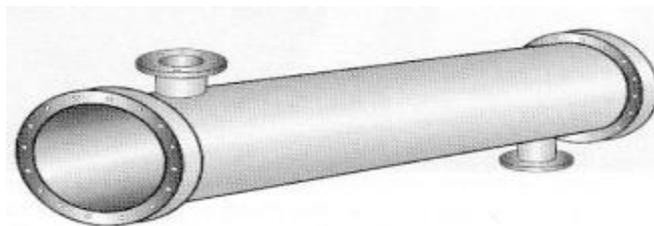


Figure III.1 Calandre d'un échangeur faisceau et calandre [27]

III.3.3. Plaques tubulaires

Ce sont des plaques percées supportent les tubes à leurs extrémités, leurs épaisseurs varient entre 5 & 10 cm Figure III.2 .

Les tubes généralement sont fixés par : mandrinage, du détonnage, et par soudage dans les applications à haute pression.



Figure III.2 Figure d'une plaque tubulaire [27]

III.3.4. Faisceau

C'est l'ensemble des tubes constituant le faisceau, les épaisseurs de tubes sont normalisées selon le calibre BWG (Birmingham Wire Gage) .

NB : les conditions de fonctionnement imposent le choix du matériau.

CHAPITRE III : CONCEPTION D'UN NOUVEAU CAPTURE

Exemple :

- Acier au carbone pour usage général.
- Aciers alliés pour les produits corrosifs et les températures élevées.
- Aluminium ou cuivre pour les très basses températures.

La perforation des trous dans les plaques tubulaires est normalisée ; elle s'effectue selon une disposition soit au pas carrela Figure III.3 soit au pas triangulaire la Figure III.4 .

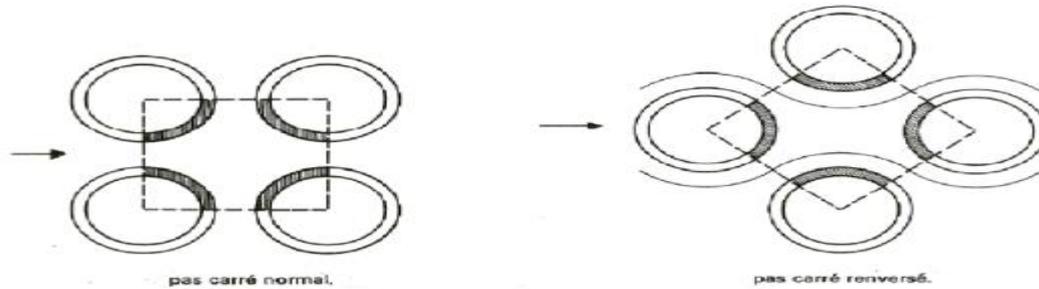


Figure III.3 Types de pas carré [27]

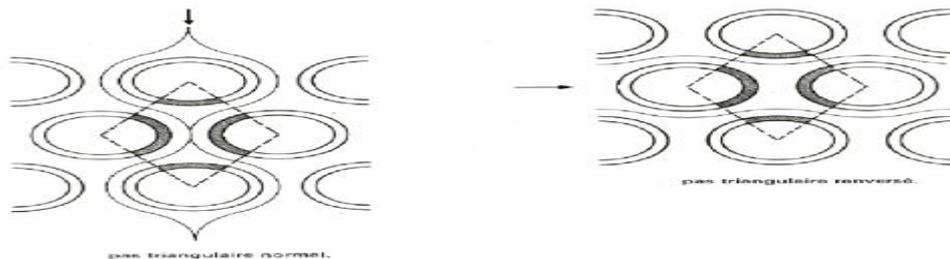


Figure III.4 Types de pas triangulaire [27]

III.4. Echangeur double-tube

Ces échangeurs sont constitués par des éléments rectilignes de deux tubes concentriques, raccordés à chaque extrémité par des coudes. Tous les éléments de l'appareil sont assemblés par raccords qui permettent un démontage rapide en vue du nettoyage ou du remplacement des tubes. L'expansion thermique entre tubes intérieur et extérieur s'effectue au travers de presse-étoupes. L'ensemble est monté sur un bâti parallélépipédique transportable.

Assemblage faisceau –calandre [27] .

On distingue trois classes d'appareils :

III.4.1. Échangeur à plaque tubulaire fixes

Celles-ci peuvent être directement soudées sur la calandre. De construction peu onéreuse, ces appareils permettent de loger le maximum de tubes à l'intérieur de l'enveloppe, mais ils ne

CHAPITRE III : CONCEPTION D'UN NOUVEAU CAPTURE

peuvent être par voie chimique. Leur utilisation que la différence de température entre les fluides chaud et froid donc est suffisamment faible pour que la dilatation ou la contraction du faisceau soit raffinée reste Figure III.5.

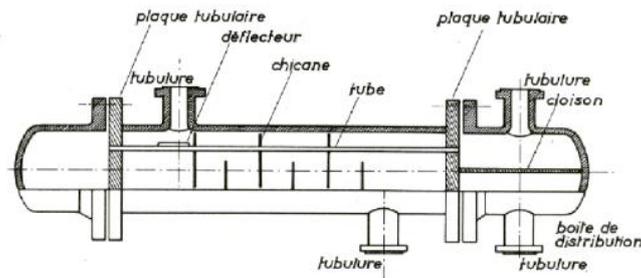


Figure III.3 Échangeur à plaque tubulaire fixes [27]

III.4.2. Échangeur à tête flottante

Une des plaques tubulaires est fixe, bloquée entre les brides de la calandre et de la boîte de distribution. La seconde plaque, d'un diamètre inférieur, porte la boîte de retour et peut coulisser librement à l'intérieur du capot qui ferme la calandre. Ces appareils, permettant l'expansion thermique du faisceau ainsi que son nettoyage mécanique, constituent la presque totalité des échangeurs utilisés en raffinerie Figure III.6.

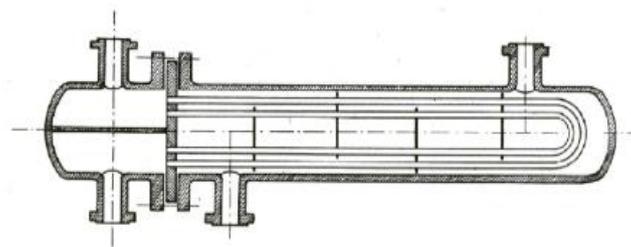


Figure III.4 Échangeur à tête flottante [27]

III.4.3. Échangeur à tubes en U

L'utilisation de tubes coudés supprime une plaque tubulaire, tout en conservant les propriétés d'expansion de la tête flottante. L'économie réalisée par le coût d'une plaque ces faisceaux seront surtout utilisés dans les rebouilleurs à vapeurs Figure II.1.7.

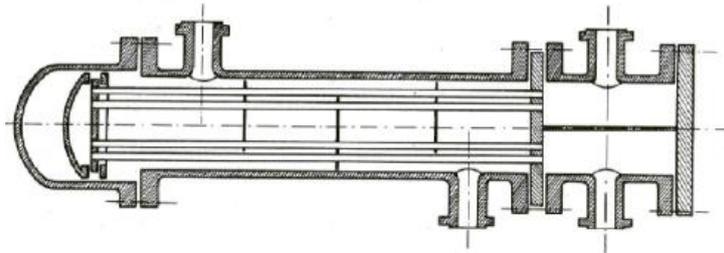


Figure III.5 Échangeur à tubes en U [27]

III.4.4. Echangeur double-tube

Ces échangeurs sont constitués par des éléments rectilignes de deux tubes concentriques, raccordés à chaque extrémité par des coudes. Tous les éléments de l'appareil sont assemblés par raccords qui permettent un démontage rapide en vue du nettoyage ou du remplacement des tubes. L'expansion thermique entre tubes intérieur et extérieur s'effectue [27]au travers de presse-étoupes. L'ensemble est monté sur un bâti parallélépipédique transportable Figure III.8 .

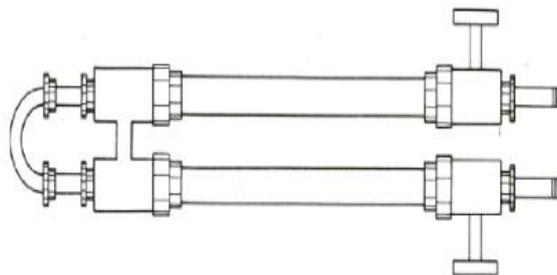


Figure III.6 Echangeur double –tube [27]

Les tubes utilisés sont généralement en acier, de caractéristiques I.P.S. et Schedule 40; les longueurs effectives utilisées couramment, sont de 3,6, 4,5 ou 6 m. Ces appareils sont intéressants pour les facilités qu'ils offrent au point de vue démontage et transformation. Ils réalisent un contre-courant pur qui se traduit par un bon rendement. Par contre, ils présentent les inconvénients suivants :

- Risques de fuite aux raccords

CHAPITRE III : CONCEPTION D'UN NOUVEAU CAPTURE

- Flexion du tube intérieur si la longueur est importante
- Surface de transfert très faible pour le volume global de l'appareil par suite du rayon minimal des coudes qui limite le rapprochement des tubes.

Les plus grandes surfaces réalisées sont d'environ 15 m². L'utilisation de ces appareils est donc restreinte et limitée aux produits sales, très chauds et de faible débit .

Typologie de l'échangeur à faisceau tubulaire vertical

Avantages	Inconvénient	Utilisation
Faible encombrement L'échangeur peut être plein de condensat Parfaitement adapté à l'échange vapeur haute pression/eau	Formation de poche d'air	Vapeur HP/eau Eau surchauffée/eau Fluide thermique/eau Fumées/eau Procès

III.5. Capteur solaire plan à eau

III.5.1. Bilan thermique du capteur

Un modèle mathématique décrivant un capteur solaire plan considérant les propriétés transitoires de sa différente zone. Dans ce modèle proposé, le volume de commande analysé du capteur solaire plan contient un tube qui est divisé en quatre nœuds (couverture en verre, échangeur de chaleur , fluide et l'isolation) perpendiculaire à la direction d'écoulement de liquide Figure III.9 .

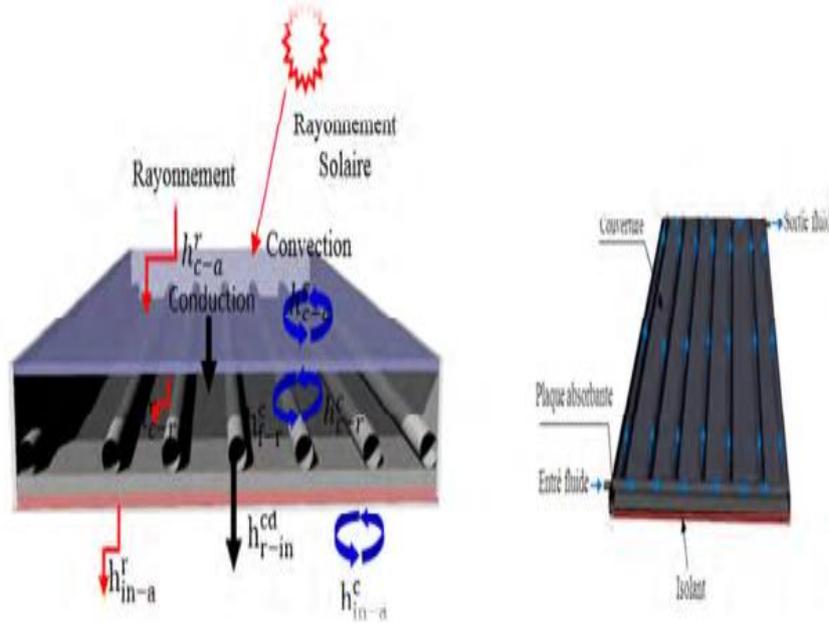
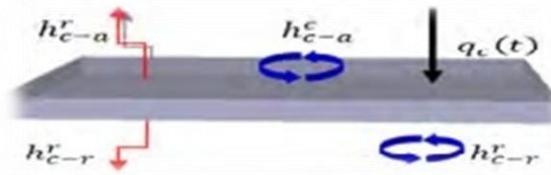


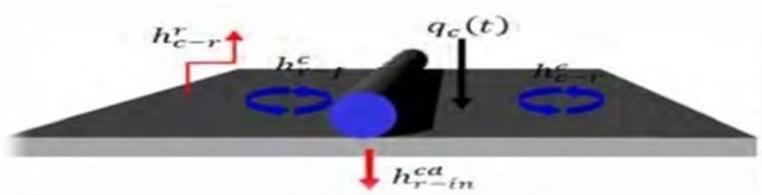
Figure III.7 Capteur thermique plan à eau

Bilan énergétique de la couverture transparente



$$M_{cc}c_p \frac{dT_c}{dt} = q_c(t) - (h_{cc-r} + h_{rc-r})A_c(T_c - T_r) - h_{rc-a} - aA_c(T_c - T_a) \quad (3.1)$$

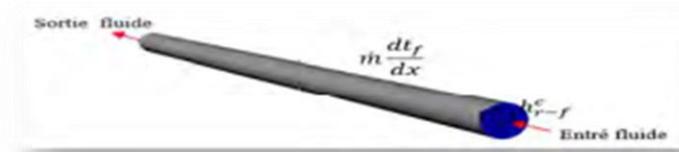
Bilan énergétique de la plaque absorbante



$$M_{rc}c_p \frac{dT_r}{dt} = q_r(t) + (h_{cc-r} + h_{rc-r})A_r(T_c - T_r) - h_{cf-r} - rA_r(T_r - T_f) - h_{cdr-in}A_r(T_r - T_{in}) \quad (3.2)$$

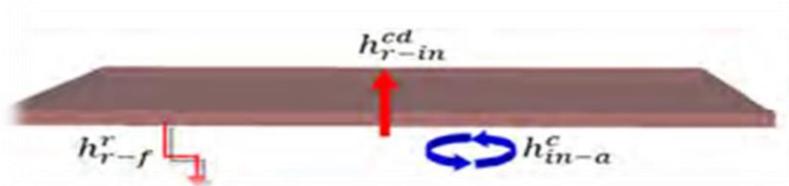
CHAPITRE III : CONCEPTION D'UN NOUVEAU CAPTEUR

Billon énergétique du fluide caloporteur



$$Cpf \left(Mf \frac{dt_f}{dt} + m \frac{dt_f}{dx} \right) = hc f - rAr(T_r - Tf) \quad (3.3)$$

Billon énergétique de l'isolation :



$$Mincpin = hcdr - inAin(T_r - Tin) - hrin - aAin(Tin - Ts) - hcin - aAin(Tin - Ta) \quad (3.4)$$

L'énergie thermique utile gagnée est :

$$Qu = \dot{m}c_p f (T_{fs} - T_{fe}) \quad (3.5)$$

Le rendement thermique du capteur est donné par la relation suivante :

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{G.S} = \frac{\dot{m}Cp(T_{fs}-T_{fe})}{G.S} \quad (3.6)$$

III.6. Stockage d'énergie thermique

L'énergie thermique peut être stockée comme un changement de l'énergie interne d'un matériau en tant que chaleur sensible, chaleur latente. On distingue deux formes de stockage.

III.6.1. Stockage par chaleur sensible

Cela consiste à accumuler de l'énergie thermique dans un corps par accroissement de sa température sans changement d'état, la quantité d'énergie stockée est alors directement proportionnelle à la variation de température et à la quantité de matière concernée. Qualifiée

CHAPITRE III : CONCEPTION D'UN NOUVEAU CAPTEUR

par la chaleur massique C_p exprimé en $J / (kg \cdot K)$. Ce qui veut dire qu'il faut 4186 joules pour élever 1 kg d'eau de $1^\circ C$.

Ainsi, à pression constante, si l'on réchauffe un corps (généralement liquide ou solide) de masse et de capacité thermique C_p (T) de la température .

III.6.2. Stockage par chaleur latente

Ce type de stockage consiste à exploiter la quantité d'énergie engagée lors du changement d'état d'un corps, celui-ci se produit à température constante. La chaleur latente est notée par L . C'est-à-dire la fonte de 1 kg de glace à la température constante de $0^\circ C$ nécessitera une énergie de 330 kJ.

Supposant qu'un solide pur à la température T_1 , de masse m ayant une température de fusion .

III.7. CONCEPT DE CAPTEUR

III.7.1. HYBRIDE PHOTOVOLTAÏQUE / THERMIQUE :

Le concept de capteur hybride photovoltaïque / thermique consiste à superposer les deux fonctions énergétiques électriques et thermiques. Il est caractérisé par une combinaison sandwich séparant air et eau. Le fluide caloporteur est canalisé, ce qui permet une circulation forcée. La face inférieure est isolée et ne comporte pas d'absorbeur. La Figure III.10 présente une description d'un capteur PV/T utilisant l'eau comme fluide caloporteur Schématisation des transferts thermiques. Les échanges thermiques entre les différentes couches du capteur au sein du prototype peuvent être présentés par la figure III.11.

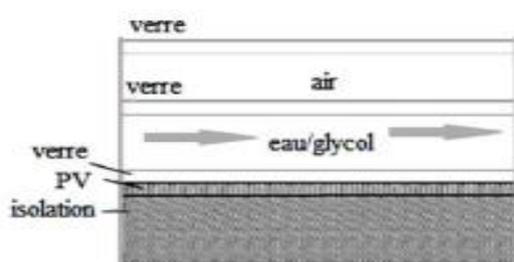


Figure III.8 Schéma descriptif prototype hybride PV/T à eau

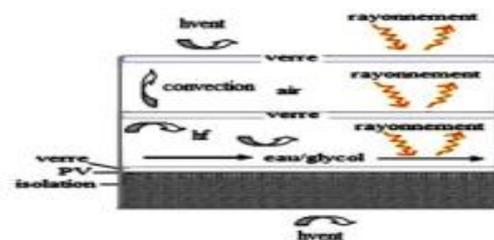


Figure III.9 Schématisation des transferts PV/T thermiques dans le

III.8. MODELISATION DU SYSTEME PV/T

L'analogie électrique traditionnelle permet une grande simplification des problèmes de thermique. C'est la méthode nodale qui permet une modélisation par analogie électrique des systèmes Figure III.12.

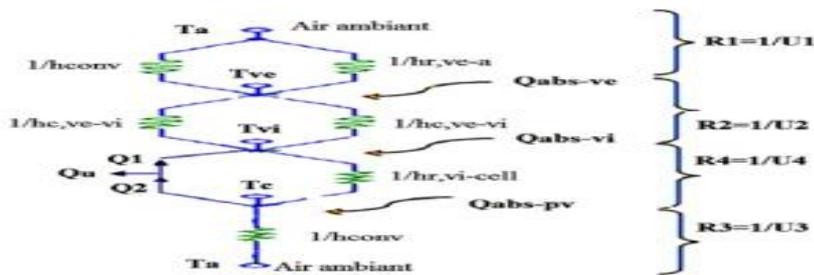


Figure III.10 Schéma électrique équivalent des Transferts thermiques du capteur hybride PV/T

III.8.1. Equations caractérisant le transfert de chaleur

Le PV/T est un système complexe qui fait intervenir un couplage de transfert thermique entre les différents éléments qui le constituent. Les équations de bilan font apparaître des paramètres qui décrivent la géométrie du système, la nature de l'écoulement de l'eau et de l'air ambiant, les pertes par convection et par rayonnement. La précision du modèle dépend fortement de ces paramètres.

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

$$\text{ENERGIE REÇUE} - \text{ENERGIE PERDUE} = \text{VARIATION DE L'ENERGIE INTERNE}$$

Ou encore sous forme mathématique :

$$\sum Q_i - \sum Q_o = M_i C_p \frac{dT_i}{dt} \tag{3.7}$$

Dans laquelle :

M_i : la masse du nœud i ;

CHAPITRE III : CONCEPTION D'UN NOUVEAU CAPTURE

Cp_i : la chaleur spécifique à pression constante du nœud i ;

T_i : la variable d'état considérée (température) ;

Bilan énergétique au niveau de la surface du verre

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

$$Q_g = A_{pv} \cdot I_g \cdot \alpha_{verre} \cdot \tau_{verre} \quad (3.8)$$

Avec :

I_g : rayonnement direct total absorbé par la cellule solaire (w/m^2)

A_{pv} : surface du verre (m^2)

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, la surface du verre devient une surface émettrice, les pertes thermiques par rayonnement sont exprimées comme suit :

$$Q_{ray, air} = \sigma \cdot \epsilon_{verre} \cdot A_{verre} (T_{4verre} - T_{4air}) \quad (3.9)$$

Avec :

ϵ_{verre} : émissivité du verre

σ : constante de Stefan- Boltzmann ($w/m^2.k^4$)

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 :

$$Q_{conv, air} = h_1 \cdot A_{pv} (T_{verre} - T_{air}) \quad (3.10)$$

Avec :

h_1 : coefficient d'échange par convection entre la surface de verre et l'air

CHAPITRE III : CONCEPTION D'UN NOUVEAU CAPTURE

Ce coefficient de transfert convectif qui est en fonction de la vitesse du vent (w/m^2k) est donné par l'expression suivante [28] :

$$h_1 = 2.8 + 3.0v(W/m^2K) \quad (3.11)$$

V : vitesse de vent

L'énergie électrique produite par le capteur hybride [29] est donnée par :

$$Q_{ele} = \frac{Q_g}{\alpha_{si}} \cdot T_{ref} \cdot \exp[\beta(T_{si} - T_{ref})] \quad (3.12)$$

Avec : α

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 [$^{\circ}K$] .

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

$$Q_{cond.verre.sil} = \frac{\lambda_{verre}}{e_{verre}} A_{pv} (T_{verre} - T_{sil}) \quad (3.13)$$

photovoltaïques est donnée par : λ_{verre}

Avec :

e_{verre} : épaisseur de verre

λ : conductivité thermique du verre

Equation d'énergie au niveau de la vitre

CHAPITRE III : CONCEPTION D'UN NOUVEAU CAPTURE

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

$$M_{\text{verre}} C_{p_{\text{verre}}} \frac{dT_{\text{verre}}}{dT} = Q_g - Q_{\text{conv,air}} - Q_{\text{ray,air}} - Q_{\text{cond.verre,si}} \quad (3.14)$$

Bilan énergétique au niveau de la couche des cellules photovoltaïques au silicium

L'équation de transfert de chaleur par conduction entre les cellules et le tedlar est :

$$Q_{\text{cond.sil.ted}} = \frac{\lambda_{\text{si}}}{e_{\text{si}}} A_{\text{sil}} (T_{\text{sil}} - T_{\text{ted}}) \quad (3.15)$$

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

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

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

$$\lambda_{\text{ted}} / e_{\text{ted}} = k_1$$

k_1 : coefficient de conduction entre la couche des cellules et la 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 photovoltaïques

$$M_{\text{sil}} C_{p_{\text{sil}}} \frac{dT_{\text{si}}}{dT} = Q_{g1} + Q_{\text{cond.verre.sil}} - Q_{\text{cond.sil.ted}} - Q_{\text{ele}} \quad (3.16)$$

Avec : $Q_{g1} = A_{pv} \cdot I_g (1 - a_{\text{verre}}) \cdot \tau_{\text{verre}}$

Bilan d'énergie au niveau de la couche du tedlar

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

$$Q_{cond\ ted.\ pl} = \frac{\lambda_{ted}}{e_{ted}} A_{ted} (T_{ted} - T_{pl}) \tag{3.17}$$

Equation d'énergie au niveau de la couche du tedlar

$$M_{ted}.C_{pted} \frac{dT_{ted}}{dT} = Q_{cond.\ sil.\ ted} - Q_{cond\ ted.\ pl} \tag{3.18}$$

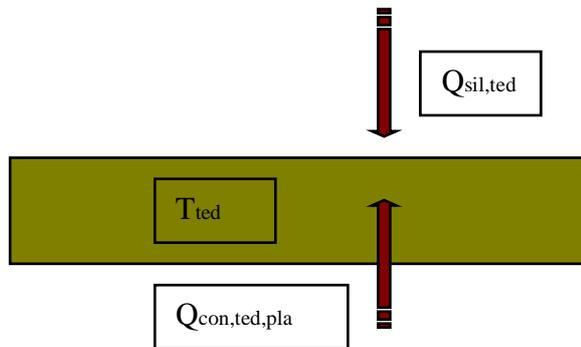


Figure III.11 Schéma représentant l'échange thermique au niveau de la couche du tedlar

Bilan énergétique au niveau de la plaque en cuivre

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

$$Q_{pert} = h_2 \cdot (A_{pl} - A_{pltub}) \cdot (T_{pl} - T_{air}) \tag{3.19}$$

h_2 : coefficient de convection de la surface libre ($A_{pla}-A_{pltub}$)

A_{pltub} : surface de contact entre la plaque et le tube.

$$A_{pl} = A_{PV}$$

$$C_{ppl} = C_{pcu}$$

CHAPITRE III : CONCEPTION D'UN NOUVEAU CAPTURE

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

K_2 : Coefficient de conduction (Pla-tub)

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

$$Q_{th} = \frac{\lambda_{pl}}{e_{pl}} A_{pl tub} (T_{pl} - T_{tub}) \quad (3.20)$$

Bilan énergétique au niveau de la plaque

$$M_{pl} \cdot C_{ppl} \frac{dT_{pl}}{dt} = Q_{cond\ ted, pl} - Q_{pert} - Q_{th} \quad (3.21)$$

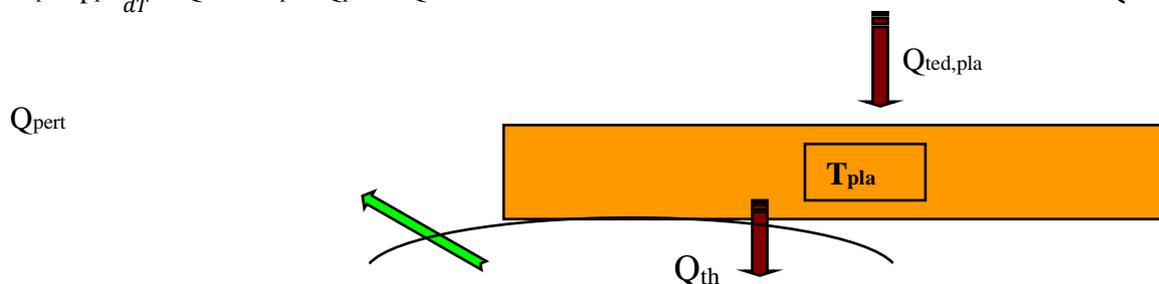


Figure III.12 Schéma représentant l'échange thermique au niveau de la plaque

Bilan énergétique au niveau du Tube

Nous avons choisi l'eau comme fluide caloporteur qui circule dans les tubes. Quantité de chaleur de l'eau :

$$Q_{eau} = \dot{m}_{eau} \cdot C_{p eau} (T_s - T_e) \quad (3.22)$$

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

Équation d'énergie au niveau du tube

$$\pi/4 \cdot (D_{2 ext}^2 - D_{2 int}^2) \cdot \sigma_{cu} \cdot C_{p cu} = Q_{pert} + Q_{th} - Q_{eau} \quad (3.23)$$

Avec:

D_{ext} : diamètre extérieur du tube

D_{ent} : diamètre intérieur du tube

CHAPITRE III : CONCEPTION D'UN NOUVEAU CAPTURE

Après la fixation des thermocouples de type assemblage de tubes sont placés dans la couche de matériau de stockage de chaleur , l' un à 4 mm et l' autre à 9 mm de la surface arrière du PV / T , comme le montre la vue en coupe de la Fig. .III.17.

III.10. CONCLUSION

Une alternative intéressante aux modules photovoltaïques ordinaires est d'utiliser les générateurs photovoltaïques combinés avec les capteurs thermiques pour former les capteurs hybrides, le capteur ainsi réalisé permet de produire simultanément de l'électricité et de la chaleur.

Ce travail nous a permis d'étudier le capteur hybride PVT à eau, en déterminant ses performances thermiques et électriques, comme température des cellules et la température de sortie de fluide , le rendement électrique et thermique, pour différentes valeurs de débit massique et différentes valeurs de radiation solaire. Les résultats obtenus permettent de penser qu'il constitue une bonne alternative aux générateurs photovoltaïques et aux capteurs thermiques classiques séparément installés .



CHAPITER IV : Résultats

CHAPITRE IV : Résultats

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre on va présenter une étude expérimentale d'un capteur hybride photovoltaïque thermique PV/T avec un nouvel absorbeur à l'eau avec des réflecteurs qui a été réalisé à l'Unité de Recherche Appliquée aux Energies Renouvelables de Ghardaïa . Nous avons entamé des mesures de températures, de puissance électrique et de rayonnement dans une période de temps, ces mesures nous ont permis de relever les caractéristiques électriques et thermiques de ce capteur .

IV.2. Historique sur les capteurs hybrides

L'étude réalisée par Kern et Russel en 1978 donnent les principes de base des capteurs solaires employant de l'eau ou de l'air comme fluide caloporteur. Hendrie, en 1982 développe un modèle théorique de système PV/T hybride en se basant sur des corrélations liées à des capteurs solaires standards. En 1981, Raghuraman [30] présente des méthodes numériques permettant la prévision des performances des capteurs solaires plans PV/T à eau ou à air. Plus tard, en 1985, Cox et Raghuraman développent des logiciels de simulation permettant l'étude des performances des systèmes PV/T hybrides à air, et mettent l'accent sur l'influence des propriétés optiques du vitrage sur les rendements thermique et électrique de ces composants solaires. En 1986, Lalovic et al. [31] proposent un nouveau type de cellules amorphes a-Si transparentes comme solution économique pour la construction de modules PV.

Le concept de capteurs hybrides photovoltaïque/thermique.

Le concept de capteur hybride photovoltaïque / thermique consiste à superposer les deux fonctions énergétiques électrique et thermique. Il est caractérisé par une combinaison sandwich séparant air et eau. Le fluide caloporteur est canalisé, ce qui permet une circulation forcée. La face inférieure est isolée et ne comporte pas d'absorbeur .

IV.3. Capteurs solaires hybrides PV/T à eau

Empêcher la perte de chaleur en haut avec l'isolation thermique dans les côtés et empêche la perte de la chaleur à l'arrière et aux bords.

CHAPITRE IV : Résultats

Après la couverture les cellules solaires forment la première surface d'absorption avec une plaque noire 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 avec : Couverture de verre, Cellule solaire, Tube en cuivre et Isolant.

En 1997, Fujisawa et Tani [32] ont conçu et construit un capteur solaire hybride PV/T à eau sur une cité universitaire à Tokyo, au Japon .

Ils étudient ainsi un composant solaire hybride composé d'un capteur solaire vitré à liquide caloporteur et à absorbeur plan en aluminium non-sélectif, et de modules PV en silicium monocristallin (rendement électrique de 13 %) .

IV.4. Constitution et principe

Le capteur hybride photovoltaïque thermique est constitué de six éléments

- 1) Panneau photovoltaïque (PV)
- 2) Absorbeur
- 3) Vitrage
- 4) Système de refroidissement fluide caloporteur
- 5) Isolant
- 6) Boîtier

Le panneau PV est composé de trois couches :

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

CHAPITRE IV : RESULTAT

La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement au courant électrique [33], les cellules construisaient du (silicium monocristallin dans notre étude) leur taux de rendement est de 15% à 24% en laboratoire La Figure IV.1 , présente les trois couches de panneau photovoltaïque [29] .

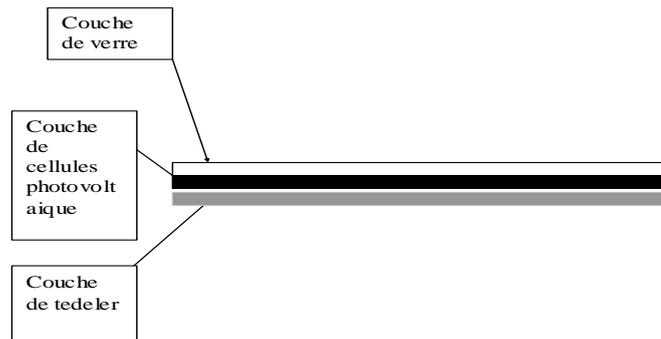


Figure IV.1 des trois couches du panneau photovoltaïque

IV.5. Conception et réalisation d'un capteur PV/T à concentration

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

IV.6. Matériel et les matériaux utilisés:

- Module photovoltaïque en silicium monocristallin.
- Un tube de galvanisé de diamètre intérieur et extérieur respectivement de 12 et 14 mm
- D'une longueur de 9 m.
- Une tôle en fer galvanisé [1mm]
- Coudes en Fer (28 coudes)
- Coupe galvanisée



Figure IV.2 Coudes en Fer

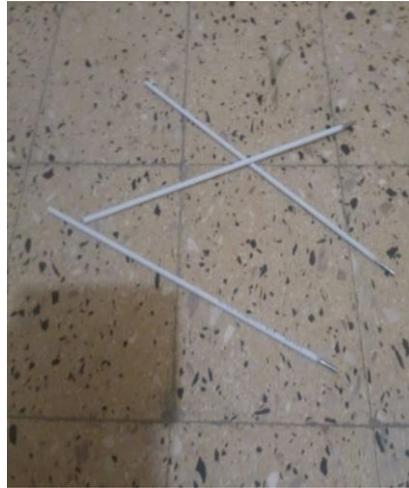


Figure IV.3 Baguettes



Figure IV.4 Une tôle en fer galvanisé

IV.7. Etape de réalisation du capteur PV/T

IV.7.1. Première étape : le module photovoltaïque

Le module utilisé est à base du silicium. Il est de type SHARP 40 (Unité de Développement Et du Technologie au Silicium) Figure IV.5, il porte les paramètres suivants :



Figure IV.5 Modules PV

IV.7.2. Deuxième étape : l'échangeur de chaleur

l'échangeur de chaleur c'est l'élément intérieur du capteur hybride, son rôle principal est d'échangeur de chaleur du panneau solaire (système de refroidissement) et transmettre cette chaleur en sortie.

CHAPITRE IV : RESULTAT

Dans notre étude on a proposé un nouveau prototype d'absorbeur, ce nouveau modèle est composé de deux parties :

IV.7.3. L'absorbeur du haut

C'est échangeur de chaleur qui est en contact directe avec la face arrière du module, il est composé de deux parties. Une plaque en acier galvanise Figure IV.6.



Figure IV.5 Plaque galvanisée avec tubes galvanise

En premier lieu, on coupe une plaque galvanisée selon les mesures de la face arrière du panneau solaire. on coupe tube de la même longueur que le module est d'une largeur de 20mm, En suite, on soude tubes en Coudes en Fer sur la plaque, Alors on a fait réaliser notre échangeur de chaleur que nous allons peindre par rapport à ses caractéristiques physiques et L'échangeur de chaleur haut est représenté une fois assemblé dans la Figure IV.7 .

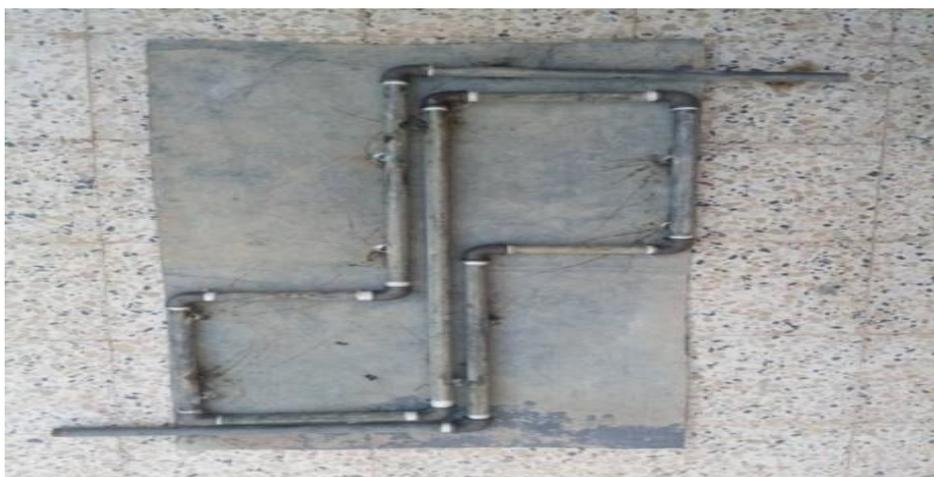


Figure IV.6 L'échangeur de chaleur

CHAPITRE IV : RESULTAT

IV.7.4. Troisième étape : le support métallique

C'est le composant principal du capteur qui supporte tous les éléments du capteur et assure la sécurité des éléments intérieurs Figure IV.8 . Il est construit totalement en fer et en tôle galvanisé et aluminium .



Figure IV.8 Support métallique

IV.7.5. Quatrième étape : l'isolant

Cet élément est polyester qui isole l'intérieur du capteur de l'échange thermique avec les facteurs extérieur. On coupe polyester avec les mêmes dimensions internes du support (du bas et des cotés) comme indiqué sur la Figure IV.9.



Figure IV.7 polyester

IV.8. Montage de capteur PV-T

On place polyester à l'intérieur du corps du capteur, en suite on met en dessus là Plaque isolante et on la fixe .

CHAPITRE IV : RESULTAT

En suit on met en place d'échangeur de chaleur sur la face arrière du panneau PV en le glissent à l'intérieur du support métallique. En fin en met le silicone à la borne du capteur PV pour confirmer que le module est bien fixé sur le cadre du capteur Figure IV.10 .



Figure IV.8 Le capteur hybride PV/T à eau

La Figure ci-dessus présente un capteur PVT hybride à eau qui a été réalisé au sein de l'unité de recherches appliquées en énergies renouvelables à Ghardaïa.

IV.9. Description du banc d'essai

Le but de notre étude expérimentale en premier lieu est de prélever les performances électriques (caractéristiques $I=f(v)$) et de déterminer la distribution de la température du capteur hybride PVT. Pour cela nous avons mis sur une même structure deux capteurs dans le but de les comparés. La première est un capteur PV simple, le deuxième est un capteur hybride PVT La Figure IV.11 est une photo prise au sein de l'unité de recherches appliquées en énergies renouvelables de Ghardaïa .

CHAPITRE IV : RESULTAT



Figure IV.9 Le capteur hybride PV et PVT à eau

IV.10. Prélèvement des mesures

Pour prendre les mesures, nous avons utilisé des thermocouples de type "K" pour mesurer et enlever la température d'entrée et de sortie pour le capteur hybride PV-T Figure IV.12 .



Figure IV.10 L'emplacement du thermocouple sur le capteur PV-T

Avec deux thermocouples à l'intérieur du capteur le premier est placé sur l'absorbeur et le deuxième sur la plaque isolent les deux au milieu.

T_s PV/T : Température de sortie d'eau.

T_E PV/T : Température d'entrée d'eau.

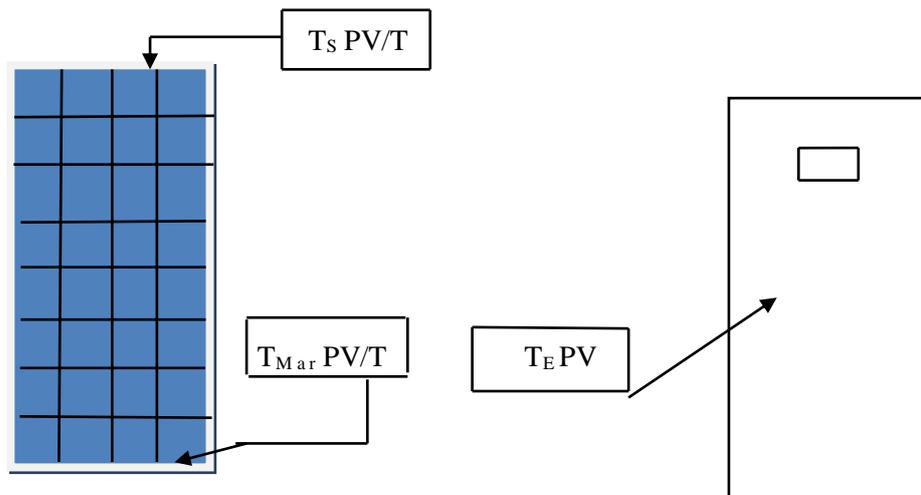


Figure IV.11 L'emplacement du thermocouple sur le capteur PV/T

Avec deux thermocouples à l'intérieur du capteur la première est placée sur l'absorbeur et le deuxième sur la plaque isolent les deux au milieu

T_s PV/T : Température de sortie d'air.

$T_{M_{av}}$ PV/T: Température de la face avant (la vitre) au le point de milieu du capteur PV/T.

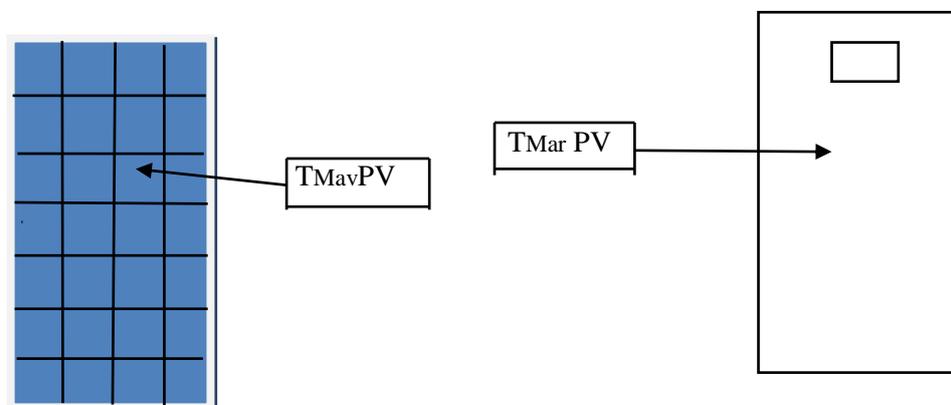
$T_{M_{ar}}$ PV/T: Température de la face arrière sur le point de milieu du capteur PV/T.

T_E PV/T : Température d'entrée d'air.

$T_{I_{Ah}}$ PV/T : Température intérieure de l'absorbeur haut du capteur PV/T.

$T_{I_{Ab}}$ PV/T : Température intérieure de l'absorbeur bas du capteur PV/T.

IV.11. Maillage du capteur PV



CHAPITRE IV : RESULTAT

Figure IV.12 L'emplacement des thermocouples sur le capteur PV

Et pour mesurer les températures du module PV on place deux thermocouples au milieu ; la première sur la face avant (vitre) et le deuxième sur la face arrière.

$T_{M_{av} PV}$: Température de l'avant au milieu du capteur PV.

$T_{M_{ar} PV}$: Température de l'arrière au milieu du capteur PV.

IV.12. Dispositifs de mesure

Nous avons utilisé pour notre étude plusieurs types des dispositifs de mesure dans le but de mesurer les paramètres du capteur (température, rayonnement globale), Figure IV.15.



Figure IV.13 Photo de l'acquisition

IV.12.1. Thermocouple de type "K" :

Un thermocouple est un capteur utilisé pour mesurer la température. Les thermocouples sont constitués de deux pattes métalliques à partir de métaux différents. Les fils pattes sont soudés ensemble à une extrémité, ce qui crée une jonction. Cette jonction est l'endroit où la température est mesurée. Lorsque la jonction subit une variation de température, une tension est créée. La tension peut alors être interprétée à l'aide des tables de référence pour thermocouples (lien) pour calculer la température.

Il existe plusieurs types de thermocouples, chacun avec ses propres caractéristiques uniques en termes de gamme de la température, de la durabilité, résistance aux vibrations, la résistance chimique, et la compatibilité des applications. Tapez J, K, T, E et sont thermocouples métaux communs, les types les plus communs de thermocouples. Type R, S et B sont des thermocouples "Métal Noble", qui est utilisés dans les applications à haute température (voir plages de températures thermocouples (lien) pour plus de détails).Le thermocouple de type

CHAPITRE IV : RESULTAT

"K" Figure IV .16 est requis pour mesurer des températures de 200 à 2000 °C ou il joue le rôle de thermocouple très précis.

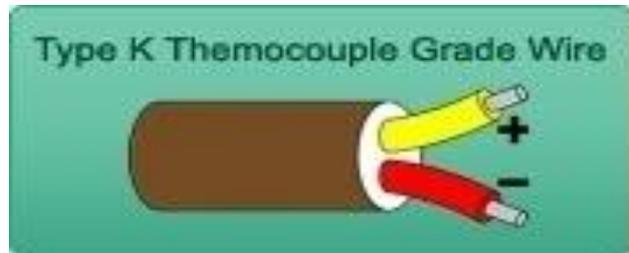


Figure IV.14 Principe de constitution d'un thermocouple.

IV.13. Mesure des températures

La température ambiante est mesurée sous abri, à côté du système solaire . Les sondes de mesure des différentes températures sont de thermocouple de type K. Pour l'étude, on a supposé que la température d'entrée du fluide soit l'ensemble des thermocouples reliée à un enregistreur appelé« Acquisition de données » à carte mémoire de marque FLUKE 2625 A, qui fait les prélèvements à un pas de temps de mesure de 10 minute pendant toute la durée du test Figure IV.17 .



Figure IV.15 Photos représentent le raccordement des différents thermocouples à l'acquisition de données

Nous avons prélevé les mesures de rayonnement global à l'aide d'un pyranomètre de type "Kipp and Zonen" de coefficient : 0.00000457 V.m²/W.

CHAPITRE IV : RESULTAT

Et pour relever les caractéristiques, nous avons utilisé un système contenant des dispositifs de mesure qu'on va les cités par la suite .Une deuxième acquisition de données de même type que la précédente (34970 DATA Acquisition/Switch Unit .GPIB, RS232. Une charge variable (résistance variable) qui a été réalisé au sein de l'unité de recherches appliquées en énergies renouvelables de Ghardaïa Figure IV.18.



Figure IV.16 Dispositif de prélèvement de caractéristiques I(V)

IV.14. Distribution de la température

Nous avons relevé la température ambiante, les températures d'entrée et la sortie d'eau des deux capteurs PVT à concentrateurs et PVT. Pour chaque 10 minutes (Annexe).

IV.14.1. Cas de circulation normale du fluide

Figure IV.19 montre la caractéristique I(V) des deux capteurs pour la journée du 22 Mai 2022. Dans cette expérimentation, nous avons laissé le fluide (eau) circuler avec un faible débit dans l'absorbeur du capteur hybride PVT.

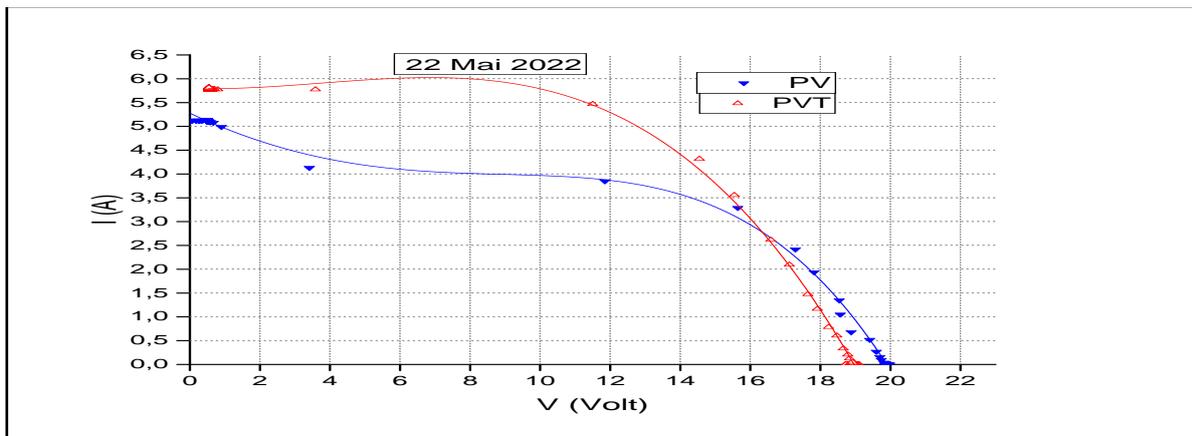


Figure IV.17 I(V) du capteur PVT avec le module PV témoin pour la journée du 22/05/2022 - Cas de circulation à faible débit-

CHAPITRE IV : RESULTAT

Figure IV.20 montre la caractéristique I(V) des deux capteurs pour la journée du 22 Mai 2022. Dans cette expérimentation, nous avons laissé le fluide (eau) circuler avec un faible débit dans l'absorbeur du capteur hybride PVT.

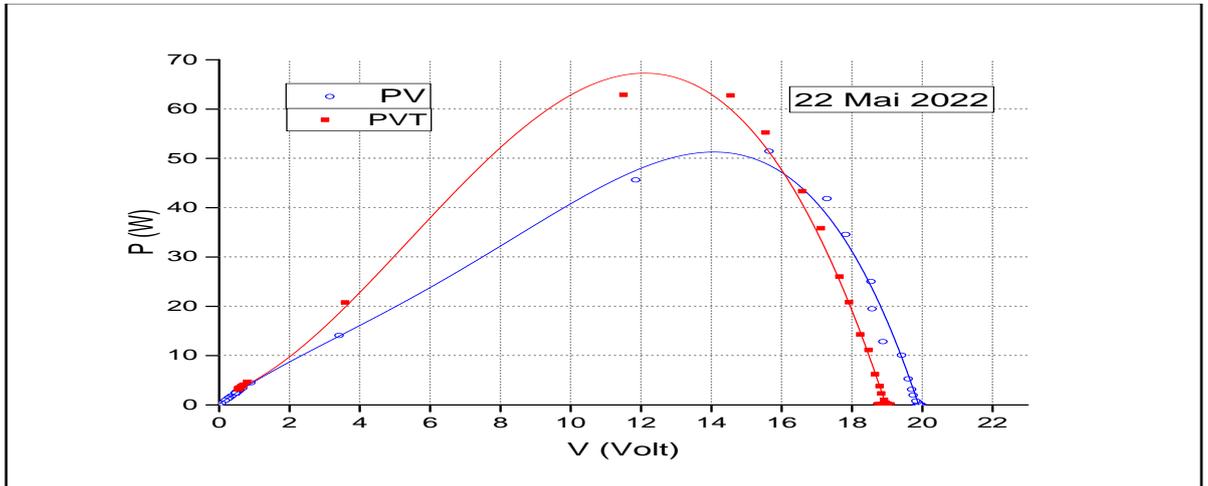


Figure IV.18 Puissance en fonction de la tension pour la journée du 22/05/2022

-Cas de circulation à faible débit-

IV.14.2. Cas ou la circulation du fluide est bloquée

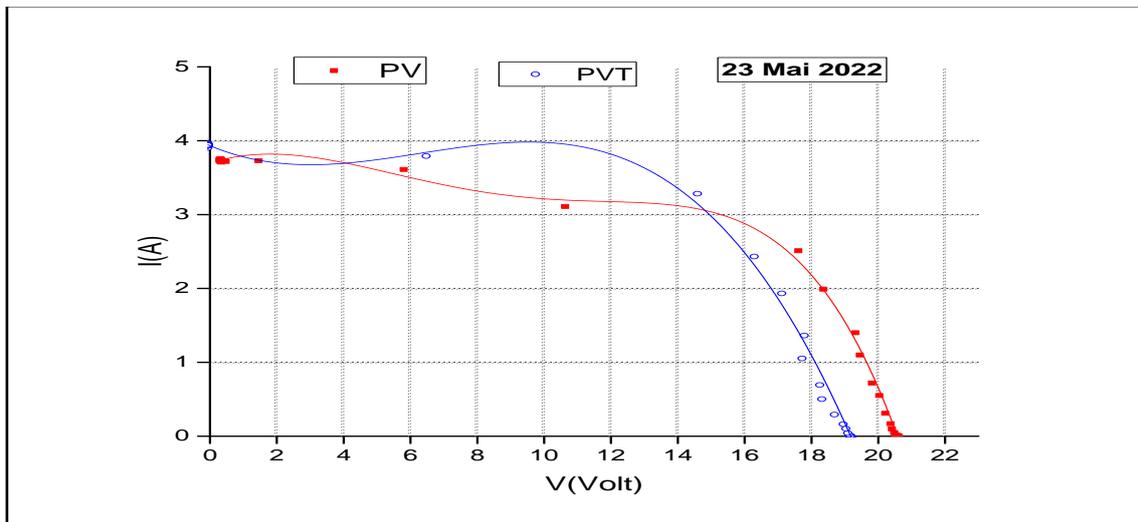


Figure IV.19 I(V) du capteur PVT avec le module PV témoin pour la journée du 23/05/2022 -

Cas bloqué-

CHAPITRE IV : RESULTAT

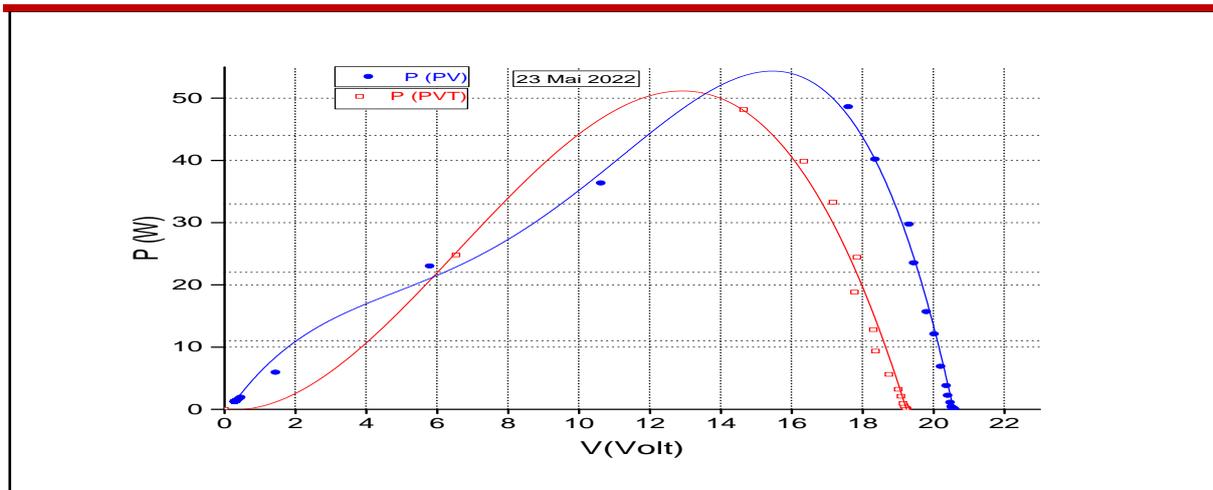


Figure IV.20 Puissance en fonction de la tension pour la journée du 23/05/2022

-Cas bloqué-

IV.15. Températures en fonction du temps pour le cas de la circulation libre du fluide

Figure IV.23 montre la variation de la température d'entrée et de sortie du fluide caloporteur (eau) pour le nouveau capteur hybride PVT pour le cas où nous avons une circulation normale du fluide à l'intérieur de l'absorbeur.

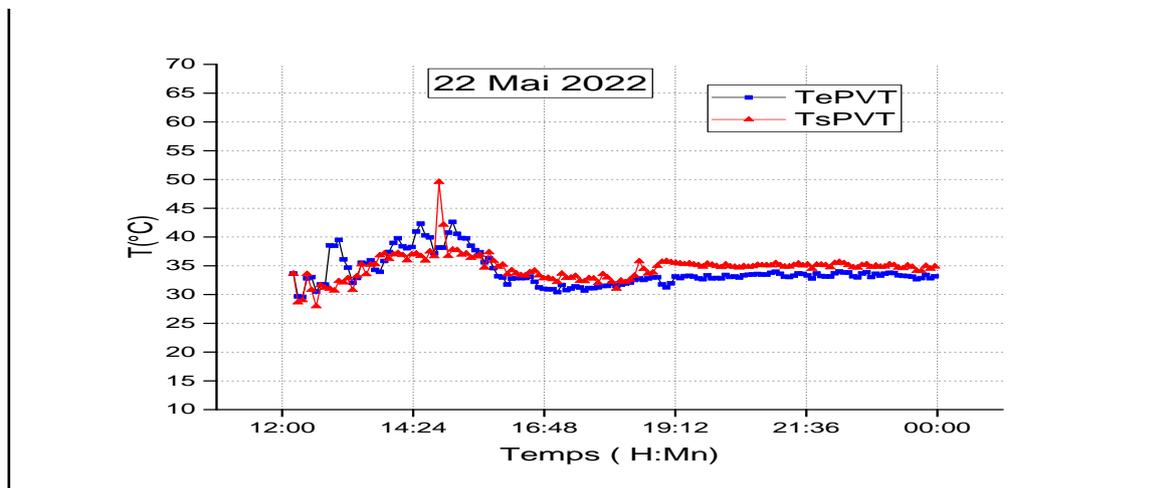


Figure IV.21 Température d'entrée et sortie (Erreur technique)

Figure IV.24 montre la différence entre la température haute et basse de la vitre du capteur hybride PVT.

CHAPITRE IV : RESULTAT

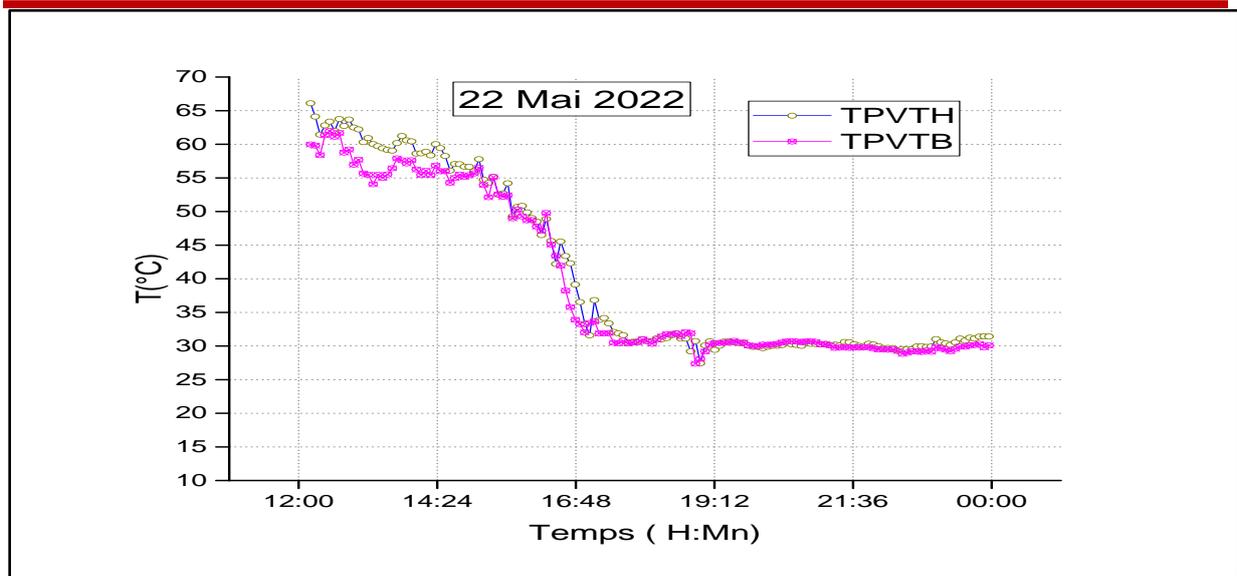


Figure IV.22 Température haute et basse du capteur hybride PVT

Nous remarquons que les deux valeurs sont sensiblement identiques. Ce qui prouve que la distribution de la température est homogène.

Figure IV.25 montre la distribution de la température en fonction du temps pour le cas de la circulation libre du fluide caloporteur pour la journée du 22 mai 2022. Il s'agit de la distribution de la température du capteur hybride PVT pour l'entrée, sortie, sur la face avant de la vitre (partie haute et partie basse) ainsi que celle de la face de la vitre du module photovoltaïque témoin.

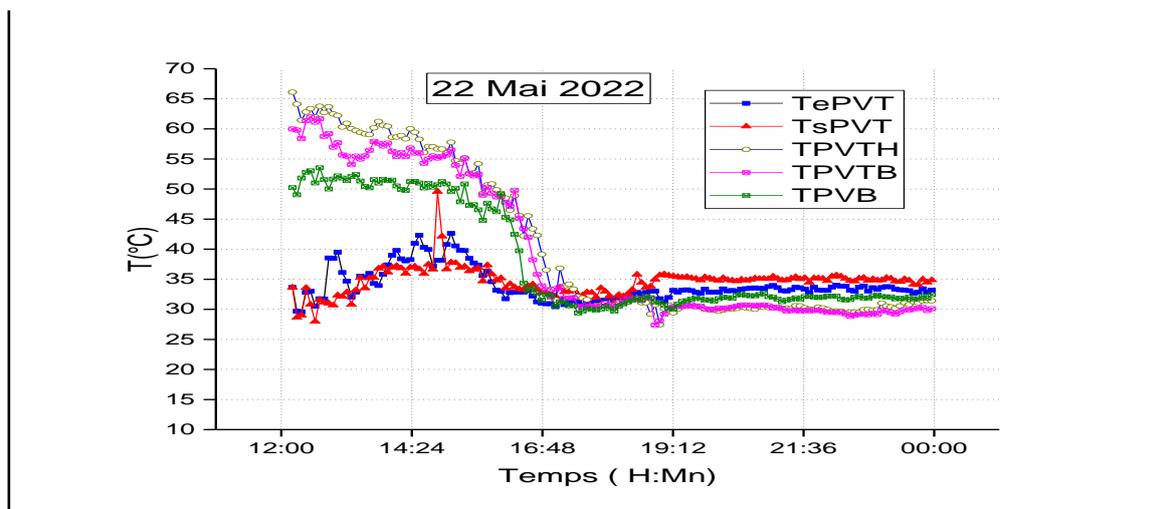


Figure IV.23 Distribution de température pour tous les points

IV.16. Températures en fonction du temps pour le cas de la circulation du fluide bloquée

La Figure IV.26 montre la variation de la température d'entrée et de sortie du fluide caloporteur (eau) pour le nouveau capteur hybride PVT pour le cas où nous avons bloqué la circulation du fluide à l'intérieur de l'absorbeur.

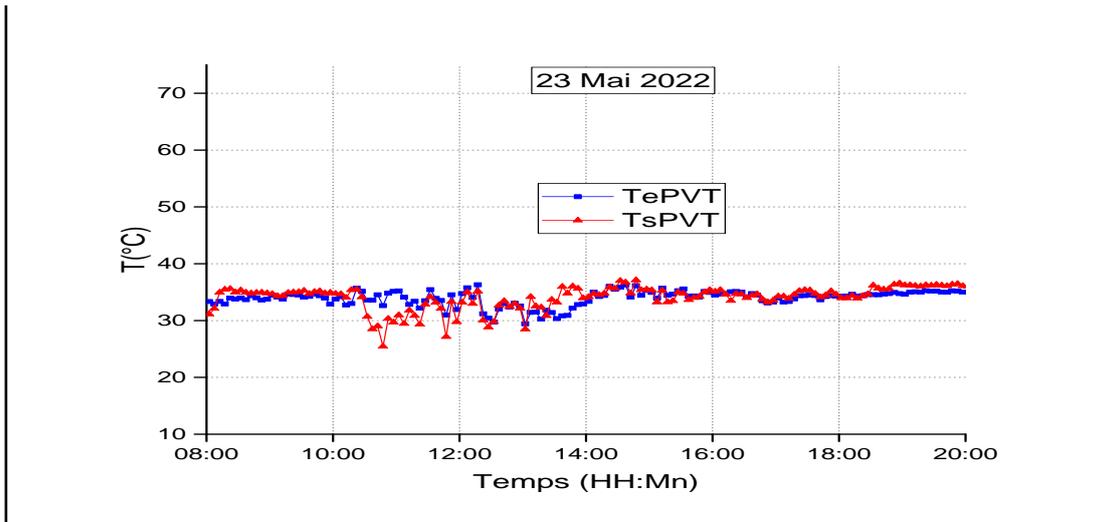


Figure IV.24 Température d'entrée et sortie (Erreur technique)

Nous remarquons une très légère hausse de la température de sortie par rapport à celle d'entrée.

La Figure IV.27 montre la différence entre la température haute et basse de la vitre du capteur hybride PVT.

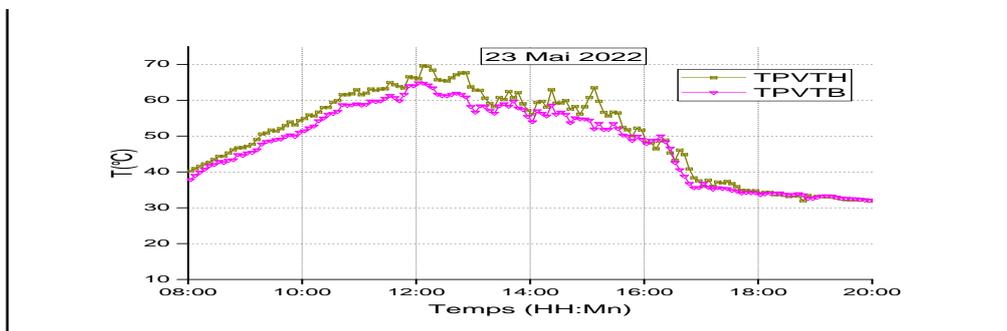


Figure IV.25 Température haute et basse du capteur hybride PVT

CHAPITRE IV : RESULTAT

Nous remarquons que les deux courbes ne sont pas identiques. Ce qui prouve que la distribution de la température de la vitre du capteur hybride n'est pas homogène pour le cas où la circulation est bloquée.

La Figure IV.28 montre la distribution de la température en fonction du temps pour le cas de la circulation libre du fluide caloporteur pour la journée du 23 mai 2022. Il s'agit de la distribution de la température du capteur hybride PVT pour l'entrée, sortie, sur la face avant de la vitre (partie haute et partie basse) ainsi que celle de la face de la vitre du module photovoltaïque témoin.

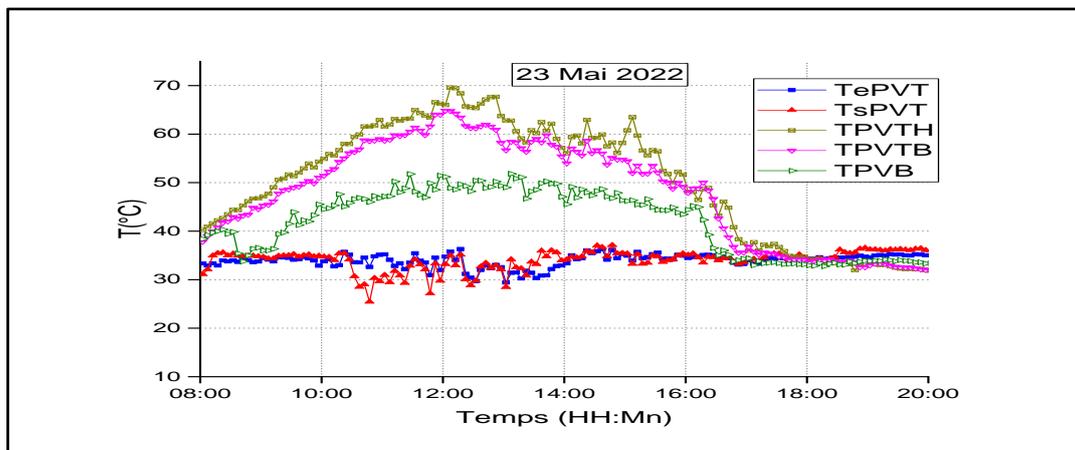


Figure IV.26 Distribution de température pour tous les points

IV.17. Conclusion

Résultats expérimentale sur le logiciel ont montré que la puissance fournie par le panneau PV refroidi est plus importante que celle fournie par le panneau témoin.

Les résultats expérimentaux ont montré aussi que le panneau refroidi a un meilleur rendement que celui du panneau PV témoin.



Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude nous a permis d'évaluer, le comportement d'un capteur solaire hybride a eau, pour la production à la fois de chaleur et d'électricité.

Grâce à un modèle mathématique nous avons pu déterminer la température des différentes couches du capteur, ainsi que le rendement électrique et thermique.

Les résultats obtenues montrent que d'un point de vue énergétique ou énergie primaire, les installations intégrant des capteurs PVT sont très prometteuse et pourraient se montrer compétitives face à des installations solaires utilisant les capteurs photovoltaïque et thermique séparément installés .

Les critères d'évaluation des performances doivent cependant être encore élargis aux aspects environnementaux et économiques. On peut noter aussi que du point de vue esthétique, le PVT est facilement intégrable sur une toiture.

Ce système est plus compétitif dans les sites isolés (non raccordé aux réseaux) ou souvent les frais de raccordement au réseau sont supérieurs aux frais d'installation du système hybride (PVT).

RÉSUMÉ

L'objet de ce travail est la conception d'un système hybride solaire. Un système hybride photovoltaïque thermique (PV/T) combine deux systèmes solaires différents (thermique et photovoltaïque) en une seule unité.

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 PVT qui va générer en même temps de l'électricité et de la chaleur. Ce travail est consacré pour étudier la conception d'un système solaire chauffe d'eau à thermosiphon combiné avec des cellules photovoltaïque

Mots clés : Capteur solaire, Photovoltaïque, Thermique, Hybride

ABSTRACT

The object of this work is the design of a solar hybrid system. A photovoltaic thermal (PV/T) hybrid system combines two different solar systems (thermal and photovoltaic) into a single unit.

During the photovoltaic conversion of the solar collector, heat is generated which will increase the temperature of the photovoltaic cell and cause a drop in its efficiency. This phenomenon is due to the part of the solar radiation not absorbed by the cells and which will be the cause of its heating. This heating was considered harmful for the performance of photovoltaic solar collectors and several efforts have been made to evacuate this heat. There was also the idea of exploiting this phenomenon by combining the photovoltaic system with a thermal system to form the PVT hybrid sensor which will generate electricity and heat at the same time. This work is devoted to study the design of a solar system thermo siphon water heater combined with photovoltaic cells

Key Words: Solar captor, Photovoltaic, Thermal, hybrid

الملخص :

الهدف من هذا العمل هو تصميم نظام هجين شمسي. يجمع النظام الهجين الحراري الكهروضوئي (PV / T) بين نظامين شمسيين مختلفين (حراري وفول طائي ضوئي) في وحدة واحدة.

أثناء التحويل الكهروضوئي للمجمع الشمسي ، يتم توليد الحرارة التي تزيد من درجة حرارة الخلية الكهروضوئية وتسبب انخفاضًا في كفاءتها. هذه الظاهرة ناتجة عن جزء من الإشعاع الشمسي لا تمتصه الخلايا والذي سيكون سبب تسخينها. يعتبر هذا التسخين ضارًا بأداء مجمعات الطاقة الشمسية الكهروضوئية وقد تم بذل العديد من الجهود لإخلاء هذه الحرارة. كانت هناك أيضًا فكرة استغلال هذه الظاهرة من خلال الجمع بين النظام الكهروضوئي ونظام حراري لتشكيل مستشعر PVT الهجين الذي سيولد الكهرباء والحرارة في نفس الوقت. تم تخصيص هذا العمل لدراسة تصميم النظام الشمسي سخان مياه حراري مدمج مع الخلايا الكهروضوئية

الكلمات المفتاحية : مجمع الطاقة الشمسية ، الكهروضوئية ، الحراري ، الهجين

Bibliographie

- [1] **ouled sidi abdennacer** « Etude et conception d'un capteur hybride PV /T en feuille et tube », mémoire fin d'étude (magistère) , Univ kasdimarbah (Ouargla) . 2012
- [2] **TOUAFEK Khaled**« Intégration des réflecteurs dans les capteurs hybrides PVT à eau» mémoire fin d'étude (magistère). Univ . Ghardaïa. 2015
- [3] **N. Hamani**, Modélisation du flux solaire incident et de la température de sortie dans un capteur solaire à eau avec effet de concentration du rayonnement solaire incident, Mémoire de Magister, Université de Biskra, (2005)
- [4] **F. Therez**, « Les Cellules Photovoltaïques au Silicium et à l'Arséniure de Galium : Modèles de Fonctionnement, Expérimentation et Application aux Générateurs sous Concentration », Thèse de Doctorat, Toulouse 1984.
- [5] **H. Amar**, « Propriétés électriques de cellule solaire à base de Sélénium de Cuivre Indium Galium Cu In (1-x) Ga_xSe₂ (CIGS) », mémoire de magister, Biskra, 2014
- [6] **J. M Chassériaux**,1984:Conversion thermique du rayonnement solaire; Dunod
- [7] **R.Bernard&al**,1980:Le rayonnement solaire conversion thermique et applications; Technique et documentation Lavoisier, 2^{ème} édition 1980
- [8] **J.M Chassériaux**, 1984 : Conversion thermique du rayonnement solaire ; Dunod
- [9] **J.A Duffie & W.A Beckman**, 1974: Solar Energy Thermal Processes; 2nd edition, Wiley Inter science, New York,.
- [9a] **Aghilas Brahim**, «Etude De Performances D'un Capteur Solaire Plan À Eau» Thèse De Magistère En Mécanique Et Énergétique, UNIVERSITE DE LORRAINE, 2016.
- [10] **P. Rivet**. Le Rayonnement solaire ; CNRS
- [11] **Michel Capderou** , Atlas solaire de l'Algérie, tome 1,2 ; O.P.U. 1986.
- [11a] **Faris AISSAOUI** «Contribution À L'étude Du Transfert De Chaleur D'un Capteur Solaire Placé Dans Un Climat Aride : Cas De La Région De Biskra. » Thèse De Doctorat
- [12] **Cheknane Ali et M. Rougab Ilyes** ; « Introduction au gisement solaire algérien Théorie et applications », Université Amar Telidji . Laghouat.
- [12a] Sommaire*Introduction*Historique*La photométrie .

BIBLIOGRAPHIE

[12b] **Berrichon Jean-Damien**, « Installation et mise en service d'un instrument de mesure du rayonnement solaire diffus », Master 1 de Physique et Ingénierie, Faculté .

[12c] **BECHKI Sara**, « Etude Numérique D'un Capteur Solaire Hybride PVT » Mémoire Master Académique Université Kasdimarbah Ouargla .

[13] **Mr.BounaOuledZeidane**, Contribution to the study of the Grid Connected Photovoltaïque System, Memoire de magister. 2006.

[14] **MatallahSorya**(2015) Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla. Université KM Ouargla .

[15] **Bernard Weissenfels**, " Promesses et réalités des énergies renouvelables ", edp Sciences, 2013.

[16] **Serge Baillargeon** , " Energie hydraulique : Les avantages & inconvénients ", septembre 2015.

[17] **J.-L. L'apôtre, P. Pouviez**, " Les énergies renouvelables : le photovoltaïque et l'éolien ", CAP, Bac Pro elec , Bac ST12D, Edition Castilla, 2012.

[18] **FEDDAOUI Omar** ; Contribution à l'Etude des Systèmes Hybrides de Génération : Application aux Energies Renouvelables ; Mémoire de magister, Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras 2014.

[19] **BENBOUZA CHAOUKI**. Mémoire doctorat, <Production et performance des capteurs hybrides (PV/T) à eau intégrés dans le bâtiment-cas de l'Algérie>.page21.

[20] Énergiesolairethermique.https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_solaire_thermique.

[21] American Society for Testing and Materials (ASTM), G173-03, ISO 9845-1, 1992.

[21a] source : fr.solarpedia.net .

[22] **André Joffre**. « Energie solaire thermique dans le bâtiment chauffe-eau solaires ». revue techniques de l'ingénieur BE 9164.

[23] **M.Sandberg, M.Moshfegh**. « Ventilated solar roof air flow and heat transfer investigation ». Renewable Energy, 1998, Vol 15 n°1-4 pp 287-292.

[24] **A.HEGAZY**. « Comparative study of the performances of four photovoltaic/ thermal solar air collectors ». Energy conversion and management, 2000, Vol 41 n° 8 pp 861-88.

[25] **T.FIJISAWA ET T.TANI**. « Annual energy evaluation on photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector ». Solar Energy Materials and solar Cells, 1997, Vol 47 n°1-43 pp 135-148

BIBLIOGRAPHIE

- [26] **Y.TRIPANAGNOSTOPOULOS.** «Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/ thermal solar energy systems ». Solar Energy, 2007, Vol 81 n° 9 pp 1117-1131.
- [26a] **I. Zeghib,** 'Etude et Réalisation d'un concentrateur solaire parabolique', Mémoire de Magistère, université Mentouri – Constantine, 2005.
- [27] Projet de Recherche Intégré 6.2. Intégration de capteurs hybrides photovoltaïques thermique au bâti. Ed. Rapport final. Lyon, France, 2004, p 52.
- [28] **P.Wuithier-** Le Raffinage et génie chimique, Tome II- 2eme Edition TECHIP-Paris – France- 1972 .
- [29]**DUFFIE J. & BECKAMAN WA,** « Solar engineering of thermal processes », Wiley inter science publication, New York, (second edition), 1991.
- [30] **K.Touafek ;** « étude d'un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique » ; Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, (2005).
- [31] **RAGHURAMANP.** Analytical predictions of liquid and air photovoltaic/ thermal, flat-plate collector performance. Journal Solar Energy Engineering, 1981, vol.103, n° 2, pp. 291-298.
- [32] **LALOVIC B., KISS Z., WEAKLIEM H.A** hybrid amorphous silicon photovoltaic and thermal solar collector. Solar Cells, 1986, vol. 19, n° 2, pp. 131-138.
- [33] **FUJISAWAT, TANI T.** Annual energy evaluation on photovoltaic-thermal hybrid collector. Solar Energy Materials and Solar Cells, 1997, vol. 47, n° 1-4, pp. 135-148
- [34] **Equer B.,** « physique et technologie de la convection photovoltaïque », volume1. Ellipses. (1993).