الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA
-ADRAR-

جامعة أحمد دراية- أدرار

Année / 2022

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences de la Matière

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme de Master en

Physique

Option : Physique Energétique et Energies Renouvelables

Thème

Etude Théorique et Expérimentale d'un Capteur Solaire Hybride (PVT)

Présenté Par :
Mlle. YOUSFI HAFFAR Nassira
Et
Mlle BAFKA Salha

Devant le jury composé de:

Mr. KAOULAL Rabeaa	Président	MCA	Université Ahmed Draia-Adrar
Mr. BEZZA Abddelfetah	Examinateur	MCB	Université Ahmed Draia -Adrar
Mr. MEDIANI Ahmed	Co-Encadreur	MRB	Unité de Recherche en Energie Renouvelable en Milieu Saharien -Adrar
Mr. HAZEM Ahmed	Promoteur	MRB	Unité de Recherche en Energie Renouvelable en Milieu Saharien -Adrar

Année Universitaire 2021/2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

People'sDemocraticRepublic of Algeria

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة أحمد دراية- أدرار
المكتبة المركزية
مصلحةالبحثالببليوغرافي

Ministry of Higher Education and Scientific Research
University Ahmed Draia of Adrar
The central library

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): حزام احمد

المشرف مذكرة الماستر الموسومة بـــ : Etude théorique et expérimentale d'un capteur solaire hybride (PVT)

من إنجاز الطالب(ة): يوسفي حفار نصير

و الطالب(ة): بافكا الصالحة

كلية :العلوم و التكنولوجيا

القسم :علـوم الـمـــادة

التخصص:فيزياء طاقوية وطاقات متجددة

تاريخ تقييم / مناقشة: 08 جوان 2022

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.

وبإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والاليكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

ادرار في : 15 جوان 2022

مساعد رئيس القسم:

د. بلعباس محمد

مساعد رئيس قسم علوم المادة مكلف بما بعد التدرج والبحث العلمي بكلية العلوم والتكنولوجيا

ملاحظة :لاتقبل أي شهادة بدون التوقيع والمصادقة.

Dédicace

Dieu soit loué, si son destin a voulu que je réussisse à accomplir ce travail, qui est le fruit de mes efforts et un résumé de mon périple d'étude.

Je dédie ce travail à mes honorables parent, ma chère mère Aicha, qui n'a cessé de lever les mains vers dieu en prière pour moi pour le paiement et le succès, à mon cher père Abd El Karim, qui m'a donné tout ce qu'il pouvait et l'a resté debout pour subvenir à mes besoins et s'est levé tôt pour s'assurer que j'arrivais à l'arrêt de transport.

À mon frère Youssef, qui m'a soutenu avec tout ce qu'il possédait, à mon frère Ahmed, qui m'a motivé à continuer les efforts déployés, à mon frère Mostapha, je dis merci pour votre soutien moral, à mon frère Boudjemaa, je dis merci, à ma sœur Fatima, qui n'a jamais cessé de me guider, de me conseiller et de prier pour moi, à ma sœur Saida, qui a renouvelé ma résolution chaque fois que je me sentais fatiguée,

À mes neveux : Afifa, Ayoub, Idris, Lina, Jannat Jawhara, à ma tante Oum Elkhir et Salma, aux femmes de mes frères, Saliha, Khadija, Zahra.

A celui qui m'a soutenu Ibrahim Ouled Bouziane, qui m'a motivé à terminer mes études.

À chaque camarade qui m'a aidé un jour, je mentionne parmi eux cherifa chikhi qui a été le plus utile et soulagé de ma fatigue pour moi et chaque enseignant, et fan qui m'a accompagné un jour dès le première où j'ai commencé mon périple d'étude.

Nassira

Dédicace

Tout d'abord, je remercie Dieu tout-puissant de m'avoir donné le courage, la force et la patience de faire ce travail malgré les circonstances difficiles que j'ai dû affronter.

Je dédie cet humble travail :

A ma chère mère, qui n'a jamais cessé de prier pour moi, de me conseiller et de me soutenir malgré sa maladie, Aicha A mon père, qui m'a soutenir financièrement et moralement.

A la source de mon espoir et de ma confiance en moi, mes sœurs Meriem, Mabrouka, Khadija, Safia, Zainab, Fatima, et surtout ma sœur Yamina, qui que Dieu la guérisse.

A mes amis, toute ma famille surtout wahiba et mes camarades de classe.

A mon vertueux professeur qui n'a pas lésiné sur nous en informations et conseils. Et mes derniers remerciements à ceux qui m'ont soutenu directement ou indirectement dans la réalisation de ce travail.

Salha

Remerciements

Nous remercions d'abord Dieu de nous avoir accordé le succès dans la réalisation de ce travail, qui est un résumé de notre parcours d'étude.

Nous exprimons nos sincères remerciements, notre appréciation et notre gratitude à notre honorable Dr. Ahmed HAZEM, qui nous a fourni et guidé avec des conseils à chaque pause et étape de ce travail.

*Nous remercions également tous les employés de l'*Unité de Recherche en Energie Renouvelable en Milieu Saharien -Adrar, *du directeur du centre au personnel d'orientation et de conseil, en particulier Mr Marwan ZEDAIRIA.*

Nous remercions également tous les enseignants et les employés de l''université d'Adrar et spécialement du département des sciences des matériaux.

ملخص:

هذا العمل عبارة عن دراسة نظرية لأجهزة اللواقط الشمسية الهجينة ذات التحويل الطاقوي المزدوج، تعتبر هذه اللواقط اكثر الانواع كفاءة من حيث المردودية في انتاج الطاقة الكهربائية، يتم التحويل الكهربائي بتحويل طاقة الفوتون الى طاقة كهربائية، والتحويل الحراري بتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة حرارية. في بعض الحالات يتم اضافة مضخة مياه عند دمج نظام تبريد للحصول على نتائج افضل، يتم استعمال هذه اللواقط في المناطق ذات الحرارة المرتفعة. تم اجراء توازن للطاقة لمختلف طبقات اللاقط الهجين واظهار نتائج بواسطة برنامج في تطبيق ما تلاب لعدسة حالات سواء في وجود التدفق او غيابه وذلك بفضل طريقة رونج كوتا في حل المعادلات من الدرجة الرابعة.

الكلمات المفتاحية: اشعة شمسية، مستشعر هجين، توازن الطاقة، التبريد، النمذجة، رونج كوتا.

Résumé :

Ce travail est une étude théorique d'un capteur hybride à double conversion d'énergie. Ces capteurs sont considérés comme le type le plus efficace en termes d'efficacité dans la production d'énergie électrique. La conversion électrique est tout simplement la transformation de l'énergie des photons en énergie électrique, et la conversion thermique est la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique. Dans certain cas, une pompe peut être utilisée pour pomper l'eau afin d'augmenter le débit et d'accélérer le processus de refroidissement, ce qui donne de meilleurs résultats. Ces capteurs sont utilisés dans les zones à hautes température. Un bilan énergétique a été réalisé pour les différentes couches de capteur hybride et les résultats ont été montrés en créant un programme sous l'environnement Matlab pour plusieurs cas, que ce soit en présence ou en absence de flux, grâce à la méthode de Runge-Kutta d'ordre 4 pour la résolution des équations.

Mots clés : Rayonnement solaire, capteur hybride, bilan énergétique, refroidissement, modélisation, Runge-Kutta.

Abstract:

This work is a theoretical study of hybrid photovoltaic thermal (PV/T) solar collector. These type of collectors are considered the most efficient type in terms of efficiency in producing electrical energy. Electrical conversion is the convert photons energy into electrical energy, and thermal conversion is the conversion of solar energy into thermal energy in some cases. In some cases, a water pump is added when the cooling system is integrated to obtain better results according to flow values. These type of collectors are used in areas with high temperatures. Energy balance was performed for the various layers of the PV/T and the results

are shown by creating a program in Matlab environment for several cases, whether in the presence or absence of flow, the Runge-Kutta fourth-order method, was used for solving the differential equations.

Key words: solar rays, hybrid collector, power balance, cooling, modelling, Runge-Kutta.

Liste des symboles :

nomenclature	Unité
Cp : Chaleur spécifique	(J/kg k)
h : Coefficient de transfert de chaleur	W/(m^2 k)
I : Rayonnement solaire	(W/m^2)
L : Longueur de PV/T	(m)
M : Masse	(kg)
Q : Energie thermique	(W)
S : Surface	(m^2)
T : Température	(k)
V : Vitesse	(m/s)
α: Coefficient d'absorption	
β : Coefficient de dilatation	(1/k)
δ : Epaisseur	(m)
ε : Emissivité	
Ƞ : Rendement	(%)
Θ : Angle d'inclinaison du capteur	(°)
λ : Conductivité thermique	(W/m k)
ρ : Densité volumique	(Kg/m^3)
σ : Constant de Stefan–Boltzmann, $5.670*10^8$	(W /m^2 k^4)
τ : Transmitivité	
$\dot{V}$: Débit volumique	(m^3 /s)
$\dot{m}$: Débit massique	(kg/s)
V_{vent} : Vitesse du vent	(m/s)

Symbole

Amb : Ambiant

C: Cellule

Ciel : Ciel

Cond : Transfer de chaleur par conduction

Conv : Transfer de chaleur par convection

EVA1 : EVA supérieure

EVA2 : EVA inférieure

Gr : Nombre de Grashof

Nu : Nombre Nusselt

P : Plaque

Pr : Nombre de Prandtl

PV/T : Panneau photovoltaïque thermique

Rad : Transfer de chaleur par radiation

Re : Nombre de Reynolds

Ref : Reference

Ted : Tedlar

v : Verre

Sommaire

List de figures

List de tableau

Introduction générale : 1

Chapitre I .....Energie solaire

I-1-Introduction 2

I-2-Le rayonnement solaire 2

I-2-1-Le soleil 2

I-2-2-Le rayonnement solaire 2

I-2-3-Le rayonnement reçu de sol 3

I-2-4-Distance terre-soleil 3

I-2-5-Absorption du rayonnement par les molécules atmosphérique 4

I-2-6-Les caractéristiques de rayonnement solaire 5

I-2-6-a-Les composition de rayonnement solaire 5

I-2-6-b- La nature de rayonnement solaire 5

I-3-La conversion de l'énergie solaire 6

I-3-1-La lumière 6

I-3-2-Energie solaire 6

I-3-3-Principe de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire 6

I-4-Le panneau photovoltaïque 7

I-4-1-Energie solaire photovoltaïque 7

I-4-2-Panneau photovoltaïque 7

I-4-3-Les composent d'un panneau photovoltaïque 7

I-4-4-Principe de cellule photovoltaïque 8

I-5-Le capteur solaire thermique 8

I-5-1-Energie solaire thermique 8

I-5-2-Capteur solaire thermique 9

I-5-3-les types de capteur solaire thermique 9

I-5-4-Principe de capteur solaire thermique 11

I-5-5-Les composent d'un capteur solaire thermique 12

I-6-Le capteur solaire hybride 12

I-6-1- Principe de capteur solaire hybride 13
I-7-Les type de capteur solaire hybride 14
I-7-1-Capteur solaire hybride à air 14
I-7-2- Capteur solaire hybride à eau 14
I-8-Conclusion..... 15
Chapitre II ..... Généralités sur le transfert de chaleur
II-1-Introduction 16
II-2-Transfert de chaleur par conduction 16
II-3- Transfert de chaleur par convection 17
II-4- Transfert de chaleur par rayonnement 18
II-5-Nombre adimensionnel 19
II-6-Propriété de l'aie et l'eau..... 21
II-7-Conclusion 22
Chapitre III : ..... Modèle mathématique du capteur solaire hybride
III-1-Description du système 23
III-2-Bilan énergétique de capteur hybride PV/T 23
III-3-Les donnés géométrique et thermo physique 29
III-4-Méthode de résolution..... 30
I-5-Conclusion..... 31
Chapitre IV :..... Résultats et discussion
IV-1-Résultats et discussion.....32
IV-2-Partie1 : Le panneau photovoltaïque..... 33
IV-3-Partie2 : Le déclanchement du système de refroidissement avec un débit fixe..... 35
IV-4-Partie3 : Le déclanchement du système de refroidissement avec un débit variable 38
IV-5-Partie4 : Le déclanchement du système de refroidissement avec un distance variable entre les jets 40
IV-6-Partie5 : Le déclanchement du système de refroidissement avec un distance variable entre les jets et le PV/T 42
Conclusion..... 44
Bibliographie 45

Liste de figure

Chapitre I **Energie solaire**

Figure (I.1) : Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné..... 6
Figure (I.2) : Les composition du rayonnement solaire 8
Figure (I.3) : Principe de photovoltaïque 20
Figure (I.4) : L'encapsulation de panneau photovoltaique 21
Figure (I.5) : Capteur solaire thermique..... 22
Figure (I.6) : Capteur solaire thermique vitré 23
Figure (I.7) : Capture thermique non vitré 23
Figure (I.8) : Capteur thermique à tubes sous vide 24
Figure (I.9) : Capteur thermique à concentration 24
Figure (I.10) : Les composent d'un capteur solaire thermique 25
Figure (I.11) : Capteur hybride thermique 26
Figure (I.12) : Capteur hybride à air..... 27
Figure (I.13) : Capteur hybride à eau 28

Chapitre II **Généralités sur le transfert de chaleur**

Figure (II.1) : Les modes de transfert de chaleur 30
Figure (II.2) : Transfer de chaleur par conduction 31
Figure (II.3) : Transfer de chaleur par convection entre fluide et une paroi 32

Chapitre III **Modèle mathématique du capteur solaire hybride**

Figure (III.1) : Capteur solaire hybride PV/T 38
Figure (III.2) : Les couches de capteur solaire hybride..... 39
Figure (III.3) : Bilan énergétique du verre 40
Figure (III.4) : Bilan énergétique de la couche EVA supérieure..... 40
Figure (III.5) : Bilan énergétique de la cellule 41
Figure (III.6) : Bilan énergétique de la couche d'EVAinférieure 42
Figure (III.7) : Bilan énergétique de la couche de tedlar..... 42
Figure (III.8) : Bilan énergétique de la plaque 43

Chapitre IV **Résultats et discussion**

Figure (IV.1) : l'évolution de la température ambiante et la température du ciel avec l'évolution de rayonnement solaire 48
Figure (IV.2) : Variation de la température des différentes couches du PV 49
Figure (IV.3) : Variation de la température de cellule et ambiante du PV 50
Figure (IV.4) : Evolution de la puissance électrique du PV..... 50
Figure (IV.5) : Variation de la rendement électrique du PV 51
Figure (IV.6) : Variation de la température des différentes couches à débit fixe 52

Figure (IV.7) : Variation de la température de la cellule et ambiante à débit fixé..... 52
Figure (IV.8) : Evolution de la puissance électrique à débit fixe..... 53
Figure (IV.9) : Variation de la rendement électrique à débit fixe 53
Figure (IV.10) : Variation de la température de cellule et ambiante à débite variable 54
Figure (IV.11) : Variation de la puissance électrique à débit variable..... 55
Figure (IV.12) : Variation de la rendement électrique à débit variable 55
Figure (IV.13) : Variation de la température de cellule et ambiante àdistance variable entre le jet et le PV/T 56
Figure (IV.14) : Evolution de la puissance électrique à distance variable entre le jet et le PV/T 57
Figure (IV.15) : Variation de la rendement électrique à distance variable entre le jet et le PV/T 57
Figure (IV.16) : Variation de la température de cellule et ambiante à distance variable entre deux jets..... 58
Figure (IV.17) : Evolution de la puissance électrique à distance variable entre deux jets..... 58
Figure (IV.18) : Variation de la rendement électrique à distance variable entre deux jet..... 59

Liste de tableau

Chapitre II **Généralités sur le transfert de chaleur**

Tableau (II.1) : Type numbre de Nusselt 33
Tableau (II.2) : Propriétès physiques de l'air..... 35
Tableau (II.3) : Propriétés physiques de l'eau 35

Chapitre III **Modèle mathématique du capteur solaire hybride**

Tableau (III.1) : Les donné géométrique..... 44
Tableau (III.2) : Les donné thermo physique..... 44

Introduction générale :

L'énergie solaire est utilisée principalement sous deux formes, l'énergie thermique et l'énergie électrique. [1]

Là où la forme thermique sert à chauffer l'eau des habitations et l'eau des piscines résidentielles, et la forme électrique sert à alimenter le circuit électrique en énergie et à faire fonctionner les machines et les équipements électriques fonctionnant à l'électricité.

Les systèmes thermiques et photovoltaïques lorsqu'ils sont utilisés à un endroit sont installés normalement comme des unités séparées. Au cours des années précédentes, une grande quantité de travaux de recherches sur les capteurs PV/T ont été menés. Provenant de plusieurs développements indépendants qui ont tous eu comme conséquence l'idée d'intégrer le photovoltaïque et le flux de chaleur produit dans un seul capteur. [1]. Nous profitions de ce dispositif de deux manières en utilisant à la fois les deux types d'énergies de production électrique et thermique sans n'en négliger aucune.

Dans ce mémoire nous avons étudié le capteur solaire hybride en réalisant un bilan énergétique sur les couches de capteur. Nous avons également abordé dans cette recherche le système de refroidissement du PV/T avec ses types naturel et forcé, en plus de l'effet du débit sur le changement de température des couches de PV/T.

Les aspects les plus importants traités dans ce travail sont l'étude théorique et appliquée du transfert de chaleur entre les couches d'un PV/T et les facteurs qui l'affectent.

Le premier chapitre porte sur les concepts généraux concernant le rayonnement solaire et ses propriétés. Dans celui-ci, nous avons rappelé les bases du panneau solaire et ses types communs, avec des explications sur le principe de chacun d'eux en fonction de l'objectif qu'ils servent.

Le deuxième chapitre traite le concept de transfert de chaleur et des trois types de transfert de chaleur (conduction, convection et rayonnement).

Les troisièmes et quatrièmes chapitres comprennent l'aspect mathématique et analytique, le troisième est un bilan énergétique de toutes couches de PV/T. Quant au quatrième chapitre, il s'agit d'une analyse graphique des variations de température en fonction de certaines conditions, comme le débit, la distance entre deux jets et la distance entre le jet et la plaque.

Chapitre I :
Énergie solaire

I-1-Introduction :

Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans l'espace. Une moyenne de 1367 Watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre. [2]

L'un des principaux facteurs sur lesquels repose l'étude de la conversion électrique de la lumière est la nature du rayonnement solaire. Dans ce chapitre nous sommes concentrés sur les basses du domaine de l'énergie solaire, y compris les installations de lumière émise par le soleil et le processus de conversion qui opère dans les systèmes solaires pour produire de l'électricité.

I-2-Le rayonnement solaire :

I-2-1-Le 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. 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. [3]

I-2-2-Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est à l'origine de plus de 90% de l'énergie consommée. L'homme, pour ses besoins, puise dans le cycle énergétique naturel (hydro-électricité, biomasse). [3]

Et puisque le rayonnement provient d'une source naturelle, c'est-à-dire qu'il ne coule pas, il s'est fait cette matière en la pensant et l'exploitant pour en tirer grande profit. En même temps, il ne présent pas de danger pour la nature en termes de pollution, et c'est qui en a fait être une alternative dans certains cas pour compenser les modes de production d'énergie qui polluent l'environnement.

I-2-3-Le rayonnement reçu de sol :

Des recherches scientifiques ont été menées sur le rayonnement solaire qui nous parvient du soleil, et il a été prouvé qu'il existe une différence entre la composition de la lumière à l'extérieure st l'intérieure de l'atmosphère terrestre. Il a été constaté que l'atmosphère ne permet le passage que de certains types de lumière solaire, car il n'y a que trois types dans l'atmosphère, qui sont suivants :

- Le rayonnement direct est celui ne subit aucun changement dans sa structure structurelle lorsqu'il traverse l'atmosphère.
- Le rayonnement diffus est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Il n'a pas de direction privilégiée. [4].
- Le rayonnement global est la somme du rayonnement direct et diffus. [4]

$$G = S + D \qquad \text{(I-1)}$$

G : Le rayonnement global,

S : Le rayonnement direct,

D : Le rayonnement diffus

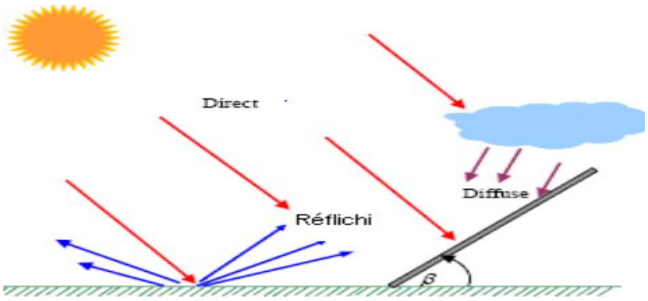

Figure (I.1) : Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné [5]

I-2-4-Distance terre-soleil :

Dans la rotation de la Terre autour du Soleil nous mettons en évidence deux points singuliers :

-Le périhélie est le point où la distance entre le soleil et la Terre est la plus petite.

-L'aphélie est le point le plus éloigné du Soleil sur l'orbite de la Terre. [6]

On sait que les planètes tournent autour du soleil sur une orbite elliptique, ce qui signifie que la distance entre toute planète et le soleil change fonction de son mouvement dans l'orbite, de même que pour la terre, la distance entre elle et le soleil est varié, nous constatons donc que la productivité des panneaux solaires pour l'énergie électrique varie, car il fonctionne en fonction du pourcentage de rayonnement solaire qu'il reçoit.

Il est possible de définir la distance minimale, la distance maximale et la distance moyenne.

En mesurant la distance entre les centres du Soleil et de la Terre, nous devons :

- La distance minimale du Soleil à la Terre est de 147 098 074 km.
- La distance maximale du Soleil à la Terre est d'environ 152 millions de kilomètres, plus précisément 152 097 701 km.
- La distance moyenne du Soleil à la Terre est de 149 597 870 km. [6]

I-2-5-Absorption du rayonnement par les molécules atmosphériques :

Au cours de leur pénétration dans l'atmosphère, les photons solaires entrent en collision avec les molécules atmosphériques et sont progressivement absorbées. L'absorption du rayonnement par les molécules atmosphériques est intimement liée à leurs caractéristiques énergétiques. [7]

La nature des photons photoélectriques les fait affecter chaque objet avec lequel ils entrent en collision. De par leur nature, lorsqu'ils entrent en collision avec un objet, ils provoquent une perturbation dans sa structure électronique, car les électrons du matériau gagnent une énergie supplémentaire qui le met dans un état d'agitation et d'instabilité, conduisant à son transfert d'un niveau d'énergie à un autre en fonction de l'énergie acquise du photon. L'énergie des photons est l'une des principales sources d'occurrence des interactions les plus importantes de l'univers et une source de vie pour certains organismes aussi sur la terre.

Ainsi, on peut distinguer 4 types d'absorption suivant l'énergie du photon incident :

- Ultraviolet : les molécules sont dissociées. L'absorption n'est pas quantifiée.
- Visible : les molécules changent de configuration électronique. L'absorption est quantifiée.
- Infrarouge : les molécules vibrent. L'absorption est quantifiée.

- Micro-ondes : les molécules tournent. L'absorption est quantifiée. [7]

I-2-6-_Les caractéristique de rayonnement solaire :

I-2-6-a-Les compositions :

Il est composé de toute la gamme des rayonnements, de l'ultraviolet lointain comme les rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière visible. Le rayonnement solaire contient aussi des rayons cosmiques de particules animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevées. [8]

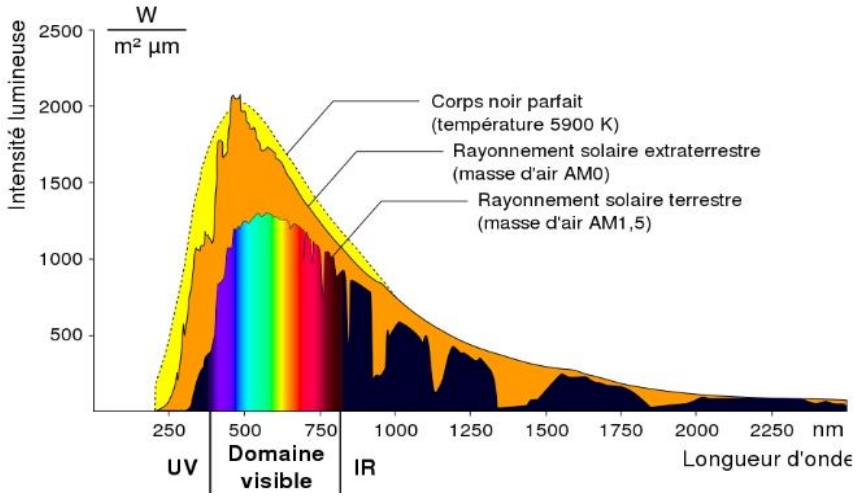

Figure (I.2) : Les compositions du rayonnement solaire [9]

Cette composition différente de la lumière lui confère de multiples rôles pour différents phénomènes cosmiques. Pour la terre, l'atmosphère ne permet le passage que de certains types de sa composition, qui ne présent aucun danger pour les organismes à la terre, tandis que certaines d'entre eux sont réfléchis.

I-2-6-b-La nature du rayonnement solaire :

La lumière est la transmission de photons de nature photoélectrique sous forme d'ondes électromagnétique dont l'énergie émise est liée au type de longueur d'ondes qui les composent, à savoir les rayons infrarouges, ultraviolets et autre ondes photoélectrique.

I-3- La conversion de l'énergie solaire :

I-3-1-La Lumière :

Un faisceau lumineux est un déplacement de petits corps porteurs d'énergie, ou photons, comme l'a décrit Einstein en 1905, pour expliquer l'effet photoélectrique. La lumière est décrite également comme une onde électromagnétique. [10]

La lumière est un élément essentiel pour toutes sortes d'organismes, car elle représente l'importance de certaines d'entre eux dans l'existence. La lumière solaire est un fournisseur d'énergie de base et sa nature lui permet d'affecter les composés biologiques.

I-3-2-Énergie solaire :

L'énergie solaire est une source d'énergie qui est dépendante du soleil. Cela signifie que la matière première est le soleil. Elle se place dans la catégorie des énergies renouvelables puisqu'on la considère comme inépuisable. On dit aussi que c'est une énergie 100% verte car sa production n'émet pas directement de CO2. [11]

A partir de l'énergie du soleil est venue l'idée d'utiliser cette énergie au profit de l'humanité, alors l'idée est venue de l'utiliser pour produire de l'électricité afin de compenser la pénurie de matières pétrolières et la difficulté de les traiter.

La question dans ce domaine était basée sur la façon de convertir l'énergie des photons émis par le soleil en énergie électrique. A partir de là, les inventions ont commencé à suivre jusqu'à ce que l'on atteigne les soi-disant panneaux solaire, qui ont une propriété qui le permet créer un courant électrique pour d'déplacer des électrons à l'intérieure en présence de photons lumineux.

Ces panneaux sont fabriqués avec les matériaux qui sont affectés par la présence de lumière afin que leur nature leur permette de gagner des électrons à partir des photons, qui provoquent leur transfert d'un niveau d'énergie à autre.

I-3-3- Le principe de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire :

La conversion photovoltaïque est justement la transformation de l'énergie du photon en énergie électrique grâce au processus d'absorption de la lumière par la matière. [10]

Lorsqu'un électron se déplace dans une substance d'un niveau d'énergie à un autre, il provoque une turbulence des particules de la substance, ce qui l'amène à rechercher

l'équilibre. Il remplace l'électron par l'électron le plus proche de lui à partir de la molécule la plus proche, ce qui le rend également dans un état instable.

Ce processus se poursuite à l'intérieure du matériau où se crée un champ qui dirige le mouvement des électrons, provoquant leur transfert d'une différence de potentiel, qui s'incarne sous la forme d'un courant, et ce processus est ce qui incarne pour nous comment convertir l'énergie solaire en énergie électrique. Ce transfert des électrons à l'intérieure de la matière fait montre la température

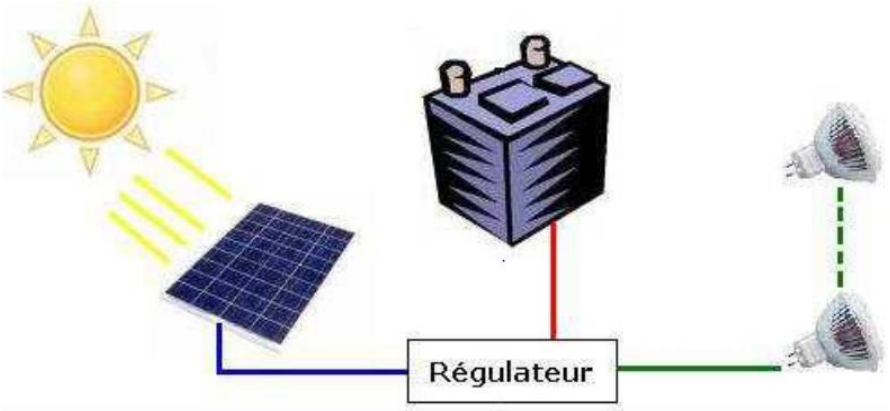

Figure (I.3) : Principe de photovoltaïque [12]

I-4-Le panneau photovoltaïque :

I-4-1-Energie solaire photovoltaïque *:*

Energie solaire photovoltaïque, c'est l'énergie produite par les panneaux solaires à partir de la conversion de l'énergie solaire, dont la principale source est le soleil. Il en mentionne deux types, soit électrique ou thermique, selon la conversion que les panneaux effectuent. Chaque type d'énergie est utilisé dans un domaine précis.

I-4-2-Panneau photovoltaïque :

Le panneau solaire se compose d'un groupe de modules photovoltaïques, qui sont à leur tour un certain nombre de cellules photovoltaïques. Les cellules sont connectées en série, tandis que les modules sont connectés les uns aux autres en série et en parallèle.

I-4-3-les composent d'un panneau :

Le panneau solaire se compose de plusieurs couches selon leur qualité et leur destination, mais elles ne diffèrent pas beaucoup. Il est principalement composé d'une couche

de verre, EVA, (EVA est synonyme d'éthylène acétate de vinyle), Cellule, et Tedlar, en plus de la présence d'un isolant, mais dans certaine panneaux solaire certaines pièces sont ajoutées afin d'augmenter l'efficacité de leur travail.

Par exemple, dans ce travail, nous avons mené une étude pour réaliser un panneau solaire composé de cinq couches dans l'ordre suivant : le verre, EVA supérieur, Cellule, EVA inferieur et Tedlar, comme indiqué dans la figure ci-dessous :

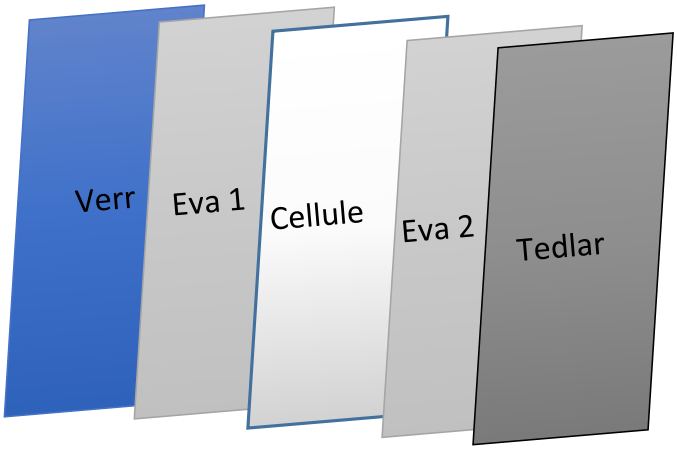

Figure (I.4) : L'encapsulation de panneau photovoltaïque

I-4-4-Principe de Cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est un capteur constitué d'un matériau semi-conducteur absorbant l'énergie lumineuse et la transformant directement en courant électrique. Le principe de fonctionnement de cette cellule fait appel aux propriétés d'absorption du rayonnement lumineux par des matériaux semi-conducteurs. [13]

Dans la fabrication de cellule le fabricant s'appuie sur des matériaux aux propriétés physiques qui leur permettent de libérer des électrons lorsqu'ils sont exposés au rayonnement solaire, car la base de la conversion pour laquelle il a été trouvé et créer un transfert d'électrons au sein du matériau.

I-5-Capteurs solaire Thermique :

I-5-1-Énergie solaire thermique :

L'énergie thermique est la conversion de L'énergie solaire en chaleur qui est utilisée pour le chauffage ou le chauffage de l'eau. Cette énergie est utilisée pour couvrir les besoins

en sources de chaleur dans les régions froides et pour réduire le coût d'utilisation des appareils électrique pour produire de la chaleur.

I-5-2- Capteur solaire thermique :

Le capteur thermique est spécialement conçu pour convertir l'énergie solaire en énergie thermique car il contient un circuit fermé d'un tube porteur de fluide qui transfère la chaleur du capteur vers l'extérieur, on peut utiliser cette chaleur pour chauffer l'eau sanitaire exemple.

Il existe plusieurs types de capteurs solaires thermiques parmi eux : les capteurs vitrés, les capteurs non-vitrés, les capteurs sous vide, les capteurs à concentre.

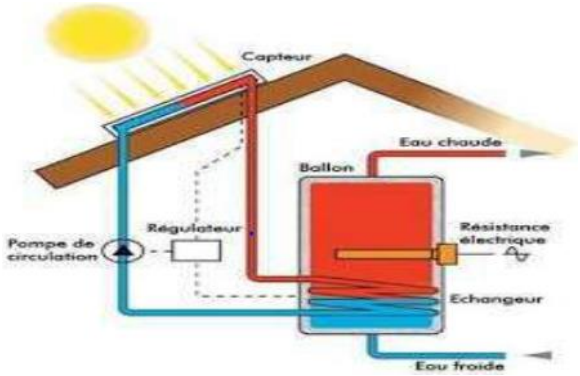

Figure (I.5) : Capteur solaire thermique [13]

I-5-3-Les types de capteur solaire thermique :

Les capteurs plans vitrés :

Le capteur plan vitré est bien adapté aux besoins des habitations. Ses températures de fonctionnement correspondent aux températures de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire [14]

Dans ce type, une couche de verre est ajoutée pour la protection afin qu'elle soit très fine et laisse passer le pourcentage le plus élevé possible de lumière solaire.

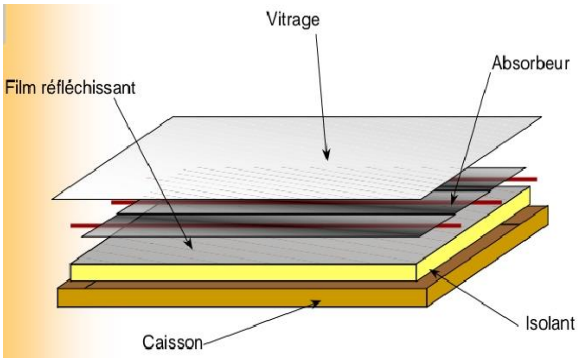

Figure (I.6) : Capteur solaire thermique vitré [14]

Capteur non vitré :

Habituellement, ces capteurs sont faits de caoutchouc ou de polymère stabilisé aux rayons ultraviolets. Ils n'ont pas de boîtier et sont plus fréquemment employés à des fins de chauffage. [15]

Il est utilisé pour les basses températures telles que le chauffage de l'eau des réservoirs domestiques ou des piscines.

Figure (I.7) : Capture thermique non vitré [16]

Capteur à tubes sous vide :

Ce type de capteur est composé de tubes sous vide qui entourent une plaque métallique absorbante. Au même titre qu'une bouteille isolante, le vide dans ce système réduit les pertes de chaleur. [15]

Ce type de capteur est utilisé dans les régions très froides. Il est spécialement conçu avec un vide dans les canalisations, car le rôle de ce vide est de réduire les pertes de chaleur. Ces capteurs sont de type à coût élevé grâce à leur conception spéciale pour fonctionner dans climats rudes.

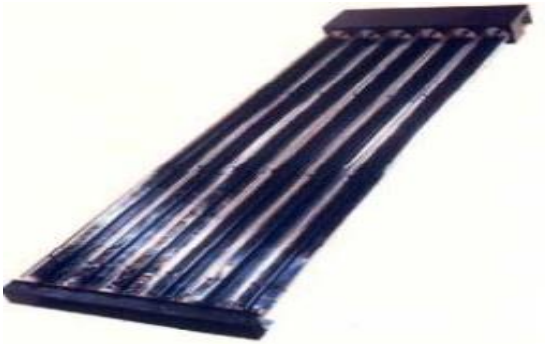

Figure (I.8) : Capteur thermique à tubes sous vide [14]

Capteur solaire thermique à concentration :

Ce type réfléchit les rayons vers un dispositif central qui les capte, et l'énergie thermique est récupérée par un dispositif appelé Stirling.

Figure (I.9) : Capteur thermique à concentration [17]

I-5-4-Principe de capteur solaire thermique :

Un collecteur solaire ou capteur solaire est utilisée pour extraire la chaleur du rayonnement du soleil. Ainsi, un collecteur fait toujours quelque chose de chaud. Au cœur d'un capteur solaire est un absorbeur solaire. Ce dernier absorbe le rayonnement du soleil et la convertir en chaleur. Les capteurs solaires sont utilisés pour chauffer l'eau domestique, chauffage domestique, et produire de la chaleur à haute température, les centrales thermiques peuvent même produire de l'électricité à partir de la chaleur à haute température. [13]

I-5-5-les composent d'un capteur solaire thermique :

La composition du capteur différent composant du collecteur plat Les capteurs solaires planaires est généralement constituée de boîtes, de fenêtres en verre, d'isolateurs, d'absorbeurs et de tubes qui laissent passer le fluide caloporteur [18]

- Verre : il est utilisé pour protéger le capteur des influences extérieur et présente une barrière positive à la rétention de chaleur interne.
- L'absorbeur : il convertit l'énergie solaire en énergie thermique, qui est le composant le plus important du capteur thermique.
- Les fluides caloporteurs : il libère la chaleur produit pour être exploitée à travers un cycle de transmission fermé.
- Les isolants thermiques : est utilisé pour protéger contre les effets des températures élevées, car elle en absorbe les dommages à le capteur.

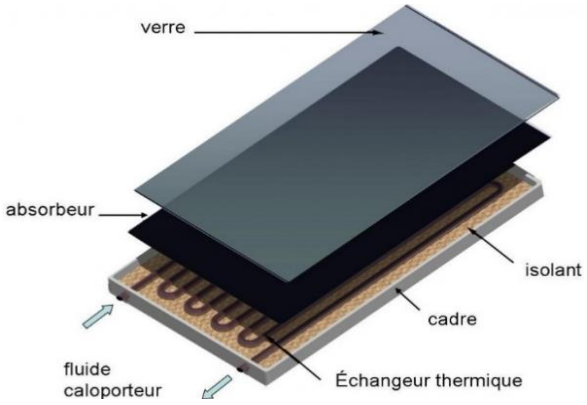

Figure (I.10) : Les composent d'un capteur solaire thermique [19]

I-6- Capteur hybride photovoltaïque thermique (PV/T) :

Une grande partie du rayonnement solaire n'est pas convertie en électricité et accroit leur température entrainant ainsi une baisse de leur rendement électrique. Les capteurs solaires PV/T hybrides sont des systèmes utilisant des modules photovoltaïques (PV) comme absorbeur thermique. Par récupération d'une partie de la chaleur dissipée par les modules PV à l'aide d'un fluide caloporteur, ces capteurs solaires hybrides permettent la production simultanée d'énergies thermique et électrique. [13]

Les capteurs solaires hybrides représentent une station de raccourci pour les deux types d'énergie thermique et électrique dans une PV/T. Ces complexes dépendent de la présence de deux systèmes de travail dans une PV/T, dont l'un se limite à convertir l'énergie

de photons en énergie électrique par le processus de la conversion d'énergie, et l'autre à exploiter la chaleur qui produite par le rayonnement solaire pour chauffer l'eau ou l'air.

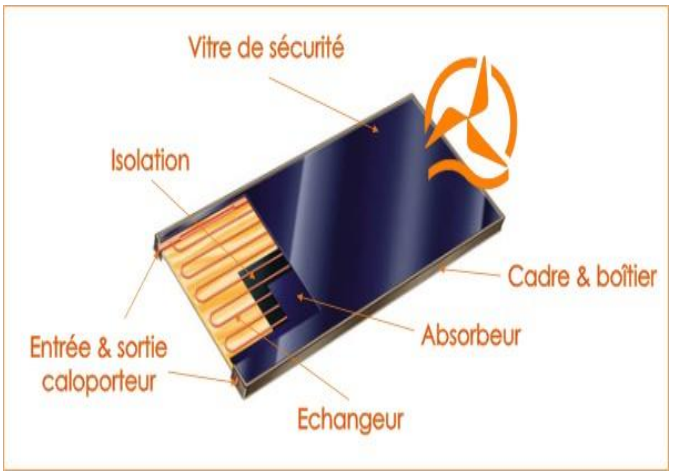

Figure (I.11) : Capteur hybride thermique [20]

L'exploitation de la chaleur générée par les systèmes de refroidissement permet de la réduire à l'intérieure de PV/T, en raison de son impact négatif sur la quantité d'énergie électrique produite, comme sa valeur élevée à l'intérieure de PV/T réduit l'efficacité de la production, sa réduction donne de meilleurs résultats.

I-6-1-Principe du capteur PV/T :

La recherche et le développement dans les systèmes solaires photovoltaïques thermiques ont été menés depuis les années 1970. Surtout après la crise pétrolière de 1973, il était une prise de conscience à propos de la pénurie de ressources et la nécessité de développer les ressources énergétiques renouvelables indépendantes et locales.

Cela a été particulièrement significative pour l'industrie photovoltaïque et donc aussi pour le développement de systèmes PV/T. La principale caractéristique d'un système solaire hybride PV/T est la conversion de rayonnement solaire en électricité et en chaleur en même temps et elles sont généralement tenues au même endroit, ce qui rend la combinaison de ces systèmes est particulièrement intéressante, via le procédé d'extraction de chaleur du PV/T.

la cellule photovoltaïque est activement refroidie ce qui permet de stabiliser ces performances électriques élevées (le rendement total de l'énergie produite par unité de surface est augmenté); un mètre carré de surface de PV/T donne plus d'électricité et de la chaleur par rapport à un mètre carré de module photovoltaïque et d'un mètre carré d'un capteur solaires

thermiques séparément installés, les systèmes combinés permettent une apparence plus uniforme sur les toits et diminuée des coûts de l'installation. [13]

I-7- Les types de capteur solaire hybride PV/T :

I-7-1- capteur solaire hybride a air :

Les panneaux hybrides à air (plus connus sous le nom de panneaux apéro-photovoltaïque) sont équipés d'une ventilation, située sur leur face arrière [21]. Ici, sont pris en compte les capteurs solaires PV/T à air et les capteurs solaires PV intègres aux bâtiments dans une configuration de type double- peau avec récupération de chaleur dans la lame d'air en sous-face. [22]

Cet appareil, le fluide caloporteur est l'air. Le processus de transfert de chaleur produite par l'appareil PV/T se déroule dans un tube en forme d'anneau à traverse lequel l'air chaude provenant de PV/T passe pour perdre sa chaleur à l'intérieur d'un espace froid, qu'il s'agisse d'un réservoir d'eau ou utilisé pour chauffer des pièces, il devient donc moins chaud pour se déposer au fond du tube, il se déplace à nouveau vers l'appareil PV/T, et donc son cycle consiste à transférer de la chaleur.

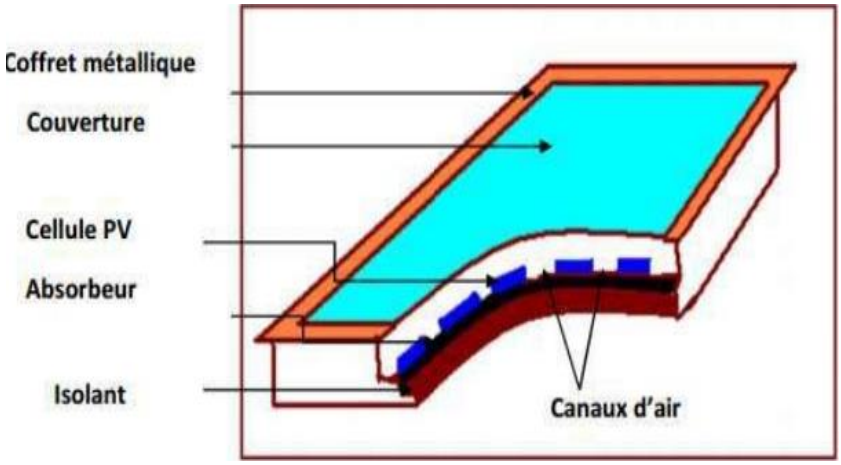

Figure (I.12) : Capteur hybride à air [13]

I-7-2-Capteur solaire hybride a eau :

Les panneaux hybrides à_eau utilisent la chaleur récupérée pour chauffer un fluide caloporteur (qui transport la chaleur). Il transfère ensuite cette chaleur à l'eau. [21]

Ce type est spécialement conçu pour le chauffage de l'eau, le fluide en mouvement travaille à l'intérieure d'un tube annulaire, ces panneaux sont fixés sur les toits des maisons pour faciliter la circulation du fluide s'échauffe, il change aléatoirement de position et chemine à l'intérieure du tube pour atteindre l'intérieure du réservoir, il perd sa chaleur pour revenir du côté opposé vers le panneau.

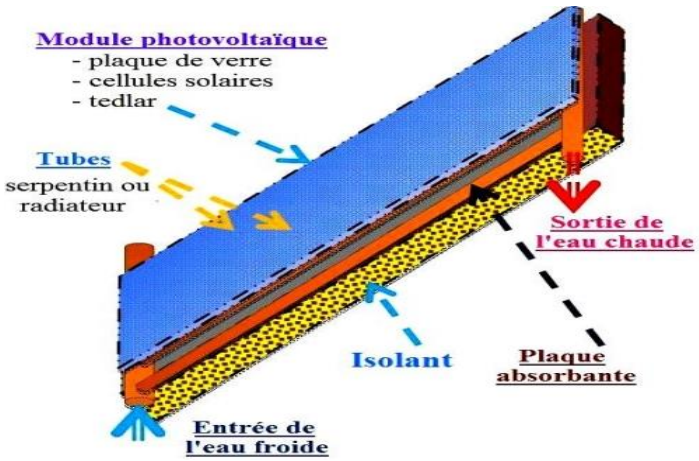

Figure (I.13) : Capteur hybride à eau. [23]

I-8-Conclusion :

La conversion de l'énergie solaire en énergie thermique nécessite la présence d'un fluide pour transférer la chaleur de l'intérieur du panneau solaire vers l'extérieur, et ce travail a pour rôle de couvrir les besoins en eau chaude et en chauffage pendant la saison hivernale.

Dans le cas de La conversion de l'énergie solaire en énergie électrique cela matérialise un transfert d'électrons d'une orbite énergétique à autre grâce à l'énergie des photons lumineux qu'elle a acquis à l'intérieure du matériau de sort qu'un type de matériau qui à la propriété de libérer des électrons lorsqu'il est exposé au soleil est toujours utilisé.

Les aspects qui ont été abordés dans ce chapitre sont les captures hybrides PV/T, car ils offrent un meilleur rendement de travail que le panneau solaire dans la quantité d'énergie électrique produite.

Chapitre II : Généralités sur le transfert de chaleur

II-1-Introduction :

On définit le transfert de chaleur comme de l'énergie thermique en transit à cause d'une différence de température. [24]

Le passage de chaleur se fait soit entre deux corps avec différent température, soit à l'intérieure d'un corps qui est déséquilibré thermiquement. Ce processus prend une direction allant de l'élément ou de l'emplacement le plus chaud au moins de chaleur.

Dans notre vie quotidienne, il existe de nombreux exemples qui incarnent le transfert de chaleur entre deux parties, par exemple : la cuisson, le chauffage et l'exposition au soleil.

Les trois modes de transfert de chaleur sont : la conduction thermique, la convection thermique et le rayonnement.

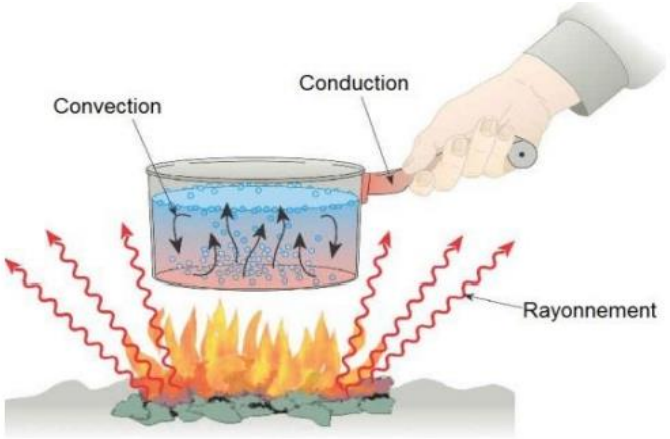

Figure (II.1) : Les modes de transfert de chaleur [25]

Nous mentionnons dans ce domaine les types de transfert thermique qui existent, y compris la conduction, la convection et le rayonnement, de sorte que chacun d'eux a son propre cas pour que le processus de conversion ait lieu. La conversion thermique est considérée comme l'une des bases de la science dans le développement le travail des panneaux solaire, et il est particulièrement important dans les zones qui connaissent une augmentation significative du pourcentage de rayonnement solaire.

II-2-Transfert de chaleur par conduction :

C'est le processus de transfert de chaleur qui se produit entre deux corps solides en contact, et il n'y a pas d'espace ou de milieu entre eux. La chaleur est transférée par contact

de sorte que la chaleur emprunte un chemin du corps le plus chaud, le processus de transfert de chaleur se poursuit jusqu'à ce qu'un équilibre se produise entre les deux corps pour prendre des températures égales.

Ce cas explique le processus de transfert d'électrons libres du corps qui a plus de l'augmentation de la température vers le corps plus stable.la température élevée provoque le mouvement des particules du matériau pour leur donner une énergie vibratoire. Il y a un transfert spontané libre entre les corps en contact.

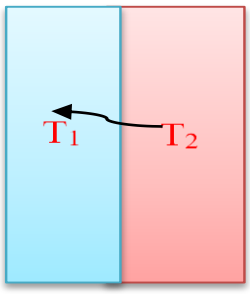

Figure (II.2) : Transfert de chaleur par conduction

Le processus de transfert de chaleur est effectué selon l'équation suivante :

Loi de Fourier

$$\varphi=-\lambda*S*\frac{\partial T}{\partial x} \qquad \text{(II-1) [26]}$$

φ : Flux de chaleur transmis par conduction (w).

λ : Conductivité thermique du milieu (w m^{-1} °c^{-1}).

X : Variable d'espace dance la direction du flux (m).

S : Surface de la section perpendiculaire (m^2).

II-3-Transfert de chaleur par convection :

Transport d'énergie dans la matière avec déplacement de matière, ou en dit c'est le transport par écoulement de fluide (liquides, gaz) dû au différence de masse volumique. [24]

L'étude du transfert de chaleur par convection permet de déterminer les échanges de chaleur se produisant entre un fluide et une paroi. [25]

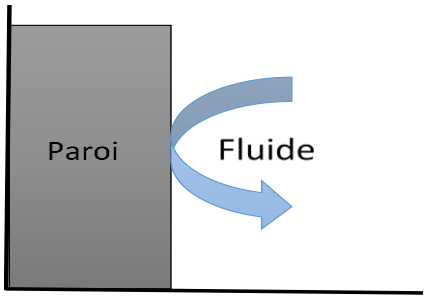

Figure (II.3) : Transfert de chaleur par convection entre fluide et une paroi

Selon les cas étudiés, deux types de convection naturelle et forcée sont mentionnés :

La convection libre ou naturelle : le fluide est mis en mouvement sous le seul effet des différences de masse volumique résultant des différences de températures sur les frontières et d'un champ de forces extérieures (la pesanteur). [22]

Où le naturel représente le transfert de chaleur entre un fluide a l'état gazeux avec un corps, qui est naturel car spontané et se produit sans conditions.

La convection forcée : le mouvement du fluide est induit par une cause indépendante des différences de température (pompage, ventilation...). [22]

Cette conversion fonctionnera artificiellement sur accélérer le transfert de chaleur entre les deux extrémités car il est considéré comme plus efficace que la normale car il peut contrôler-le en utilisant autant que possible la chaleur.

II-4-Transfert de chaleur par rayonnement :

C'est le processus de transfert de chaleur dans le vide au moyen de rayons dans lequel la chaleur est transférée d'un corps rayonnant à un corps solide de moins de chaleur. Cette conversion se fait sous forme de rayons prenant une direction directe du corps rayonnant vers l'autre côté, à condition qu'il y ait une opposition entre les deux côtés.

Le processus de transfert de chaleur est effectué selon l'équation suivante :

$$\varphi = \sigma * \varepsilon_p * S * (T_p^4 - T_\infty^4) \qquad \text{(II.2) [26]}$$

φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement (W)

σ : Constant de Stefan ($5.67*10^{-8}$ W m^{-2} k^{-4})

ε_p : Facteur d'émission de la surface

S : La surface de la section perpendiculaire (m^2)

T_p : Température de la surface (k)

T_∞ : Température du milieu environnant la surface (k)

II-5-Les Nombres adimensionnels :

A- Le nombre de Nusselt :

C'est un nombre adimensionnel d'échange de chaleur, il représente le rapport du transfert de chaleur par convection à celui par conduction dans une couche de fluide d'épaisseur (L). La forme adimensionnelle appropriée de ce paramètre (h) est le nombre de Nusselt (Nu) défini par : [27]

$$N_u = \frac{h^{conv} * \Delta t}{\lambda} \qquad \text{(II.3)}$$

Le nombre de Nusselt est presque toujours donné par la relation suivant : [28]

$$N_u = C_1 * Re^a * Pr^b * (\mu/\mu_p)^c$$

Les formules de nombre de Nusselt :

Le tableau suivant montre certaines des formules que le nombre de Nusselt peut prendre en fonction de la forme du corps dans lequel se produit le transfert de chaleur.

Géométrie	Corrélation
Écoulement sur un plan	Nu (x) : Nu à la distance x du bord du plan Nu_L : Nu moyen sur la longueur L du plan Ecoulement turbulent Nu (x)= $0.0288*Re(x)^{0.8}*Pr^{1/3}$ Re > $5*10^5$ et Pr>=0.5 $Nu_L=0.628*Re_L^{0.8}*Pr^{1/3}$ Ecoulement laminaire Nu (x)= $0.324*Re(x)^{0.5}*Pr^{1/3}$ Re > $5*10^5$ et 10 >=Pr>=0.5 $Nu_L=0.628*Re_L^{0.5}*Pr^{1/3}$
Ecoulement un tube	Ecoulement turbulent : Nu =$0.023*Re^{0.8}*Pr^n$ n=0.3 si $\Theta_{fluid} > \Theta_{paroi}$ Re>5000 et 0.6<Pr<100 n=0.4 si $\Theta_{fluid} > \Theta_{paroi}$

<table>
<tr><td></td><td>Re calculé pour D_H=4S/P ou : S=Section de passage fluide
P=Périmètre de contact fluide /paroi
Ecoulement laminaire : $Nu=1.86*(Re*Pr)^{1/3}*(D/L)^{1/3}(\mu/\mu_p)^{0.14}$
Valable pour Re* Pr* D/L>=10, μ_p calculé à Θ_p</td></tr>
<tr><td>Ecoulement perpendiculaire à un cylindre circulaire</td><td>$N_u = C * Re^n * Pr^{1/3}$, Vitesse U_x calculée en amont du tube
<table>
<tr><th>Re</th><th>C</th><th>n</th></tr>
<tr><td>0.4-4</td><td>0.989</td><td>0.330</td></tr>
<tr><td>4-40</td><td>0.911</td><td>0.385</td></tr>
<tr><td>40-4000</td><td>0.683</td><td>0.466</td></tr>
<tr><td>4000-40000</td><td>0.193</td><td>0.618</td></tr>
<tr><td>40000-250000</td><td>0.0266</td><td>0.805</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

Tableau (II.1) : Table de formules de nombre de Nusselt [26]

B- Le nombre de Prandtl :

Il représente le rapport de la diffusivité moléculaire due à la quantité de mouvement par la diffusivité thermique, il est donné par : [27]

$$Pr = \frac{C_p * \mu}{\lambda} \qquad \text{(II.4)}$$

C- Le nombre de Reynolds :

Le nombre de Reynolds. Il représente le rapport des forces de flottabilité aux forces de viscosité, il est donné par : [27]

$$R_e = \frac{v*\rho*L}{\mu}$$

Dans un écoulement laminaire dans des conduites, des particules de fluide se déplacent en couches parallèles sans se mélanger les unes aux autres. La distribution de la vitesse du fluide dans le tuyau n'est pas homogène. [29]

Dans un écoulement turbulent, les différentes couches de fluide s'entremêlent en tourbillonnant et échangent de l'énergie entre elles. La forme d'écoulement qui se forme est caractérisée par des mouvements tridimensionnels, imprévisibles et non stationnaires. Une couche limite laminaire demeure en partie, mais uniquement dans la zone périphérique du tuyau. [29]

Si Re < 2000 le régime est laminaire

Si 2000 < Re < 3000 le régime est intermédiaire

Si Re > 3000 le régime est turbulent [22]

Le nombre de Grashoff :

Il représente le rapport des forces de flottabilité aux forces de viscosité, il donné par : [27]

$$G_r = \frac{g*\beta*\Delta t*L^3*\rho^2}{\mu^2} \quad (II.5)$$

II-6-Propriétés physiques de l'air et de l'eau :

L'étude Du transfert de chaleur en présence d'un système de refroidissement dépend des caractéristiques de l'eau et l'air, les tableaux suivant indiquent les valeurs approximatives de ces caractéristiques en fonction de l'angle d'inclinaison de la capture :

Θ	ρ	Cp	λ	μ 10^4	10^5 .a	Pr
°c	$Kg.m^{-3}$	$J.kg^{-1}.°c^{-2}$	$w.m^{-1}.°c^{-1}$	$Pa.S^{-1}$	$M^2.S^{-1}$	
0	1.292	1006	0.0242	1.72	1.86	0.72
20	1.204	1006	0.0257	1.81	2.12	0.71
40	1.127	1007	0.0272	1.090	2.40	0.70
60	1.059	1008	0.0287	1.99	2.69	0.70
80	0.999	1010	0.0302	2.09	3.00	0.70
100	0.946	1012	0.0318	2.18	3.32	0.69
120	0.898	1014	0.0333	2.27	3.66	0.69
140	0.854	1016	0.0345	2.34	3.98	0.69
160	0.815	1019	0.0359	2.42	4.32	0.69
180	0.779	1022	0.0372	2.50	4.67	0.69
200	0.746	1025	0.0386	2.57	5.05	0.68
220	0.700	1028	0.0399	2.64	5.43	0.68
240	0.688	1032	0.0412	2.72	5.80	0.68
260	0.662	1036	0.0425	2.79	6.20	0.68
280	0.638	1040	0.0437	2.86	6.59	0.68
300	0.616	1045	0.0450	2.93	6.99	0.68

Tableau (II.2) : Propriétés physiques de l'air à 1 atmosphère [26]

Θ	ρ	Cp	λ	μ 10^4	10^5 .a	Pr
°c	$Kg.m^{-3}$	$J.kg^{-1}.°c^{-2}$	$w.m^{-1}.°c^{-1}$	$Pa.S^{-1}$	$M^2.S^{-1}$	
0	1002	4218	0.552	7.90	1.31	13.06
20	1001	4182	0.597	0.10	1.43	7.02
40	995	4178	0.628	6.55	1.51	4.34
60	985	4184	0.651	4.71	1.55	3.02
80	974	4196	0.668	3.55	1.64	2.22

100	960	4216	0.680	2.82	1.68	1.74
120	945	4250	0.685	2.33	1.71	1.45
140	928	4283	0.684	1.99	1.72	1.24
160	910	4342	0.680	1.73	1.73	1.10
180	889	4417	0.675	1.54	1.72	1.00
200	867	4505	0.665	1.39	1.71	0.94
220	842	4610	0.652	1.26	1.68	0.89
240	816	4756	0.635	1.17	1.64	0.88
260	786	4949	0.611	1.08	1.58	0.87
280	753	5208	0.580	1.02	1.48	0.91
300	714	5728	0.540	0.96	1.32	1.02

Tableau (II.3) : Propriétés physiques de l'eau [26]

II-7-Conclusion :

Le deuxième chapitre est une abréviation des trois types de transferts thermiques, qui sont représentés. Le transfert de chaleur entre deux extrémités peut se faire soit par conduction, soit par convection ou le rayonnement. La conduction thermique nécessite un contact entre deux extrémités de transfert de chaleur. La convection se produit entre un corps solide et un corps fluide qui est soit en un état gazeux ou liquide. Le rayonnement se fait au moyen de rayons émis par un objet radioactif, et ce type nécessite une correspondance entre l'objet rayonnant et le récepteur de rayons pour assurer son apparition. Il ressort clairement de ce champ que les nombres sans dimension tels que les nombres de Nusselt et de Reynolds changent leur valeur en fonction du type de corps qui se produit entre lui et le fluide pour un transfert de chaleur.

Chapitre III :
Modèle mathématique du capteur solaire hybride PV/T

III-1- Description du système :

La figure (III.1), montre une expérience similaire à celle sur laquelle nous travaillons, car elle montre comment le PV/T est étroitement placé à l'intérieure d'une boîte en bois.

Le PV/T composé comme indiqué sur la photo de 36 cellules carrées, 3 en largeur et 12 en longueur. Ce caisson placé au-dessus d'un système de refroidissement de façon à ce que la face arrière du PV, est exposée directement à un jet d'eau sortant des différents bus du système de refroidissement. Nous rappelons que le rôle principal du système de refroidissement est de réduire la température des cellules du PV.

Ce système est contrôlé en modifiant le débite ou la distance entre les jets et la face arrière du PV, afin d'obtenir de meilleurs résultats. Ce travail incarne le système PV/T pour profiter à la fois de l'énergie thermique et électrique, le système est utilisé pour couvrir les besoins en eau chaude dans les habitas.

Figure (III.1) : Capteur solaire hybride PV/T

III-2-Bilan énergétique du capteur hybride PV/T :

La figure (III.2), montre les différentes composantes du panneau solaire de sorte qu'en fait toutes les couches sont adjacentes les unes aux autres sans espace entre elles. Dans la présente figure, nous avons laissé un espace entre les couches à titre d'illustration uniquement.

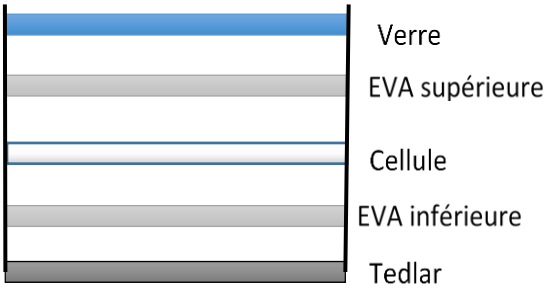

Figure (III.2) : Les couches de capteur solaire hybride

Bilan énergétique du Verre :

$$\frac{M_v Cp_v dT_v}{dt} = Q_{v_ciel}^{rad} + Q_{v_amb}^{conv} + Q_v^{abs} - Q_{v_eva1}^{cond} \quad \text{(III.1)}$$

Tel que :

$$Q_v^{abs} = S_v\, \alpha_v I \quad \text{(III.2)}$$

$$Q_{v_ciel}^{rad} = S_v\, h_{v_ciel}^{rad}(T_{ciel} - T_v) \quad \text{(III.3)}$$

$$h_{ciel_v}^{rad} = \sigma.\varepsilon(T_{ciel} + T_v)\,(T_{ciel}^2 - T_v^2)$$

$$Q_{v_ciel}^{conv} = S_v\, h_{v_amb}^{conv}(T_{amb} - T_v) \quad \text{(III.4)}$$

$$h_{v_amb}^{conv} = 5.7 + 3.8 * V_{vent} \quad [30]$$

$$T_{ciel} = 0.0522 * T_{amb}^{1.5} \quad [31]$$

$$Q_{v_eva1}^{cond} = S_v h_{v_eva1}^{cond}(T_v - T_{eva1}) \quad \text{(III.5)}$$

$$h_{v_eva1}^{cond} = \frac{1}{\frac{\delta_v}{2\lambda_v} + \frac{\delta_{eva1}}{2\lambda_{eva1}}}$$

$$Q_{v_ciel}^{rad} = \sigma\varepsilon.S_v(T_{ciel} - T_v)(T_{ciel} + T_v)\,(T_{ciel}^2 - T_v^2)$$

$$\frac{dT_v}{dt} = \left(\frac{S_v}{M_v Cp_v}\right)[\alpha_v I + h_{ciel_v}^{rad}(T_{ciel} - T_v) + h_{v_{amb}}^{conv}(T_{amb} - T_v) - h_{v_{eva1}}^{cond}\,(T_v - T_{eva1})] \quad \text{(III.6)}$$

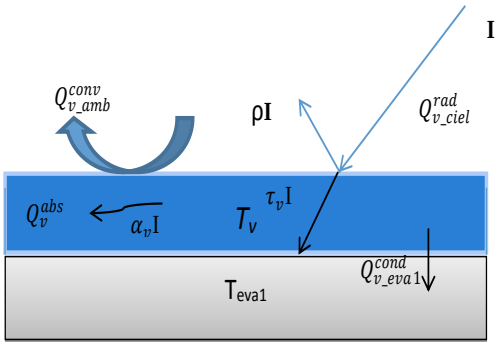

Figure (III.3) : Bilan énergétique du verre

Bilan énergétique de la couche EVA supérieure :

$$\frac{M_{eva1}Cp_{eva1}dT_{eva1}}{dt} = Q_{eva1}^{abs} + Q_{eva1_v}^{cond} - Q_{eva1_c}^{cond} \quad \text{(III.7)}$$

Tel que :

$$Q_{eva1}^{abs} = S_{eva1}\alpha_{eva1}\tau_v I \quad \text{(III.8)}$$

$$Q_{eva1_v}^{cond} = S_{eva1}\, h_{eva1_v}^{cond}\,(T_v - T_{eva1}) \quad \text{(III.9)}$$

$$h_{v_eva1}^{cond} = \frac{1}{\frac{\delta_{eva1}}{2\lambda_{eva1}} + \frac{\delta_v}{2\lambda_v}}$$

$$Q_{eva1_c}^{cond} = S_{eva1}\, h_{eva1_c}^{cond}\,(T_{eva1} - T_c) \quad \text{(III.10)}$$

$$h_{v_eva1}^{cond} = \frac{1}{\frac{\delta_v}{2\lambda_{eva1}} + \frac{\delta_c}{2\lambda_c}}$$

$$\frac{dT_{eva1}}{dt} = \left(\frac{S_{eva1}}{M_{eva1}Cp_{eva1}}\right)[\alpha_{eva1}\tau_v I + h_{eva1_v}^{cond}(Tv - Teva1) - h_{eva1_c}^{cond}(T_{eva1} - T_c)] \quad \text{(III.11)}$$

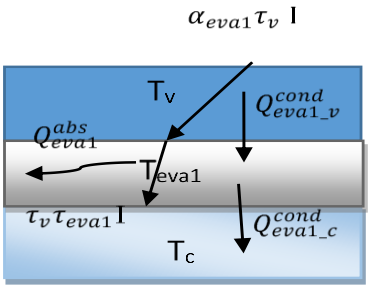

Figure (III.4) : Bilan énergétique de la couche EVA supérieure

Bilan énergétique de la Cellule :

$$\frac{M_c * Cp_c * dT_c}{dt} = Q_c^{abs} + Q_{c_eva1}^{cond} - Q_{c_{eva2}}^{cond} - Q_c^{eléc} \quad \text{(III.12)}$$

Tel que :

$$Q_c^{abs} = S_c * \alpha_c * \tau_v * \tau_{eva1} \quad \text{(III.13)}$$

$$Q_c^{élec} = S_c * \tau_v * \tau_{eva1} ** I * \eta_c * PAC * (1 - \beta * (T_c - T_{ref})) \quad \text{(III.14)}$$

$$Q_{c_eva1}^{cond} = S_c * h_{c_{eva1}}^{cond} * (T_{eva1} - T_c) \quad \text{(III.15)}$$

$$h_{c_eva1}^{cond} = \frac{1}{\frac{\delta_c}{2\lambda_c} + \frac{\delta_{eva1}}{2\lambda_{eva1}}}$$

$$Q_{c_eva2}^{cond} = S_c\, h_{c_eva2}^{cond}\, (T_c - T_{eva2}) \quad \text{(III.16)}$$

$$h_{c_eva1}^{cond} = \frac{1}{\frac{\delta_c}{2\lambda_c} + \frac{\delta_{eva2}}{2\lambda_{eva2}}}$$

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{S_c}{M_c Cp_c} [\alpha_c \tau_v \tau_{eva1} I + h_{c_{eva1}}^{cond} (T_{eva1} - T_c) - h_{c_{eva2}}^{cond} (T_c - T_{eva2}) - \tau_v * \tau_{eva1} * \eta_c * PAC * (1 - \beta * (T_c - T_{ref}))] \quad \text{(III.17)}$$

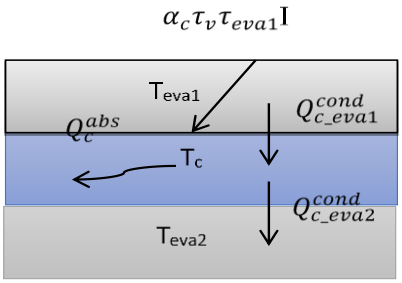

Figure (III.5) : Bilan énergétique de la cellule

Bilan énergétique de la couche d'EVA inférieure :

$$\frac{M_{eva2} Cp_{eva2} dT_{eva2}}{dt} = Q_{eva2_c}^{cond} - Q_{eva2_ted}^{cond} \quad \text{(III.18)}$$

Tel que :

$$Q_{eva2_c}^{cond} = h_{eva2_c}^{cond} . S_{eva2} (T_c - T_{eva2}) \quad \text{(III.19)}$$

$$h_{eva1_c}^{cond} = \frac{1}{\frac{\delta_{eva2}}{2\lambda_{eva2}} + \frac{\delta_c}{2\lambda_c}}$$

$$Q^{cond}_{eva2_{ted}} = h^{cond}_{eva2_{ted}} . S_{eva2}(T_{eva2}\ T_{ted}) \qquad (III.20)$$

$$h^{cond}_{eva1_ted} = \frac{1}{\frac{\delta_{eva2}}{2\lambda_{eva2}} + \frac{\delta_{ted}}{2\lambda_{ted}}}$$

$$\frac{dT_{eva2}}{dt} = \left(\frac{S_{eva2}}{M_{eva2}Cp_{eva2}}\right)[\ h^{cond}_{eva2_c}(T_c - \ -T_{eva2}) - h^{cond}_{eva2_ted}\ (T_{eva2} - T_{ted}) \qquad (III.21)$$

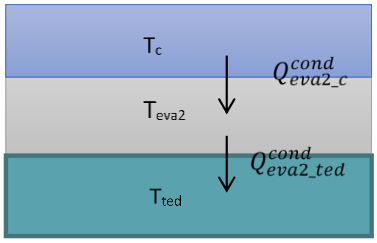

Figure (III.6) : Bilan énergétique de la couche EVA inférieure

Bilan énergétique de la couche de Tedlar :

$$\frac{M_{ted}Cp_{ted}dT_{ted}}{dt} = \ Q^{cond}_{ted_eva2} - Q^{cond}_{ted_p} \qquad (III.22)$$

Tel que :

$$Q^{cond}_{ted_{eva2}} = \ Q^{cond}_{ted_{eva2}} = h^{cond}_{ted_eva2} S_{ted}\ (T_{eva2} - T_{ted}\ ) \qquad (III.23)$$

$$h^{cond}_{ted_eva2} = \frac{1}{\frac{\delta_{ted}}{2\lambda_{ted}} + \frac{\delta_{eva2}}{2\lambda_{eva2}}}$$

$$Q^{cond}_{ted_p} = Q^{cond}_{ted_p} = \ h^{cond}_{ted_p}\ S_{ted}\ (T_{ted} - \ T_p) \qquad (III.24)$$

$$h^{cond}_{ted_p} = \frac{1}{\frac{\delta_{ted}}{2\lambda_{ted}} + \frac{\delta_p}{2\lambda_p}}$$

$$\frac{dT_{ted}}{dt} = \left(\frac{S_{ted}}{M_{ted}Cp_{ted}}\right)[h^{cond}_{ted_{eva2}}\ (T_{eva2} - \ T_{ted}) - h^{cond}_{ted_p}(T_{ted} - T_p) \qquad (III.25)$$

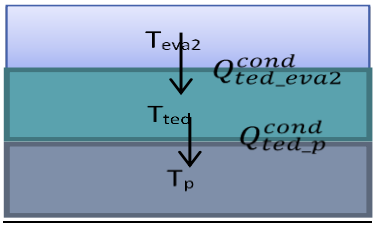

Figure (III.7) : Bilan énergétique de la couche de Tedlar

Bilan énergétique de la Plaque :

$$\frac{M_p Cp_p dT_p}{dt} = Q_{p_ted}^{cond} - Q_{p_{air}}^{conv} - Q_{p_eau}^{conv} \quad \text{(III.26)}$$

Tel que :

$$Q_{p_ted}^{cond} = h_{p_ted}^{cond} \cdot S_p(T_{ted} - T_p) \quad \text{(III.27)}$$

$$h_{v_eva1}^{cond} = \frac{1}{\frac{\delta_p}{2\lambda_p} + \frac{\delta_{ted}}{2\lambda_{ted}}}$$

$$Q_{p_air}^{conv} = h_{p_air}^{conv} S_p(T_p - T_{air}) \quad \text{(III.28)}$$

$$h_{p_{air}}^{conv} = \frac{\lambda_{air} * N_{u\ air}}{L}$$

$$Q_{p_eau}^{conv} = h_{p_eau}^{conv} S_p(T_p - T_{eau}) \quad \text{(III.29)}$$

$$h_{p_eau}^{conv} = \frac{\lambda_{eau} * N_{u\ eau}}{L}$$

$$\frac{dT_p}{dt} = \left(\frac{S_p}{M_p Cp_p}\right)\left[h_{p_{ted}}^{cond}(T_{ted} - T_p) - h_{p_air}^{conv} \cdot (T_p - T_{air}) - h_{p_eau}^{conv} \cdot (T_p - T_{eau})\right] \quad \text{(III.30)}$$

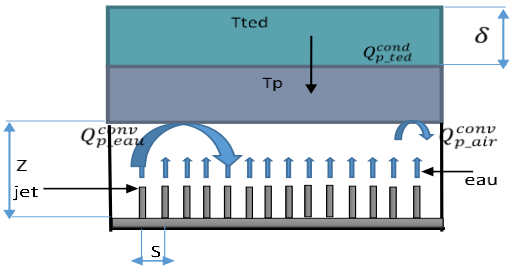

Figure (III.8) : Bilan énergétique de la Plaque

III-3- Les données géométriques et thermo-physiques :

Les données géométriques :

La couche	Les paramètres
Verre	L=1.28, W_v=0.32, $Delat_v$=0.0032
EVA	L_{EVA}=1.28 , W_{EVA}=0.32 , $Delta_{EVA}$=0.005
Cellule	L_{PV}=1.28, W_{PV}=0.32, Delat=0
Tedlar	L_{Td}=1.28 , W_{Td}=0.32 , $Delat_{Td}$=0.0005
Plaque	L_{PL}=1.28 , W_{PL}=0.32, $Delat_{PL}$=0.0003

Les propriétés thermo-physique et optiques :

La couche	Les paramètres
Verre	$Alpha_v$=0.06, Eps_v=0.93, Tau_v=0.84 Cp_v=840.0, λ_v=1, Rho_v=2430.0
EVA	$Alpha_{eva=}$0.03, Tau_{eva}=0.97 , λ_{eva}=0.35, Cp_{eva}=2090 , Rho_{eva}=960
Cellule	$Alpha_{PV}$=0.85 au 0.93, λ_{pv}=148 Cp_{PV}=677, Rho_{PV}=2090
Tedlar	$Alpha\text{-}_{ted}$=0.80, λ_{ted}=0.033 Cp_{ted}=1090.0, Rho_{ted}=1450
Plaque	$Lambda\text{-}_{Pl}$=204.0, Cp-PL=871.0 , Rho_{PL}=2719.0
Tube	Lambda-tube=386.0, Cp_{tub}=381.0, Rho_{tube}=8954.0
Insolent	Lambda-iso=0.035 , Cp-iso=871.0 , Rho_{iso}=48.0 ,E_{iso}=0.035%

III-4- Méthode de résolution :

Dans l'aspect analytique des valeurs, nous sommes appuyés sur la méthode Runge-Kutta d'ordre 4 pour calculer les changements de température des différentes couches du PV/T, en plus pour calculer les variations de la puissance et du rendement électrique.

Pour cela, nous avons choisi les valeurs de rayonnement solaire pour une journée ensoleillée dans la ville d'Adrar, soit le 22 juillet.

Méthode de Runge–Kutta d'ordre 4 :

La méthode de Runge-Kutta (classique) d'ordre 4, est une méthode explicite très populaire. Elle calcule la valeur de la fonction en quatre points intermédiaires selon, l'algorithme suivant :

Pour Y0 : valeur initiales

Yk+1=Yk + h/6*(f $(tk, y1k)$ + 2 f $(tk + h$ /2, $y2k)$ + 2 $(tk + h$ /2, $y3k)$ + f $(tk$+1, $y4k)$)
avec k = 0, 1, ..., n – 1

Et :
$y1k$ = yk
$y2k$ = yk + h /2 f $(tk, y1k)$
$y3k$ = yk + h /2 $f(tk + h$ 2 , $y2k)$
$y4k$ = yk + h $f(tk + h$ 2 , $y3k)$

Notons que le nombre de termes retenus dans la série de Taylor définit l'ordre de la méthode de Runge-Kutta. Il vient que la méthode Runge-Kutta d'ordre 4, s'arrête au terme O $(h$ 4) de la série de Taylor. [18]

La méthode Range-Kutta a été exécutée par un programme sous l'environnement Matlab, afin de d écrire le comportement thermique entre les différentes couches du PV/T, et pour mettre en évidence les aspectes qui ont un impact sur le phénomène de transfert de chaleur entre ces couches, (verre, EVA, cellule, tedlar, plaque et isolation).

III-5-Conclusion :

L'étude de transfert de chaleur entre les couches de PV/T a été menée dans le programme Matlab selon La méthode Runge-Kutta d'ordre 4, la valeur de l'énergie transférée d'une couche à l'autre varie selon le type de conversion de sorte que les couche supérieures sont les plus chaudes en raison de la présence de transfert de chaleur à travers le rayonnement, le pourcentage de chaleur transférée diminue à mesure que l'on se déplace vers les couches inférieures.

Chapitre IV :

Résultats et discussion

IV-1-Résultats et discussion :

Dans ce chapitre, étude analytique du travail d PV/T sous l'influence de plusieurs facteurs, d'abord nous étudions le travail de panneau solaire en analysant graphiquement des évolutions de la température des couches, le rendement et la puissance électrique, puis une étude de système de refroidissement et son effet sur le PV/T en fonction de débit, la distance entre les jets et la distance entre les jets et Le PV/T.

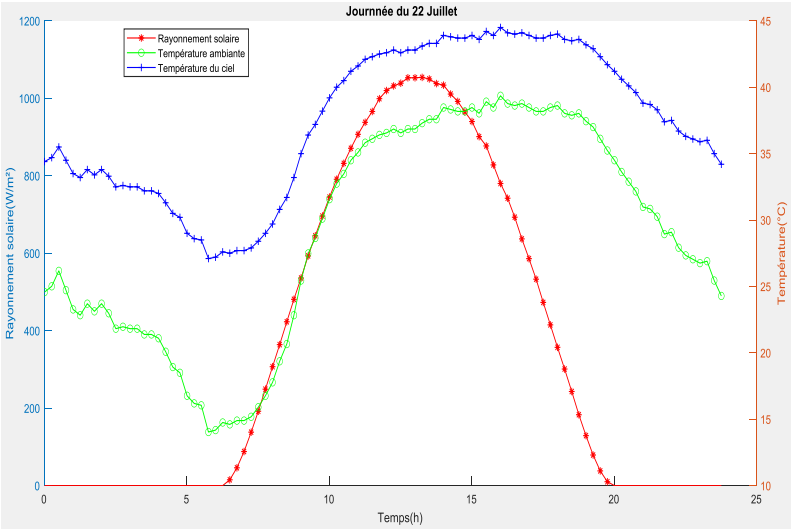

Figure (IV.1) : L'évolution de la température ambiante et la température du ciel avec l'évolution de rayonnement solaire

Les courbes représentent l'évolution de la température ambiante et la température du ciel avec l'évolution de rayonnement solaire pour la journée du 22 juillet. On constate que la température ambiante attient (45-48) °c à dix heures du matin et reste proche de 1.25 cette valeur puis redescend le soir à partir de sept heures jusqu'à revenir à la valeur initiale au minuit.

Et la température du ciel est de 22.5 °c en minuit, décroissant lentement jusqu'à atteindre 15 °c à six heures du matin, puis remonte jusqu'à une valeur de 37 W/ m^2 en midi, pour revenir à nouveau à une diminution progressive le soir.

Quant à la courbe de rayonnement solaire, on remarque qu'elle complètement absente la nuit jusqu'à six heures du matin, puis commence à monter jusqu'à atteindre 1025 W/m^2, après quoi elle décroît jusqu'à être à nouveau complètement absente à huit heures de soir au coucher du soleil.

Partie 01 :

IV-2- Le panneau photovoltaïque :

Pour le panneau photovoltaïque, nous avons présenté les courbes de variation de température pour les différentes couches, l'évolution de la puissance et du rendement électrique. Les résultats sont présentés par les courbes suivantes :

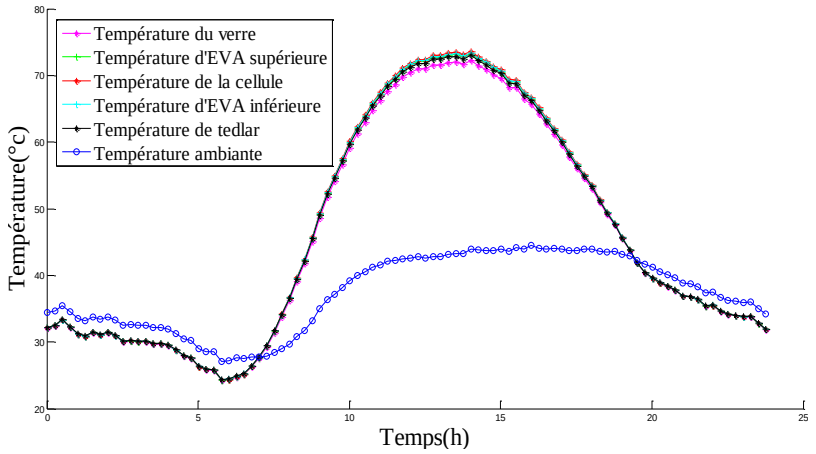

Figure (IV.2) : Variation de la température des différentes couches du PV

La courbe de la figure (IV.2), présente la variation de la température de toutes les couches du panneau photovoltaïque, à savoir le verre, les deux couches EVA, la cellule, la couche d'isolation Tedlar et la température ambiante pour la journée du 22 juillet en fonction du temps.

La figure montre que toutes les températures sont proches de l'ordre (32-35) °c à minuit pour commencer déclinant lentement pour atteindre la valeur 25°c environ à 6 heures puis commencer à montre rapidement pour atteindre la valeur (70-73)°c en midi puis elle revenir à la décroissance jusqu'à ce qu'elle revienne aux valeur initiale au minuit.

Alors que la température ambiante attient (45-48) °c à dix heures du matin et reste proche de cette valeur puis redescend le soir à partir de sept heures jusqu'à revenir à la valeur initiale au minuit.

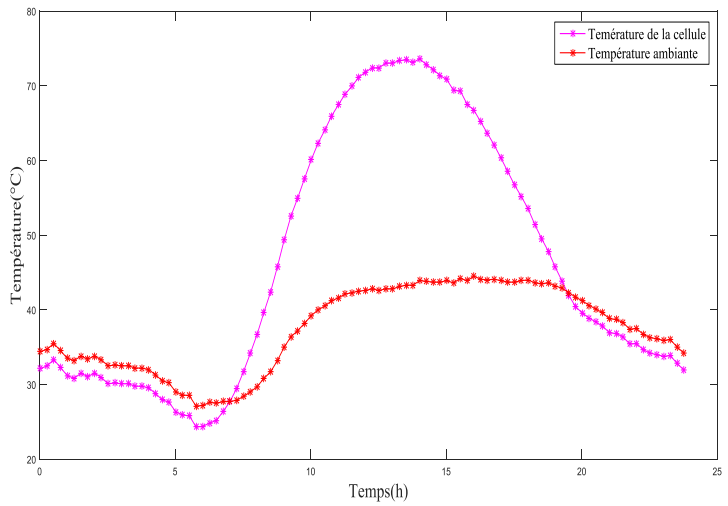

Figure (IV.3) : Variation de la température de cellule du PV

La tendance représente la variation de température de cellule et ambiante, où l'on note que les températures sont proches de l'ordre de (32-35) °c en minuit. Il diminue progressivement jusqu'à 25°c à six heures de matin puis elle augmenter jusqu'à ce que température de cellule atteigne environ 75 °c et que la température ambiante atteigne44 °c à midi.

La température de cellule commence à diminuer immédiatement, tandis que la température ambiante reste proche de la valeur mentionnée jusqu'à ce qu'elle diminue progressivement à partir de sept heures de soir et revienne aux valeurs initiales à minuit.

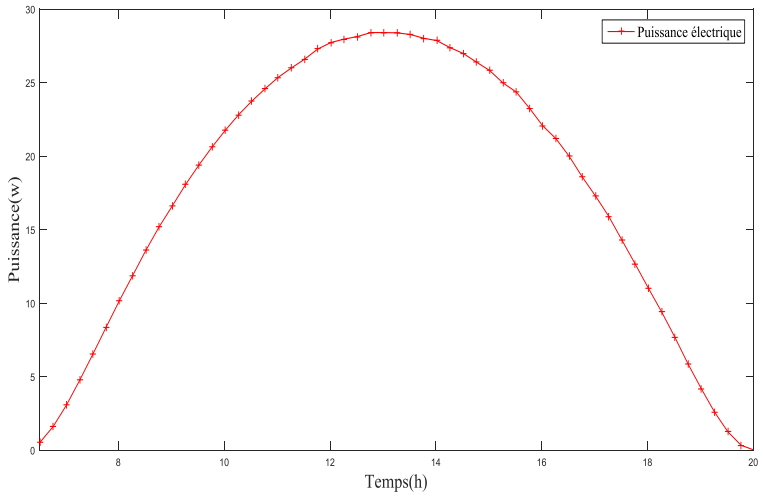

Figure (IV.4) : Evolution de la puissance électrique du PV

La tendance représente l'évolution de puissance électrique de panneau solaire en fonction du temps pour le 22 juillet de sorte qu'elle est nulle pour commencer à monter à

partir de six heures du matin jusqu'à ce qu'elle atteigne la valeur entre (28-29) w en midi puis décroît jusqu'à ce qu'elle soit de nouveau absente à huit heures du soir.

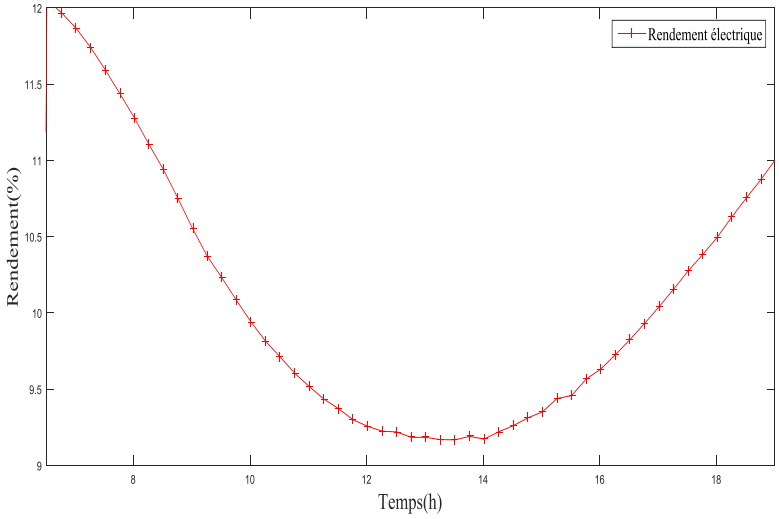

Figure (IV.5) : Variation de rendement électrique de PV

La tendance représente l'évolution du rendement du panneau solaire en fonction de l'heure de la journée du 22 juillet pour qu'elle prenne la valeur 12% à six heures du matin puis diminue jusqu'à atteindre la valeur la plus basse de 9.4% environ à midi et reste proche de cette valeur jusqu'à ce que l'augmentation revienne à partir de trois heures de l'après-midi jusqu'à ce qu'elle atteigne la valeur est de 11% à 20 heures.

Partie 02 :

IV-3- Le Déclanchement du système de refroidissement avec un dédit fixe :

Dans ce cas, le système de refroidissement est ajouté au PV/T, avec un dédit fixe. Nous étudions l'effet qui produit sur les valeurs de la température des couches avec la puissance et le rendement électrique.

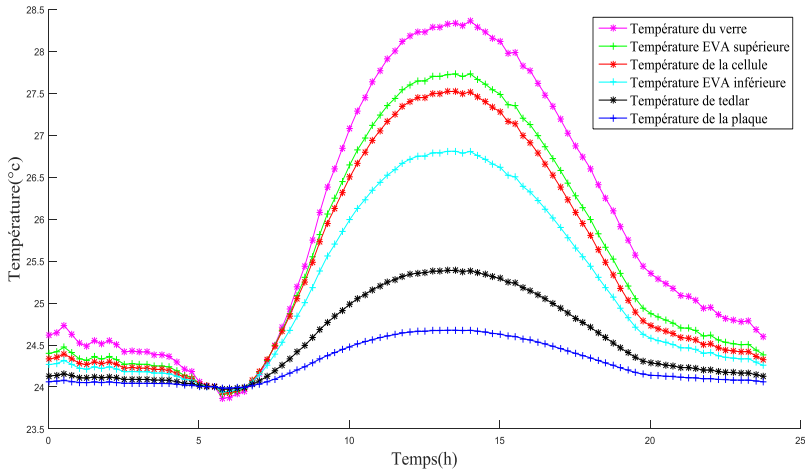

Figure (IV.6) : Variation de la température des différentes couches à débit fixe

La courbe représente la variation de température de toutes couches du PV/T pour le 22 juillet, de sorte que le système de refroidissement du PV/T était programmé à un débit fixe

Quant aux couches PV/T, en cas de débit fixe, on constate une baisse importante des températures, car elles prennent toutes une valeur de 24-25 °c jusqu'à six heures du matin, et elles remontent de façon inégale jusqu'à midi. La température de plaque est presque constante tout au long de la journée, tandis que chaque couche prend une valeur supérieure à l'autre dans l'ordre la valeur positionnelle des couches entre 24.5-28.5 °c, la plus grande valeur est que le verre est estimé à 28 °c en midi.

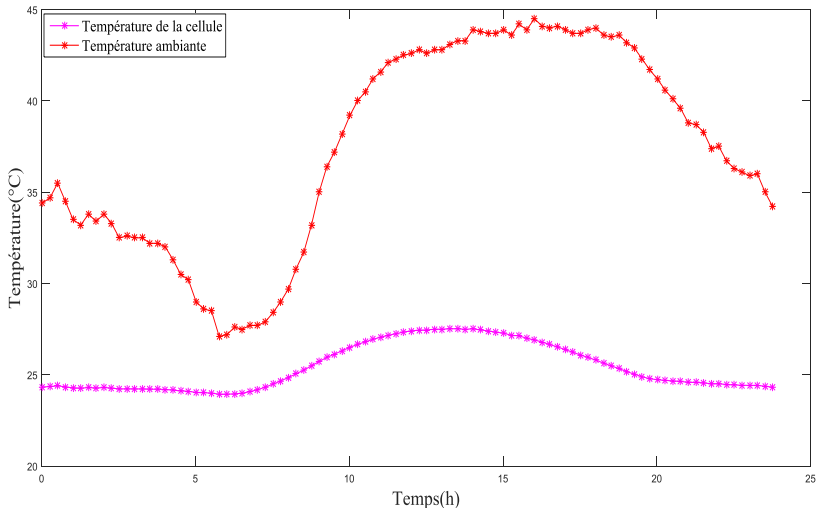

Figure (IV.7) : Variation de la température de cellule et ambiante à débit fixé

Dans ce cas la Figure (IV.7) représente les changements de température de cellule et ambiante ont été étudiée sous un système de refroidissement sur un débit fixe 3.6 l/min du

dispositif PV/T pour le même jour 22 juillet, afin que la température ambiante restent au même état. Il prend une valeur proche de 35 °c en minuit, puis remonte pour atteindre 45 °c en midi après cela redescend pour revenir à la valeur initiale en nuit.

Quant à la température de la cellule on remarque que sa valeur est d'environ 24 °c en nuit, elle reste à la même valeur jusqu'à six heures de matin, puis remonte lentement jusqu'à atteindre (27-28) °c à midi, après redescend à la valeur initiale à sept heures du soir.

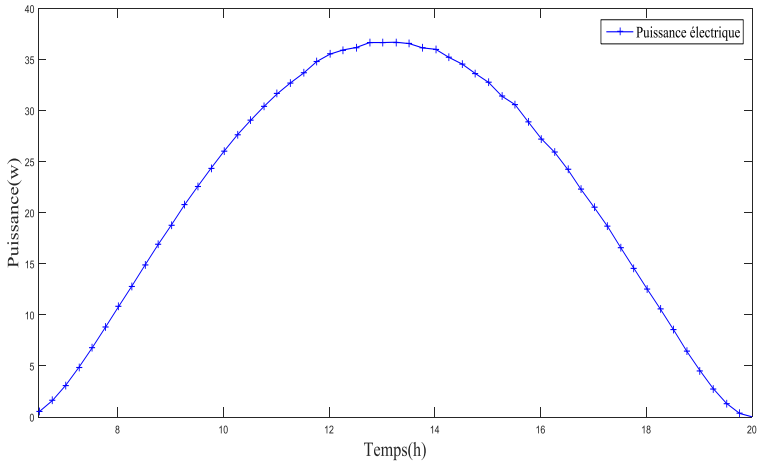

Figure (IV.8) : Evolution de la puissance électrique à débit fixe

La tendance représente l'évolution de puissance électrique de PV/T sous un système de refroidissement sur un débit fixe 3.6 l/min solaire en fonction du temps pour le même jour de sorte qu'elle est nulle pour commencer à monter à partir de six heures du matin jusqu'à ce qu'elle atteigne la valeur entre (34-36) w en midi puis décroît jusqu'à ce qu'elle soit de nouveau absente à huit heures du soir.

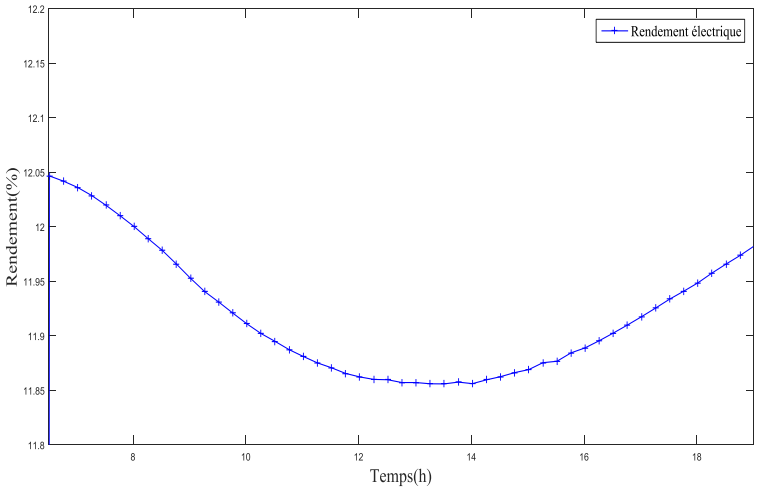

Figure (IV.9) : Variation de rendement électrique à débit fixe

Partie 03 :

IV-4- Déclanchement du système de refroidissement à dédit variable :

Dans ce cas, nous voulons mettre en évidence l'effet du débit sur le travail de PV/T. on a créé des courbes en fonction du différent débit, et les résultats finaux étaient les suivants :

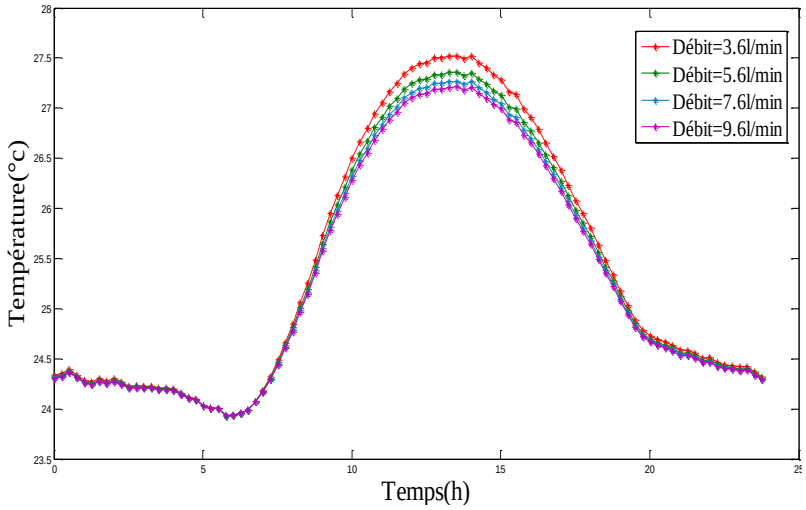

Figure (IV.10) : Variation de la température de cellule à débite variable

La courbe représente la variation de la température du la cellule au cours de temps à différentes valeurs de débit.

La température de cellule prendre de la valeur 24 °c en nuit, elle reste à la même valeur jusqu'à six heures de matin, puis remonte lentement jusqu'à atteindre (26-28) °c à midi, après redescend à la valeur initiale à sept heures du soir.

On remarque que la température de la cellule elle varie avec le débit, car elle est en relation inverse avec le débit, parce que plus le débit est élevé, le changement de température de cellule diminuaient.

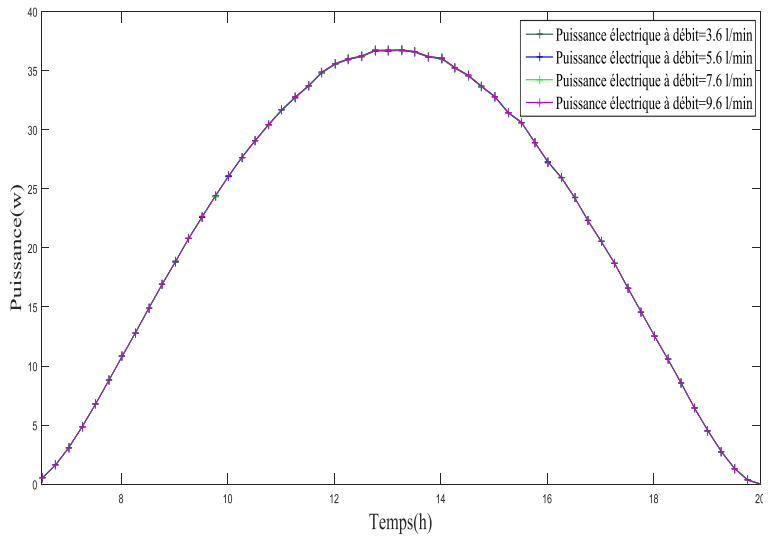

Figure (IV.11) : Variation de la puissance électrique de PV/T à débit variable

La Figure (IV.11) représente l'évolution de puissance électrique pour le travail de PV/T en fonction de valeur de débit. Il s'avère que les valeurs sont proches les unes des autres, soient nul puis commencent à monter à partir de six heures du matin pour atteindre la plus haute valeur 36 w en midi puis décroitre pour revenir à l'état initial.

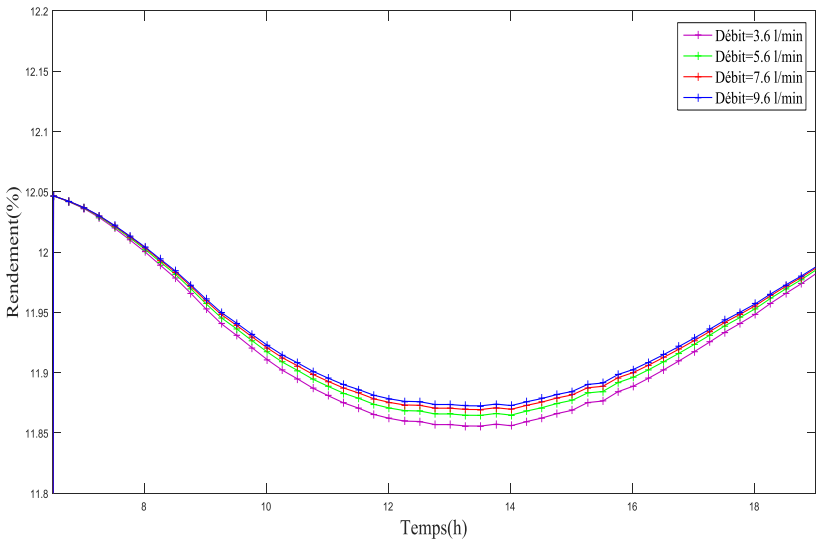

Figure (IV.12) : Variation de rendement électrique à débit variable

La Figure (IV.12) représente l'évolution de rendement électrique de PV/T en fonction de débit, de sorte que l'on remarque une variation des valeurs que prennent les courbes à chaque valeur de débit. Les valeurs de rendement initiales sont de 12.05 % en minuit, puis diminuent de sorte que lorsque la valeur du débit est égale à 3.6 l/min, la valeur minimale du

rendement est d'environ 11.86 % en midi, mais lorsque le débit est 9.6 l/min le rendement minimale est égale 11.88 %. Puis il remonte pour revenir aux valeurs initiales en nuit. Ces courbes montrent qu'il existe une corrélation entre le débit et le rendement, car plus le débit est important, plus le rendement est élevé, est vice versa.

IV-5-Partie 04 : Déclanchement du système de refroidissement à distance variable entre le jet et le PV/T :

Cette fois, nous installons le débit et étudions le changement qui se produit dans le système PV/T lorsque le changement de la distance entre les jets et PV/T :

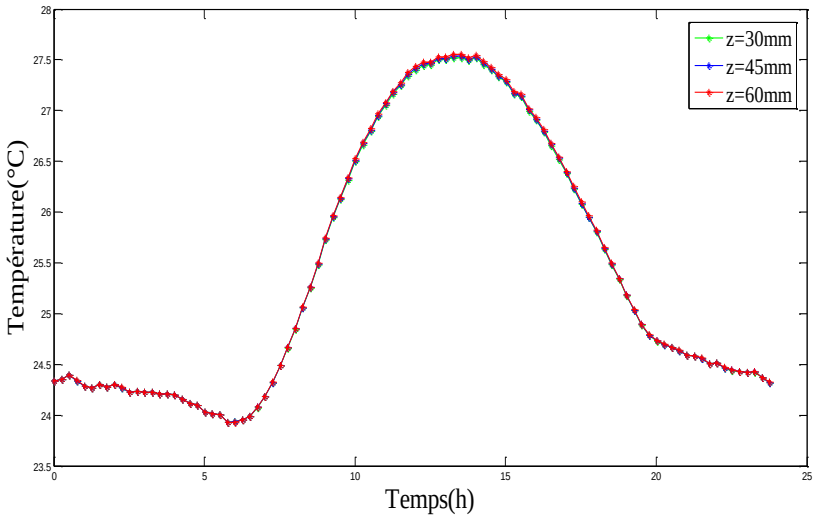

Figure (IV.13) : Variation de température de cellule à distance variable entre le jet et le PV/T

La figure (IV.13) représente la variation de température de cellule en fonction de la distance entre les jets et le PV/T. il ressort de l'énoncé que la température de la cellule est 24 °c en nuit jusqu'à six heures du matin, pour monter à la valeur 27 °c à midi, puis diminuer pour revenir à la valeur initiale à huit heures du soir et reste proche de cette valeur toute la nuit .

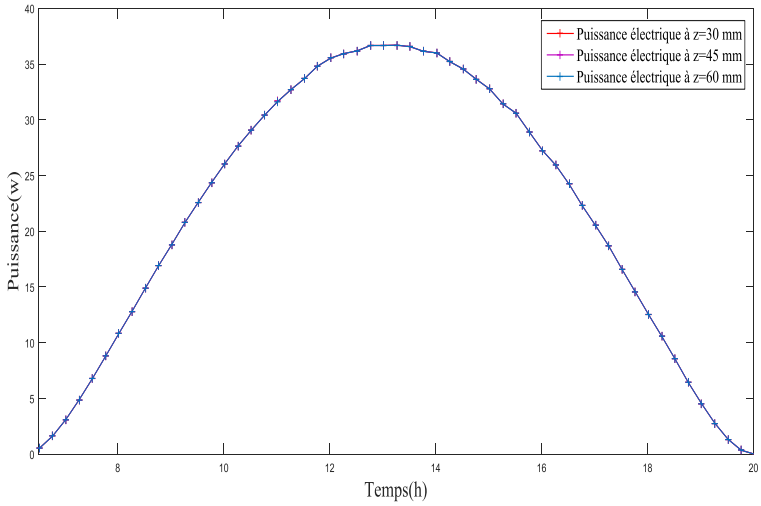

Figure (IV.14) : Evolution de puissance électrique à distance variable entre le jet et le PV/T

La figure (IV.14) est une courbe d'évolution de la puissance électrique en fonction de valeurs de la distance entre les jets et le PV/T, comme il ressort de l'énoncé que les courbes prennent des valeurs presque identiques comme s'il s'agissait d'une courbe avec différentes valeurs de distance. La puissance est nulle à six heures de matin, puis augmente jusqu'à atteindre la valeur la plus élevée à midi, qui est supérieure à 35 w, puis diminue pour revenir à l'état d'inexistence à huit heures du soir.

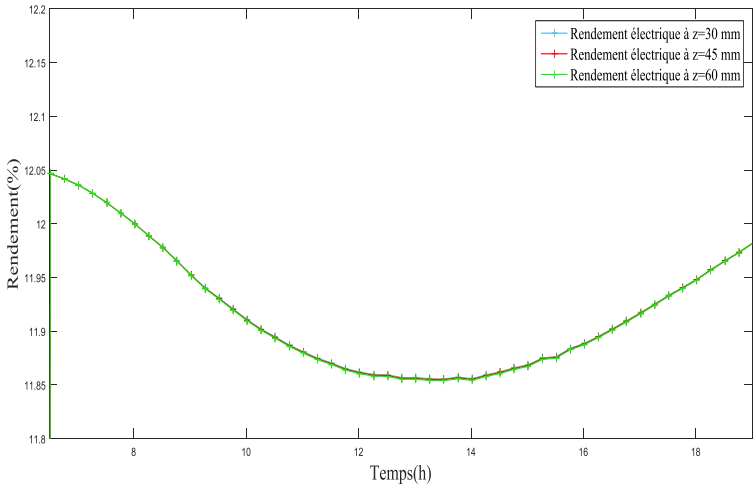

Figure (IV.15) : Variation de rendement électrique à distance variable entre le jet et le PV/T

La figure (IV.15) est une courbe graphique qui exprime les changements de rendement en fonction de valeurs de la distance entre les jets et le PV/T, on constate que les courbes sont identiques. Sa valeur est 12.05 % à six heures du matin, puis chute pour atteindre sa valeur la plus basse 11.86 % à midi, après cela remonte à 11.97 % à huit heures du soir.

IV-6-Partie 05 : Déclanchement du système de refroidissement à distance variable entre deux jets :

Maintenant, on étudie l'effet de distance entre deux jets sur le travail de PV/T. Les résultats sont clairs dans les graphiques suivant.

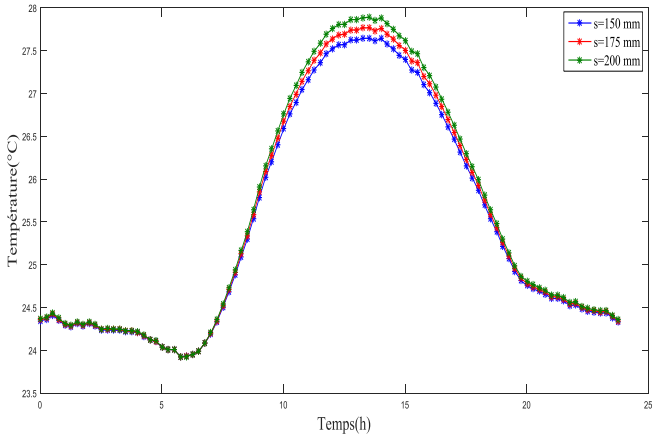

Figure (IV.16) : Variation de la température de cellule à distance variable entre deux jets

La courbe montre que la température de la cellule change avec en fonction de la distance entre les jets, car il devient clair qu'il y a une légère différence dans les valeur de température de cellule, qui est 24 °c en minuit après elle diminuant lentement, puis montant à 27 °c en midi et diminuer à nouveau pour revenir à la valeur initiale.

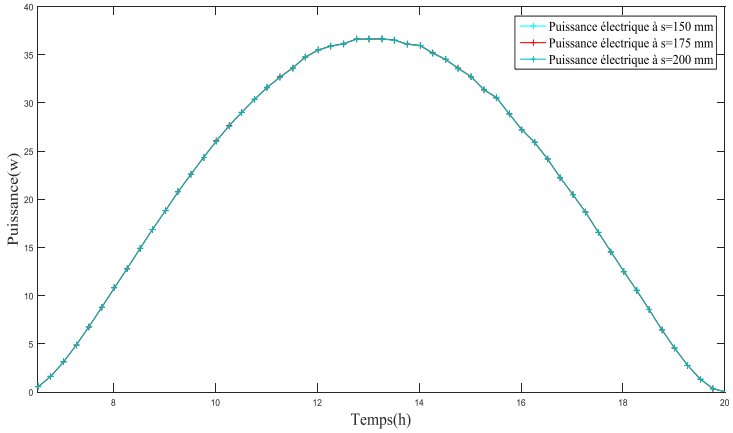

Figure (IV.17) : Evolution de puissance électrique à distance variable entre deux jets

La figure (IV.17) exprime la variation de la puissance électrique qui produite par le PV/T en fonction de la distance entre les jets, il s'avère que les valeurs sont proches les unes des autre, soient nulles puis commencent à monter à partir de six heures du matin pour atteindre la plus haute valeur 36 w en midi puis décroitre pour revenir à l'état initiale.

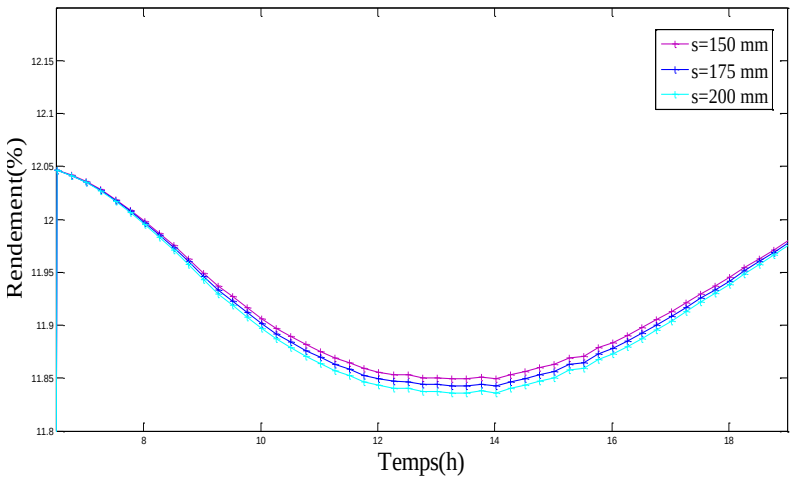

Figure (IV.18) : Variation du rendement électrique à distance variable entre deux jets

La courbe montre l'évolution de rendement du PV/T en fonction de la distance entre les jets. On remarque que la différence entre les cas n'est pas significativement visible.la valeur de rendement est 12.05 % à six heures du matin puis diminue progressivement pour atteindre sa valeur la plus basses 11.85 % en midi puis remonte pour atteindre la valeur 11.97 % à huit heures du soir.

Conclusion générale :

Au final, nous tirons de ce travail un ensemble de conclusions scientifiques qui ont un impact sur le travail de PV/T et à travers lesquelles il est possible d'évaluer différentes types d'énergies produites, notamment thermique et électrique. Ces points, qui peuvent être prise en compte, peuvent augmenter le profit dans la conversion de l'énergie solaire.

En ce qui concerne le PV, l'augmentation de la température des cellules affecte négativement sur le rendement de PV, puisque la chaleur provoque une collision de particules à l'intérieure de matériau, ce qui réduit son efficacité, c'est-à-dire qu'elle affecte le processus de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique, de sorte que la valeur maximale est inférieure à 30 w.

Le refroidissement réduit les températures de toutes les couches du PV/T, ce qui donne une plus grande possibilité de conversion photoélectrique. Par conséquent, plus la valeur du débit est élevée, on aura une meilleure efficacité, ce qui se traduit par une plus grande puissance électrique jusqu'à des valeurs supérieures à 35 w.

La distance entre les jets et le PV/T n'a aucune incidence sur le travail du PV/T, que ce soit au niveau des valeurs de chaleur ou même du rapport de puissance, à l'exception d'une très petite différence dans les valeurs qui n'apparait pas dans les courbes, car ils semblent identiques.

Ce système de refroidissement considéré comme le type le plus efficace dans le processus de conversion d'énergie par rapport aux autres systèmes. Une pompe peut être utilisée pour pomper l'eau afin d'augmenter le débit et d'accélérer le processus de refroidissement, ce qui donne de meilleurs résultats.

Bibliographies :

[1]M.Kadja, A.Zaatri, Z.Nemochi, R.Bessaih, S.Benissaad and K.Talbi (Eds.), conception d'un capteur solaire hydride photovoltaïque, Constantine, Algeria, October 30/31/2016.

[2] Benbouza Naima, Etude du rayonnement solaire dans la région de Batna, université de Batna, 2008.

[3] Site : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00674076/document

[4] Oulimar Ibrahim, étude et modélisation du rayonnement global horizontal en fonction de durée d'insolation (application région Adrar), université d'Adrar, 31 Mai 2018.

[5] Bouden Abdelmalek, « Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque », Université Mentouri de Constantine, 2008.

[6] Site : https://lenergie-solaire.net/système-solaire/distance-du-soleil-a-la-terre

[7] Site : https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/bilan-radiatif-terre2.xml

[8] Site : Rayonnement solaire-Wikipédia.

[9] Site : https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_solaire

[10] Nia Mohamed, Etude comparative des méthodes d'estimation du rayonnement solaire, université Ferhat Abbas - Setif, 2010.

[11] Léria Collaro, Energie solaire : définition et différents types d'exploitation, 05 avril 2022.

[12] Missoum Mohammed, « Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie », Universite hassiba benbouali de chlef, 11 décembre 2011.

[13] Bourouis Bilal et Hachani Ibtissem Karima, Modélisation d'un capteur photovoltaïque/Thermique, Université Kasdi Merbah d'Ouargla, 26/06/2018.

[14] Site : http://step.ipgp.fr/images/2/27/L2S4_GdE_TTT_partB.pdf

[15] Site : http://www.efficaciteenergetique.mrn.gouv.qc.ca/ , Décembre 2012

[16] Kalla Fayçal, Conversion thermodynamique de l'énergie solaire : Etude et modélisation d'un capteur solaire, Université de Batna, 15/01/2014.

[17] Michel Bonvin, Energies renouvelables aujourd'hui et demain Energie solaire thermique michel.bonvin@hevs.ch Energie solaire thermique, ERAD 2011, 23 mai 2011

[18] Site : http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Le_solaire_thermique

[19] Site : https://www.2es.fr/fr/nos-competences/le-solaire-thermique/

[20] Site : https://salva5577.wordpress.com/2013/05/02/les-panneaux-solaire-photovoltaiques/

[21] Site: Laura d'In Sun We Trust

[22] Maifi Lyes, Etude et modélisation d'un panneau solaire thermique photovoltaïque, Université frères Mentouri Constantine1, 17 décembre 2018.

[23] A. Khelifa et K. Touafek, Etude de l'influence des paramètres externes et internes sur le capteur hybride photovoltaïque thermique (PVT), 28 Mars 2012.

[16] Site : http://www.grandjean-bpa.com/therm/

[24] Site : http://step.ipgp.fr/images/2/27/L2S4_GdE_TTT_partB.pdf

[25] Tayeb Ouksel, Cours Transfert Thermique », Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, 2016-2017

[26] Yves Jannot, transferts thermiques, Ecole des Mines Nancy, 2012.

[27] Mustapha Bordjane, modes et transfert thermique (Cours &Exercices corrigés), Energétique et Construction Mécanique, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran « Mohamed Boudiaf », 2017.

[28] Olivier Morisot, Modèle de batterie froide à eau glacée adapté à la maîtrise des consommations d'énergie en conception de bâtiments climatisés et en conduite d'installations, 27 janvier 2000,

[29] Gerätebau GmbH, Écoulement laminaire et turbulent dans des conduites, G.U.N.T. Gerätebau GmbH, 2020

[30] Duffie JA, Beckman WA. Solar engineering of thermal processes. New Jersey: Wiley; 2006

[31] Swinbank SL. Long-wave radiation from clear skies. Q J R Meteorol Soc 1963; 89:339