

République Algérienne Démocratique et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BEN YAHIA - JIJEL

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Mécanique

Projet de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme de Master

En Génie Mécanique

Option Energétique

Thème

*Analyse énergétique d'un système solaire
destiné pour le froid et le chauffage des
bâtiments*

Les membres du jury :

Mme. ADERGHAL.N

Mme. GHELLAB.A

Mr. BOUROUIS.A

Président

Encadrant

Examineur

Présenté par :

CHETTIBI Oumrane

ZINE Ishak

Promotion 2022

Université Mohamed Seddik Ben Yahia - Jijel

Remerciements

*Nous remercions avant tout DIEU Allah tout puissant
pour la volonté, le
courage et la patience qu'il nous a donnée afin de
réaliser ce modeste travail.*

*Nous exprimons notre plus grande reconnaissance et
notre respect à notre
encadreur Mme Ghellab Amel, pour avoir accepté de
diriger ce travail, de nous
avoir guidé et soutenu avec patience et indulgence,
pour ces lectures
enrichissantes de notre mémoire et pour les précieux
conseils qu'il n'a cessé de
nous prodiguer.*

*Nous tiendrons également à remercier tous les
membres du jury, de
l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'être
membres du jury de ce modeste
travail*

Dédicace

Merci « Allah » Dieu le tout puissant qui m'a donné le courage, la force et la patience pour réaliser ce travail.

Je dédie le fruit de mes années d'études à mes très chers parents, car sans leur soutien ce travail n'aurait jamais vu le jour.

*À mes chers frères à ma chère sœur et ma petite sœur
Adoré lina que j'aime énormément*

A toute ma famille

A nos chers enseignants sans exception

A mon encadreur M^{me} Ghellab.A

A tous mes amis et collègues

ZINE Ishak

Dédicace

*Avant tout je dis EL Hamdoulillah qui m'a aidé à
terminer ce travail. Je dédie ce modeste travail à tous
les
gens que je connais et à tous ceux qui me sont très chers*

A mes chers Parents

*Que je respecte beaucoup, qui m'ont toujours
encouragé et
poussé à réussir, pour tout ce qu'ils m'ont donné, leur
aide éternel, et leur amour.*

A mes Sœurs

*Sans oublier mes enseignants précisément mon
encadreur M^{me} Ghellab.A*

A tous mes amis et collègues.

Merci pour tout.

CHETTIBI Oumrane

SOMMAIRE

Résume	
Nomenclature.....	
Introduction générale	2

Chapitre I

I.1 Introduction	4
I.2 L'énergie solaire.....	4
I.3 Le capteur solaire.....	4
I.3.1 Les composants d'un capteur solaire thermique.....	4
I.3.2 Le capteur solaire photovoltaïque.....	5
I.3.2.1 Composition des panneaux photovoltaïques.....	6
I.4 Capteurs solaires hybrides.....	6
I.4.1 Principe et fonctionnement des panneaux solaires hybrides.....	7
I.5 Le cycle chauffage et climatisation.....	7
I.5.1 La climatisation solaire.....	8
I.5.2. Cycles de Réfrigération.....	9
I.5.2.1 Cycle de refroidissement par compression de vapeur.....	9
I.5.2.1.1 Composants d'un cycle à compression de vapeur.....	9
I.5.2.2 Cycle de refroidissement par une machine frigorifique d'absorption.....	10
I.5.3 Cycle de chauffage solaire.....	11
I.5.3.1 Le chauffe-eau solaire.....	11
I.5.3.2 Le chauffage solaire des maisons.....	12
I.6 Etude Bibliographique.....	13
I.7 Conclusion.....	16

Chapitre II

II.1 Introduction.....	18
II.2 Description du système proposé et identification du problème.....	18
II.3 L'analyse du système.....	19
II.3.1 Analyse du collecteur PV/T.....	19
II.3.1.1 Modèle thermique.....	19
II.3.1.2 Analyse thermodynamique :.....	26
II.4 Conclusion.....	29

Chapitre 3

III.1 Introduction.....	31
III.2 Les résultats de la simulation numérique.....	31
III.2.1 Validation de nos résultats avec celles issues de l'article de Arvind Tiwari.....	31
III.2.2 Les variations de la performance du système pendant la journée à Jijel.....	32
III.2.2.1 La variation temporelle de l'intensité du rayonnement et de la température ambiante.....	32
III.2.2.2 La variation temporelle de la température de sortie de l'eau et la température de la cellule.....	32
III.2.2.3 La variation temporelle du rendement thermique, électrique et global	33
III.2.2.4 La variation temporelle de la puissance utile et la puissance électrique.....	34
III.2.2.5 La variation temporelle de la température sortie de l'eau dans des différents débits	35
III.3 Les performances du système au point de conception.....	36
III.3 L'étude de l'effet de paramètre sur le fonctionnement du système.....	37
III.3.1 L'effet de changement du rayonnement.....	38
III.3.1.1 L'effet de changement du rayonnement sur le rendement solaire de chauffage et de refroidissement.....	38
III.3.1.2 L'effet de changement de rayonnement sur le nombre de panneau.....	39
III.3.1.3 L'effet de changement de la consommation de chauffage et refroidissement...40	
III.3.1.3.a L'effet de consommation de refroidissement sur les débits des réfrigérants R134a, R245fa et R143a.....	40
III.3.1.3.b L'effet de consommation de refroidissement sur le rendement solaire refroidissement.....	41
III.3.1.3.c L'effet de la variation du débit sur la consommation de chauffage ainsi que le rendement de chauffage.....	42
III.4 Conclusion.....	44
Conclusion générale.....	46
Références.....	47

Liste des figures

Chapitre 1

Figure I.1 : Le capteur solaire thermique.....	5
Figure I.2 : a) cellule solaire ; b) module PV ; c) champ PV.....	5
Figure I.3 : Capteur solaire Photovoltaïque.....	6
Figure I.4 : Capteur solaire hybride PV/T.....	7
Figure I.5 : Cycle de chauffage et climatisation	8
Figure I.6 : Schéma de principe du fonctionnement d'une climatisation.....	8
Figure I.7 : Schéma et diagramme T-S du cycle de refroidissement par compression de vapeur	9
Figure I.8 : Les composants d'un système de refroidissement par machine à absorption.....	11
Figure I.9 : Schéma d'un chauffe-eau solaire.....	12
Figure I.10 : Schéma d'un chauffage solaire de maison.....	12
Figure I.11 : Schéma de principe du capteur PVT proposé pour circuit de refroidissement et de chauffage de l'étude de Ahmed Zarei et al.....	13
Figure I.12 : Schéma de l'expérience proposé par H. Bahaidarah et al.....	14
Figure I.13 : dispositif expérimental utilisé devant le hall Technologique, université de Jijel.....	15

Chapitre 2

Figure II.1 : Le schéma de principe du système étudié.....	18
Figure II.2 : Schéma des résistances thermiques équivalent pour le système PV/T.....	25

Chapitre 3

Figure III.1 : Validation de nos résultats de la température de la cellule en fonction du temps avec celles issue de Arvind Tiwari.....	31
Figure III.2 : Variation temporelle du rayonnement et de la température ambiante à Jijel pour la journée du 25 mai 2017.....	32
Figure III.3 : Variation temporelle de la température sortie de l'eau et de la température de la cellule à Jijel.....	33
Figure III.4 : Variation des rendements électrique, thermique et global en fonction du temps du jour 25 mai 2017.....	34
Figure III.5 : Variation temporelle de la puissance utile et de la puissance électrique à Jijel pour la journée du 25 mai 2017.....	35

Figure III.6 : Variation temporelle de la température sortie de l'eau dans des différents débits.....	36
Figure III.7 : Variation du COP en fonction du rayonnement G pour les trois réfrigérants.....	38
Figure III.8 : Variation du rendement solaire chauffage et rendement solaire refroidissement en fonction du rayonnement G du (R134a, R143a et R245fa).....	39
Figure III.9 : Variation du nombre de panneaux en fonction du rayonnement G du (R134a, R143a et R245fa).....	40
Figure III.10 : Variation du débit de fluide frigorigène en fonction de la consommation de refroidissement.....	41
Figure III.11 : Variation du rendement solaire de refroidissement en fonction de la consommation de refroidissement.....	42
Figure III.12 : Variation du débit d'eau : (a) sur la consommation du chauffage ; (b) sur le rendement du chauffage pour R134a, R245fa et R143a.....	43

Liste des tableaux

Chapitre 2

Tableau II.1 : Caractéristiques thermiques des capteurs PV/T.....	23
Tableau II.2 : Valeurs des paramètres utilisés dans le modèle numérique.....	26
Tableau II.3 : Équations d'énergie et de bilan massique des composantes du système proposé	27
Tableau II.4 : Paramètres de conception pour le système par compression de vapeur.....	26

Chapitre 3

Tableau III.1 : Propriétés thermodynamiques du système.....	37
Tableau III.2 : Les performances thermodynamique du système.....	37

RÉSUMÉ

Résumé

Dans ce présent travail, une analyse énergétique a été élaborée sur les performances d'un système photovoltaïque/ thermique (PV/T) à eau relié à un autre système de production du froid. L'étude s'est basée sur l'élaboration d'un bilan énergétique entre les différents noeuds du système. Par suite un programme écrit en Matlab pour but de calculer les inconnus. L'étude a servi pour montrer l'importance de l'utilisation du solaire (qui est gratuit) en reliant le capteur hybride photovoltaïque/ thermique à un système simple de compression de vapeur, d'où les énergies produites seront utilisées pour générer de l'électricité et de la chaleur. L'étude s'est basée sur le changement des fréons : R134a, R143a et le R245fa et de tester l'influences sur le système global. Pour ce qui est capteur PV/T les paramètres suivant ne changent pas avec le changement du fréon, citons : la puissance utile, la température de l'eau à la sortie du capteur solaire, les trois rendements électriques, thermique et global. En ce qui concerne les fréons, le fluide R143a a présenté les meilleures efficacités de chauffage et de refroidissement, 60,28 % et 81,03 % respectivement en les comparants avec les deux autres R143a et le R245fa, ce fluide aussi a présenté un meilleur COP de 5,27. Les résultats obtenus démontrent que l'utilisation du fréon R143a est bénéfique pour le système.

Mots clés : panneau PV, capteur solaire, compression de vapeur, eau, fréon, performances.

Summary

In this present work, an energy analysis was developed on the performance of a photovoltaic/thermal (PV/T) water system connected to another cold-production system. The study was based on the development of an energy balance between the different nodes of the system. As a result, a program written in Matlab aims to calculate the unknowns. The study served to show the importance of the use of solar (which is free) by connecting the hybrid photovoltaic / thermal collector to a simple vapor compression system, from where the energies produced will be used to generate electricity and heat. The study was based on the change of freons: R134a, R143a and R245fa and to test the influences on the global system. As regards the PV/T sensor, the following parameters do not change with the change of freon, let us mention: the useful power, the temperature of the water at the outlet of the solar collector, the three electrical, thermal and global efficiencies. % and 81.03% respectively by comparing them with the other two R143a and R245fa, this fluid also presented a better COP of 5.27. The results obtained show that the use of freon R143a is beneficial for the system.

Keywords: PV panel, solar collector, vapor compression, water, freon, performance.

المخلص

في هذا العمل الحالي، تم تطوير تحليل للطاقة حول أداء نظام المياه الكهروضوئي/الحراري (PV/T) المتصل بنظام إنتاج بارد آخر من نظامين. استندت الدراسة إلى تطوير توازن الطاقة بين العقد المختلفة للنظام. نتيجة لذلك، يهدف برنامج مكتوب في Matlab إلى حساب المجهول. عملت الدراسة على إظهار أهمية استخدام الطاقة الشمسية (المجانية) من خلال ربط المجمع الكهروضوئي/الحراري الهجين بنظام ضغط بخار بسيط، حيث سيتم استخدام الطاقات المنتجة لتوليد الكهرباء والحرارة. استندت الدراسة إلى تغيير الفريونات: R134a او R245fa، واختبار التأثيرات على النظام العالمي. فيما يتعلق بمستشعر PV/T، لا تتغير المعلمات التالية مع تغيير الفريون، دعونا نذكر: والطاقة المفيدة، ودرجة حرارة الماء في مخرج المجمع الشمسي، والكفاءات الكهربائية والحرارية والعالمية الثلاث. % و 81.03 على التوالي من خلال مقارنتهما مع R134a, R245fa الآخرين، قدم هذا السائل أيضًا مؤتمر الأطراف بشكل أفضل من 5.27. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن استخدام R143a الفريون مفيد للنظام.

الكلمات المفتاحية: لوحة PV، جامع الطاقة الشمسية، ضغط البخار، الماء، الفريون، الأداء.

Nomenclature

Symboles

Nomenclatures	Significations	Unités
b	Largeur	[m]
c_e	Chaleur spécifique	[kJ/kg.k]
C_f	Facteur de conversion vers la puissance thermique	/
COP	Le coefficient de performance	/
Dh	Diamètre hydraulique	[m]
dx	Longueur élémentaire	[m]
e	L'écart pourcentage moyen	%
EVA	L'éthylène-acétate de vinyle	/
G	Intensité de rayonnement	[W/m ²]
H	L'enthalpie	[kJ/kg]
h_c	Le coefficient de transfert de chaleur par conduction	[W/m ² .K]
h_e	Le coefficient de transfert de chaleur de convection de l'eau	[W/m ² .K]
h_r	Le coefficient de transfert de chaleur par rayonnement	[W/m ² .K]
h_v	Le coefficient de transfert de chaleur par convection	[W/m ² .K]
h_{p1} h_{p2}	Facteur de pénalité	/
K	Conductivité thermique	[W/m.k]
L	Longueur	[m]
\dot{m}_e	Taux de l'écoulement de la masse d'eau	[kg/s]
Nu_D	Nombre de Nusselt	/
Pele	La puissance électrique totale nécessaire pour entrainer le compresseur, la pompe et la résistance électrique	[W]
PV/T	Photovoltaïque/Thermique	/
\dot{Q}_{CD}	La puissance du condenseur	[W]
\dot{Q}_{Chauf}	La puissance de chauffage	[W]
\dot{Q}_{EV}	La puissance d'évaporateur	[W]
\dot{q}_u	Le puissance utile	[W]
Re_D	Nombre de Reynolds	/
T	Température	[K]
U_b	Le coefficient global de perte de chaleur du fluide de travail vers l'ambiance	[W/m ² .K]
U_L	Le coefficient global du perte de chaleur du conduit à l'ambiance	[W/m ² .K]
U_t	Coefficient global de transfert de chaleur à travers la cellule solaire et le tedlar	[W/m ² .K]
U_T	Coefficient global de transfert de chaleur par conduction entre la cellule et l'eau à travers le tedlar	[W/m ² .K]
U_{Tt}	Coefficient global de transfert de chaleur de verre vers le tedlar	[W/m ² .K]
V_{vent}	La vitesse du vent	[m/s]
\dot{W}_{CP}	La puissance du compresseur	[W]
\dot{W}_{pompe}	La puissance de la pompe	[W]

$\dot{W}_{R,ele}$	La puissance de la résistance électrique	[W]
-------------------	------------------------------------------	-----

Symboles grecs

Symbole	Significations
η	Rendement
α	Coefficient d'absorption de l'absorbeur
β	Coefficient de température
τ	Coefficient de transmission du verre
ε	Emissivité
σ	Le constante de stéfan-Booltzmann

Indices

Indice	Significations
a	Ambiante
e	Eau
$e, entrée$	L'eau à l'entrée
$e, sortie$	L'eau à la sortie
c	Cellule
t	Tedlar
v	Verre
i	Isolant
ref	Condition de référence
el	Electrique
th	Thermique
$sol - refroi$	Solaire de refroidissement
$sol - chauf$	Solaire de chauffage

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

A l'heure actuelle, la nécessité de la ventilation, la climatisation et même le froid poussent à augmenter la demande sans cesse sur l'énergie. Donc les recherches actuelles s'est penchées sur le couplage des systèmes solaire photovoltaïques/thermique (PV/T) aux systèmes de froid et de chauffage.

Dans ces systèmes récents, les dispositifs photovoltaïques assurent l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des différents composants de l'installation de froid ou de chauffage, tels que : compresseur, pompe, batterie, chaudièreetc. Tandis que le système thermique permet d'extraire de la chaleur de sous les panneaux et l'injecter par la suite dans le système de chauffage ou de froid.

Souvent le marché et les conventions citons par exemple celle de KYOTO 1997 poussent à opter pour varier l'utilisation des nouveaux fréons possédant des caractéristiques physiques, moléculaires et écologique meilleurs.

Si bien, que le but de notre travail était de faire une simulation numérique assurant le couplage entre un capteur hybride photovoltaïque/ thermique (PV/T) à eau et le système de froid à compression de vapeur utilisant trois fluides frigorigènes différents : R134a, R143a et R245fa. Le mémoire se compose de trois chapitres :

- Le premier chapitre donne des notions générales sur les différents types des capteurs solaires et les systèmes de froid, avec une présentation de leurs différents composants. Puis on a achevé le chapitre par une brève aperçue sur quelques recherches scientifiques.
- Le deuxième chapitre est désigné à la modélisation de deux systèmes. Les modèles de simulation, sont basés sur le bilan d'énergie et de masse entre les différents éléments des systèmes, aussi pour le calcul de différentes efficacités.
- Dans le troisième chapitre, les résultats sont présentés pour le système hybride PV/T puis le système de compression de vapeur.
- Finalement, on a terminé avec des conclusions générales.

CHAPITRE I

I.1 Introduction

Ce chapitre est consacré d'une part sur des définitions de l'énergie solaire, les capteurs solaires et leurs différents types, également sur les différents composants qui le constituent et le principe de fonctionnement de chacun. D'un autre côté, les différents types et éléments du cycle chauffage et refroidissement solaire. Enfin, une synthèse bibliographique présente les recherches engagées sur les différents modèles de chauffage et refroidissement solaire par des systèmes PV/T.

I.2 L'énergie solaire

L'énergie solaire est plus exploitable en le comparant avec les autres énergies renouvelables, ce qui la rend la plus dominante, car elle dépend du soleil. Cette énergie permet de produire de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou de centrales solaires thermiques grâce à la lumière du soleil captée par des capteurs solaires thermique.

On distingue deux moyens principaux de convertir l'énergie solaire :

- Conversion en électricité : énergie solaire photovoltaïque.
- Conversion en chaleur : énergie solaire thermique. [1]

I.3 Le capteur solaire

Un capteur solaire est un élément d'une installation solaire destiné à capter l'énergie solaire afin de la transformer en énergie thermique par le biais d'un fluide caloporteur (air, eau). Ces capteurs peuvent être utilisés après pour chauffer des locaux, fournir de l'eau chaude sanitaire, sécher les grains, faire fonctionner des moteurs thermiques. [2]

I.3.1 Les composants d'un capteur solaire thermique

Les capteurs solaires contiennent les éléments suivants : un vitrage, un absorbeur, un ensemble de tubes pour la circulation de l'eau ou un canal dans lequel circule de l'air, un isolant et un boîtier qui englobe tous les composants (voir la figure I.1).

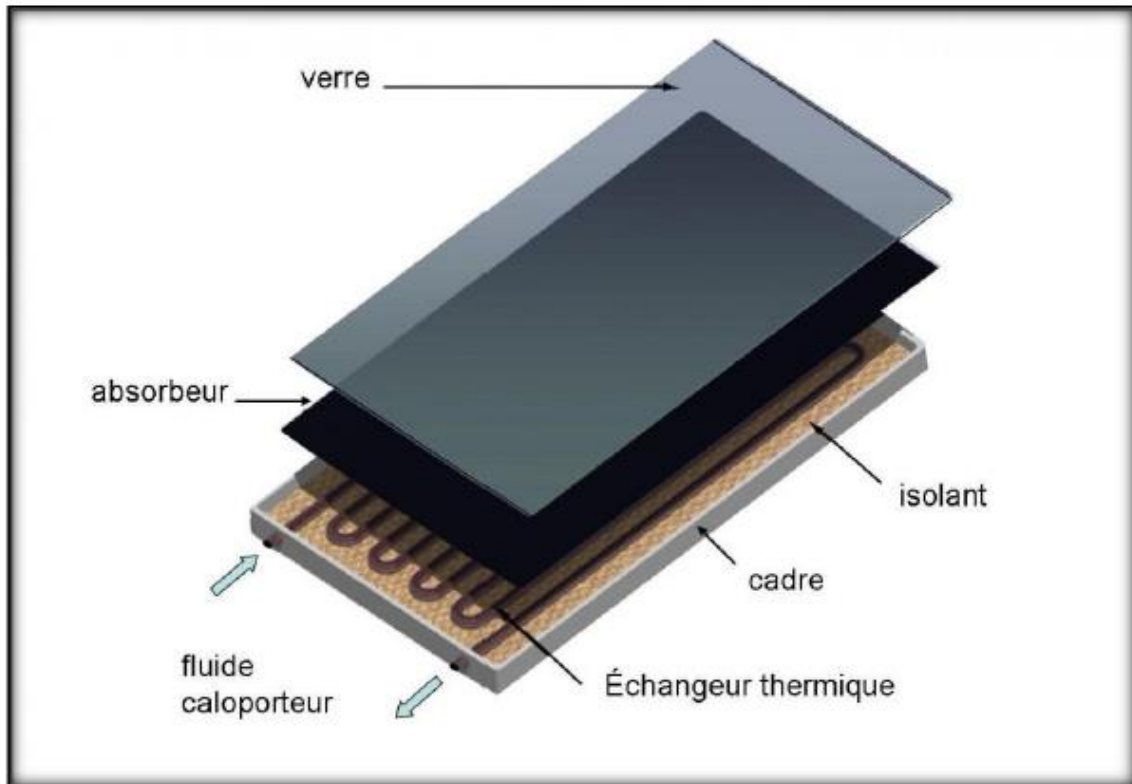


Figure I.1 : Le capteur solaire thermique [3]

I.3.2 Le capteur solaire photovoltaïque

Un capteur solaire photovoltaïque est une unité photovoltaïque qui fonctionne comme un générateur électrique à courant continu en présence du rayonnement solaire. Il est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées électriquement les unes aux autres, le plus souvent en silicium [4], l'assemblage de ces cellules photovoltaïques, destinées à produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire il est également appelé module photovoltaïque.

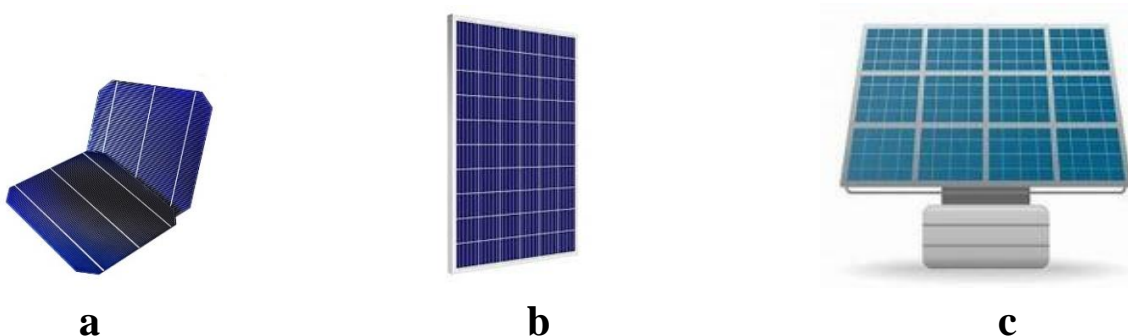


Figure I.2 : a) cellule solaire ; b) module PV ; c) champ PV [5]

I.3.2.1 Composition des panneaux photovoltaïques

Les panneaux photovoltaïques se composent des éléments suivants [6] :

- **Verre** : c'est un verre trempé avec une faible teneur en oxyde de fer pour assurer une bonne transmission.
- **EVA** : L'éthylène-acétate de vinyle, c'est une résine transparente, formée de chaînes de copolymères d'éthylène et de vinyle acétate, elle présente de grandes propriétés adhésives, une bonne transmission optique, un très faible taux d'absorption d'eau et aussi une bonne résistivité électrique.
- **Tedlar** : Il est utilisé en arrière du module, il est constitué d'un polymère fluoré appelé polyvinyle fluoré (PVF) ou bien d'un plastique appelé (PET).
- **Cadre** : qui sert à protéger les constituants suscités, il facilite le transport et l'installation.
- **La cellule solaire** : est la base du module PV, elle est formée avec un ou plusieurs matériaux semi-conducteurs (homo-jonction ou hétérojonction) avec un dopage.

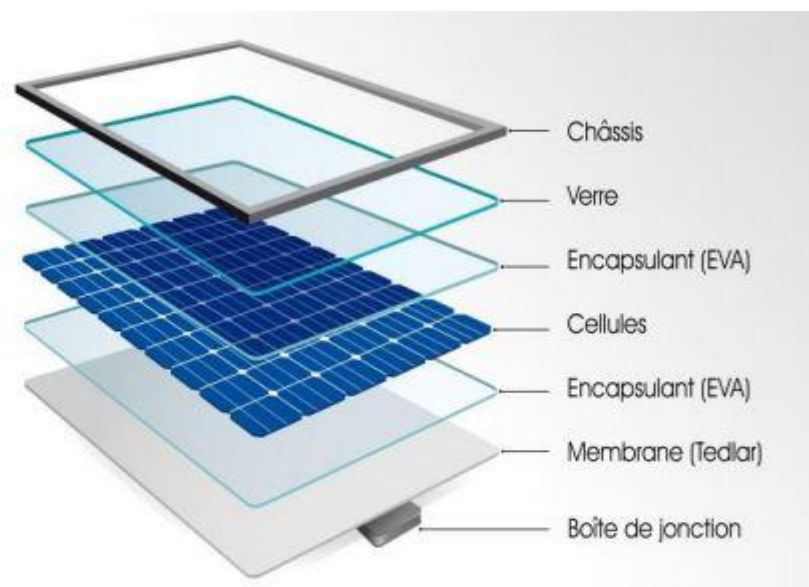


Figure I.3 : Capteur solaire Photovoltaïque [7]

I.4 Capteurs solaires hybrides

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'autre, habituellement perdue, en chaleur. Le concept consiste à superposer les deux fonctions énergétiques électrique et thermique. Dans ce type de composant hybride, les cellules PV fonctionnent comme absorbeur thermique et sont refroidies grâce à la circulation d'un fluide caloporteur en face arrière. Plusieurs configurations de capteur existent et varient

principalement selon la nature du fluide utilisé (eau, air ou bi-fluide) et selon le type d'absorbeur (plan, concentrateur ...). [8]

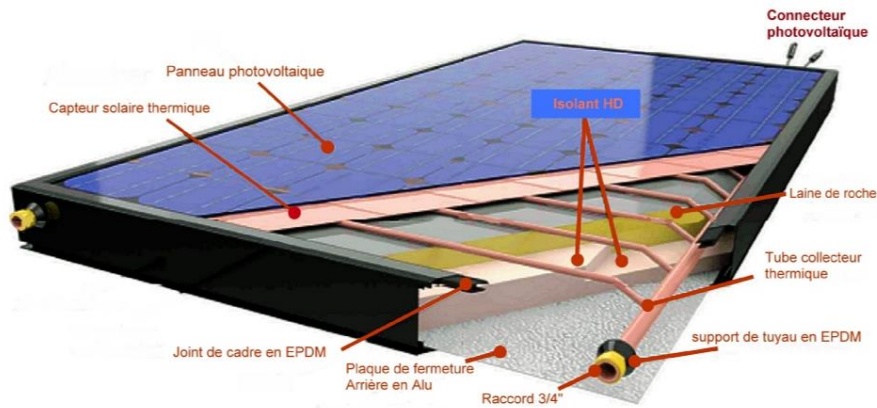


Figure I.4 : Capteur solaire hybride PV/T [9].

I.4.1 Principe et fonctionnement des panneaux solaires hybrides

Un panneau solaire hybride est constitué des capteurs thermiques sur lesquels reposent des cellules solaires photovoltaïques. Ces dernières transforment le rayonnement solaire en électricité, tandis que les capteurs thermiques récupèrent la chaleur émise par le soleil grâce à un fluide caloporteur injecté par un échangeur ou grâce à un collecteur. La cellule photovoltaïque est activement refroidie ce qui permet de stabiliser ses performances électriques élevées. [10],[11]

I.5 Le cycle chauffage et climatisation

Dans un système de chauffage et climatisation, la chaleur passe automatiquement du système le plus chaud vers le système le plus froid à cause de la différence de température. Par conséquent, de nombreux processus thermodynamiques se produisent naturellement dans une direction. [12]

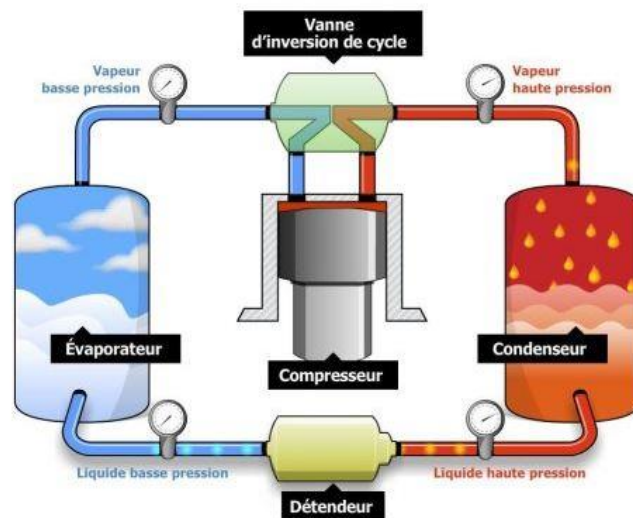


Figure I.5 : Cycle chauffage et climatisation [13].

I.5.1 La climatisation solaire

La climatisation solaire fait référence à toutes les technologies de climatisation qui utilisent l'énergie solaire comme source d'énergie primaire, si bien qu'elle présente une application relativement nouvelle de la technologie. Le bon choix des cinq paramètres essentiels peut assurer une meilleure climatisation dont on peut citer [14] : la température, l'humidité, la qualité de l'air intérieur (pureté), le confort intérieur et l'intégration environnementale.

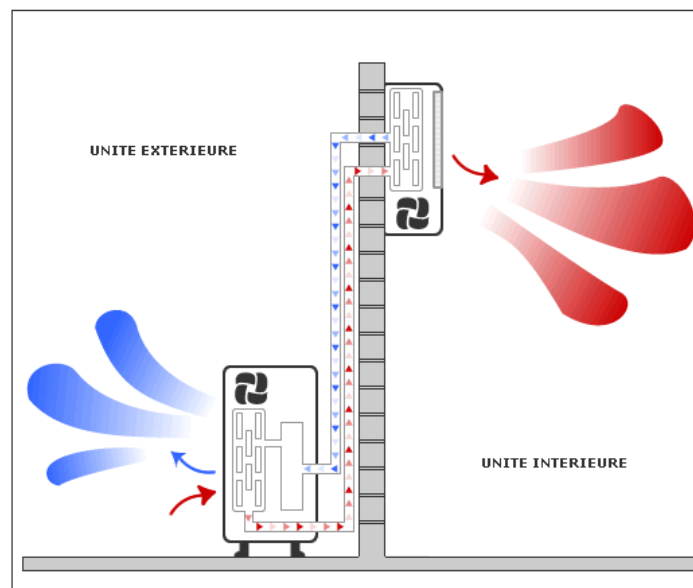


Figure I.6 : Schéma de principe du fonctionnement d'une climatisation [15].

I.5.2. Cycles de Réfrigération

La climatisation et même l'industrie du froid font appel à plusieurs cycles thermodynamiques fermés utilisant différents fluides frigorigènes, où les deux cycles les plus adaptés à la climatisation solaire sont : le cycle de refroidissement à compression de vapeur et le cycle de refroidissement par machine à absorption.

I.5.2.1 Cycle de refroidissement par compression de vapeur

Le cycle de refroidissement sert de base à l'exploitation de tous les climatiseurs et pompes à chaleur à compression de vapeur, si bien que ce dernier comprend quatre composants principaux. Ce cycle contient un fréon qui change de phase à l'intérieur d'un échangeur dans le cadre du processus de fonctionnement [16]. La machine à compression de vapeur représente le moyen le plus utilisé pour la production du froid dont son principe de fonctionnement est le suivant : au cours de ce cycle fermé, le fluide frigorigène soutire à la source froide une quantité de chaleur, puis cède à la source chaude une autre quantité de chaleur. Sans travail extérieur, le transfert de chaleur ne peut avoir lieu.

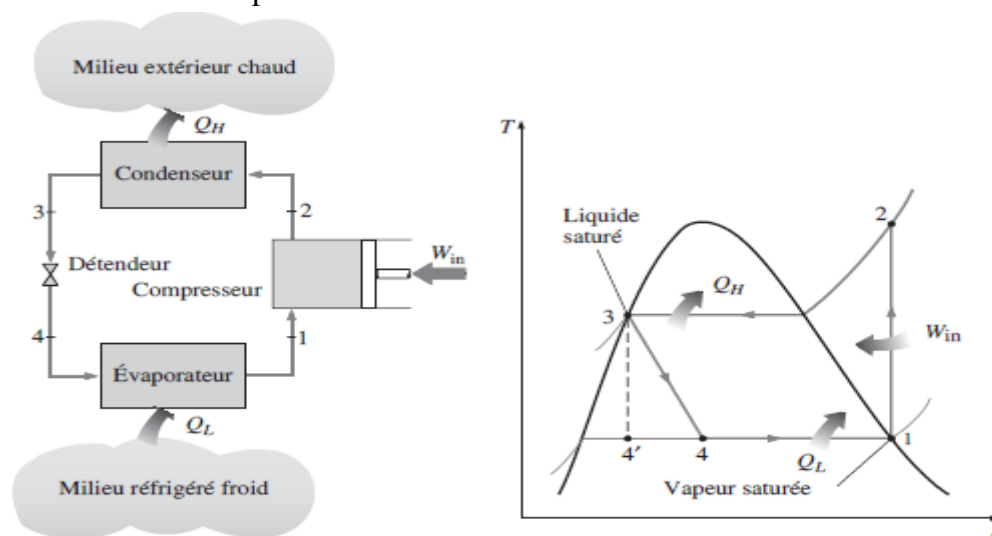


Figure I.7 : Schéma et diagramme T-S du cycle de refroidissement par compression de vapeur [17]

I.5.2.1.1 Composants d'un cycle à compression de vapeur

Tout système frigorigère à compression comprend au moins 4 éléments [18],[19] :

- **Compresseur**

Le compresseur aspire les vapeurs froides en provenance de l'évaporateur et restitue au refoulement des vapeurs comprimées et surchauffées, le fluide subit une compression qui a pour but d'augmenter la température du fluide refoulé.

- **Condenseur**

Les vapeurs comprimées pénétrant dans le condenseur sont à une température élevée, elles subissent une désurchauffe puis elles seront condensées à la température constante. La chaleur de désurchauffe et la chaleur latente de condensation sont enlevées par l'air ou l'eau (médium de condensation). Si la température de ce médium est suffisamment basse, nous pouvons obtenir un sous-refroidissement du liquide.

- **Détendeur**

Il faut noter qu'au passage de l'orifice calibré du détendeur, le liquide subit une chute de pression provoquant, d'une part sa vaporisation partielle et d'autre part un refroidissement jusqu'à la température de vaporisation du liquide restant. Dans ce composant le mélange liquide-vapeur ne subit aucune modification de l'état physique.

- **Évaporateur**

Le mélange liquide-vapeur détendu se vaporise totalement dans l'évaporateur par ébullition, sous une pression étant maintenue constante pendant toute l'ébullition par aspiration, par le compresseur, des vapeurs produits.

I.5.2.2 Cycle de refroidissement par une machine frigorifique d'absorption

Les machines à froid par absorption utilisent de la chaleur comme source d'énergie motrice à la différence des machines à compression qui demandent un compresseur mécanique, les machines à absorption utilisent un circuit d'absorption pour générer la différence de pression permettant au réfrigérant de réaliser le cycle de réfrigération [20]. Le cycle d'absorption fonctionne de la même façon qu'un cycle à compression, seulement le compresseur mécanique est changé en compresseur thermochimique. Les refroidisseurs à absorption font partie de la famille thermodynamique des machines tri thermes, c'est à dire qui utilisent trois niveaux de températures pour fonctionner. Le premier niveau de température correspond à la température froide, le second à la température ambiante et le dernier à la température de la source chaude. Les refroidisseurs à absorption utilisent directement la chaleur comme source première d'énergie pour produire du froid contrairement au refroidisseur de liquide à compression qui utilise une énergie mécanique. [21]

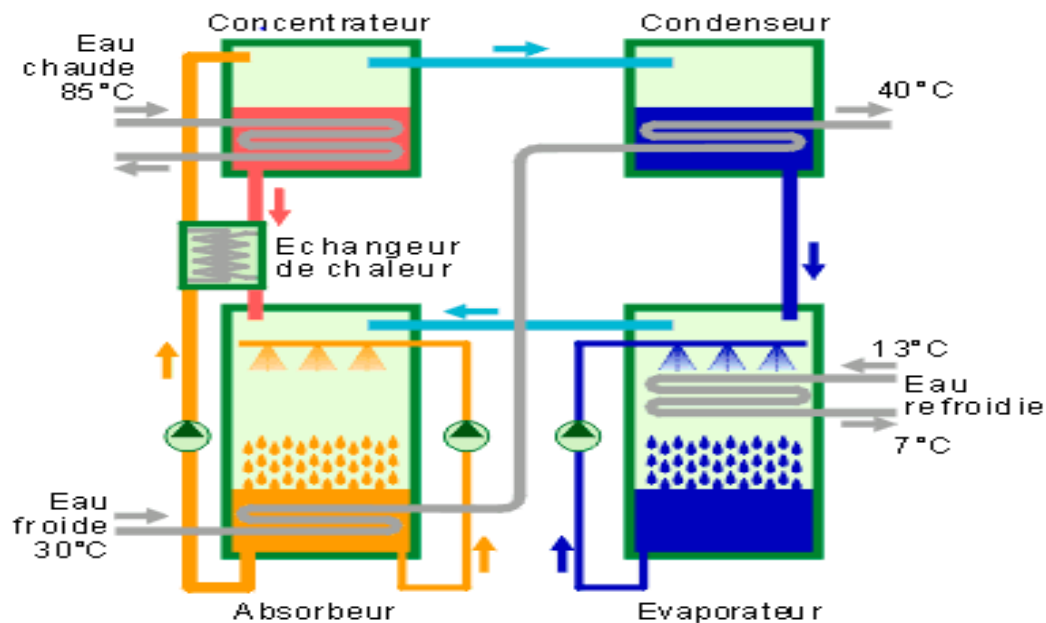


Figure I.8 : Les composants d'un système de refroidissement par machine à absorption [22]

I.5.3 Cycle de chauffage solaire

Le chauffage solaire est une solution écologique et économique pour les procédés de chauffage domestiques ou industriels d'où son principe consiste à distribuer la chaleur provenant des capteurs solaires selon les besoins demandés.

I.5.3.1 Le chauffe-eau solaire

Le chauffe-eau solaire utilise de l'énergie solaire pour fournir une partie ou la totalité de l'eau chaude sanitaire (ECS). Il se sert d'appoint pour but de compléter les types de chauffage de l'eau exploitant d'autres sources énergétiques (électricité, énergies fossiles, biomasse, ...) dans certaines conditions il permet de les remplacer totalement. L'installation de tels dispositifs est fortement encouragée par de nombreux états. [23]

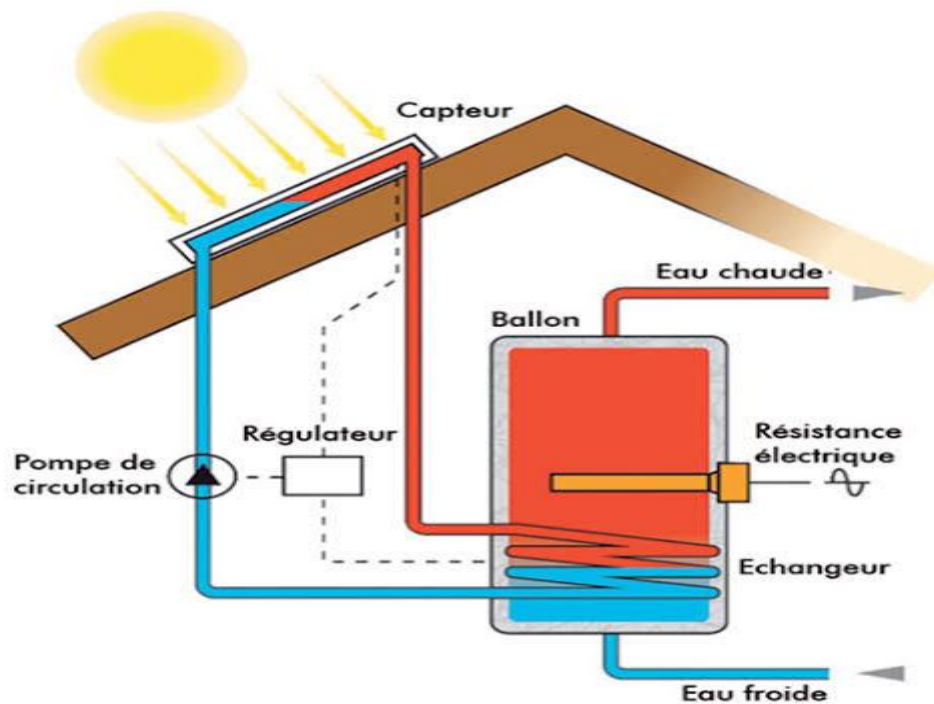


Figure I.9 : Schéma d'un chauffe-eau solaire [24].

I.5.3.2 Le chauffage solaire des maisons

Ce système fonctionne à l'aide de panneaux solaires thermiques, photovoltaïques ou hybrides et fait appel souvent à des appoints pour les jours sans soleil. Le chauffage solaire est particulièrement bien adapté pour les maisons neuves même s'il s'applique aussi aux rénovations. [25]

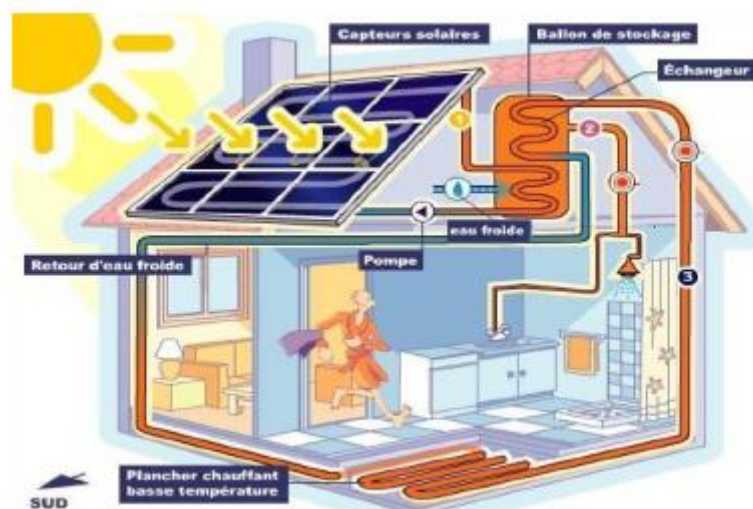


Figure I.10 : Schéma d'un chauffage solaire de maison [26].

I.6 Etude Bibliographique

Zarei et al. [27] ont mentionné que le développement dans le domaine économique peut se faire par les différentes techniques de chauffage et de refroidissement solaire. Leur étude avait pour but d'évaluer les performances du système combiné de refroidissement / chauffage solaire utilisant un capteur thermique photovoltaïque pour des applications résidentielles. Le principal avantage de l'utilisation du PVT est la conversion de la quantité maximale d'énergie solaire en électricité et en énergie thermique. L'eau était utilisée comme fluide caloporteur, d'une part elle servait à refroidir la cellule solaire et d'autre part elle a été intégrée dans le circuit de refroidissement après avoir traversé dans le collecteur. Le cycle de refroidissement comprend un cycle de réfrigération hybride éjecteur-compression avec deux températures de l'évaporateur. Le R134a a été remplacé par deux différents fluides frigorigènes qui sont R600a et R290 dans le cycle. Leurs résultats ont montré que l'utilisation du R290 pour le cycle de réfrigération et refroidissement du panneau entraîne une amélioration du coefficient de performance du cycle.

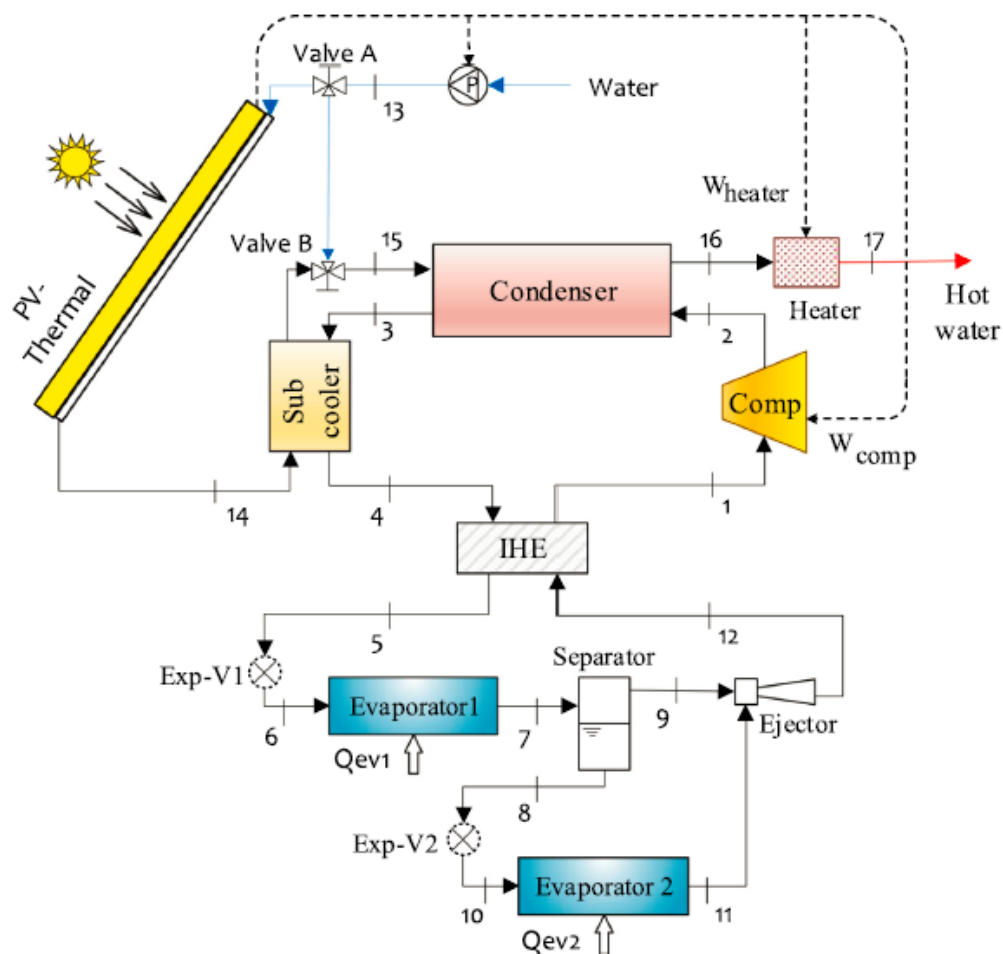


Figure I.11 : Schéma de principe du capteur PVT proposé pour circuit de refroidissement et de chauffage de l'étude de Ahmed Zarei et al[27].

L'article de **Bahaidarah et al. [28]**, montre que la performance du module photovoltaïque (PV) dépend largement de sa température de fonctionnement et la plus grande partie de l'énergie absorbée par le panneau est transformée en chaleur qui est normalement perdue et ne donne aucune valeur. Afin d'étudier les performances d'un système PV hybride refroidi par eau, un modèle numérique pour calculer les paramètres électrique et thermique a été développé à l'aide du logiciel EES (Engineering Equation Solver), d'où ils ont examiné également l'effet de refroidissement du module en incorporant un échangeur de chaleur sur sa surface arrière. Les résultats de leur modèle numérique correspondent bien aux mesures expérimentales effectuées pour le climat à Dhahran, en Arabie saoudite. Les résultats obtenus montrent qu'avec le refroidissement par eau actif, la température du module a chuté de manière significative ce qui a entraîné une augmentation de l'efficacité du panneau PV.

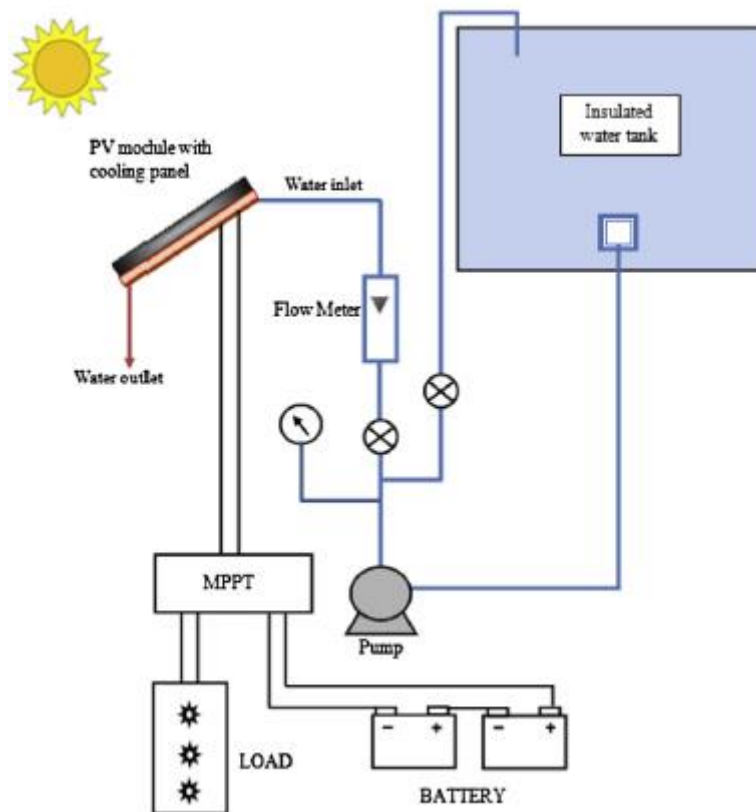


Figure I.12 : Schéma de l'expérience proposé par H. Bahaidarah et al.[28]

Hansal et Chetouane, 2017. [29] ont étudié un panneau hybride thermique (PV/T) intégré avec conduit d'air pour le climat de la ville Jijel d'une façon analytique et expérimentale. Par l'utilisation du bilan énergétique pour chaque composant ils ont été obtenues des expressions analytiques (thermique et électrique). Les étudiants ont trouvé un bon accord entre les résultats théoriques et expérimentaux et par la suite ils ont élaboré une base de données sur les conditions

climatiques de Jijel pour qu'elle soit utilisée pour pas mal de travaux effectués par les étudiants qui suivent.



Figure I.13 : dispositif expérimental utilisé (Devant le Hall Technologique, université de Jijel) de l'expérience de Hansal et Chetouane.[29]

Rafal Figaj et Maciej Zoladek. [30] ont réalisé une étude comparative entre les résultats obtenus avec le logiciel de calcul TRANSYS et les résultats de l'étude expérimentale. Leur expérience était basée sur un système composé d'un capteur solaire thermique plan qui fonctionnait avec l'huile comme agent thermique et également un concentrateur parabolique de type miroir. Leur étude visait principalement à analyser la production de chaleur provenant du système de chauffage et de refroidissement. Leurs résultats ont démontré que le modèle numérique de la parabole solaire et du capteur solaire exagère l'énergie produite de moins de 5% en comparaison avec l'étude expérimentale.

Shan et al. [31] ont présenté une simulation dynamique, d'un système hybride photovoltaïque thermique (HPVT) utilisant un fluide frigorigène R410a en tant que fluide de travail. La simulation a fait l'objet d'une évaluation et d'une analyse des conditions météorologiques typiques à Nanjing, en Chine. Sur la base de leurs résultats, ils ont conclu que par comparaison

à un collecteur de chauffage PV/T à (eau/air), le capteur HPVT utilisant un réfrigérant fonctionne plutôt bien et les températures de fonctionnement de la cellule solaire baissent à un certain degré et le module photovoltaïque fonctionne dans un état idéal.

Khelifa et al, 2016 [32] ont étudié de façon théorique et expérimentale le système hybride PV/T avec circulation d'eau en tubes ronds. Le transfert de chaleur dans le module ainsi que l'écoulement du fluide sont modélisés à l'aide du logiciel ANSYS. Leur objectif était de parvenir à une meilleure exploitation de l'énergie solaire en exploitant les avantages présentés par le bon choix des matériaux et des moyens techniques qui réduisent les coûts et l'espace d'intégration de l'installation nécessaire.

I.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes notions qui sont liées à la conception des énergies solaire thermique et photovoltaïque connus sous la notion du système hybride, tout en présentant le principe de fonctionnement de chaque conception, aussi on a montré tous les éléments constitutifs des systèmes.

Dans la deuxième partie nous avons présenté les systèmes de chauffage et de climatisation en introduisant des définitions essentielles, aussi on a parlé des deux cycles de refroidissement par compression de vapeur et par une machine frigorifique d'absorption. Enfin, on a terminé par une présentation de quelques recherches élaborées par chercheurs dans le un contexte proche du notre modèle.

CHAPITRE II

II.1 Introduction

Ce chapitre est destiné à la modélisation de notre système qui se compose deux systèmes, qui sont : un système hybride photovoltaïque thermique à eau (HPV/T) et un autre système de réfrigération. Le premier système se compose d'un panneau photovoltaïque qui produit de l'électricité et un capteur thermique qui génère de la chaleur. On a appliqué le bilan d'énergie pour chacun des éléments du système puis on a complété par le calcul des différents rendements de ce capteur hybride. Dans le second système, on a utilisé aussi les bilans énergétiques et massiques dans les différents composant du système de réfrigération pour pouvoir identifier les différents coefficients de performances pour toute l'installation.

II.2 Description du système proposé et identification du problème

Le but principal de cette recherche consiste à concevoir un système combiné pour obtenir le refroidissement et chauffage au meilleur rendement possible du capteur PVT.

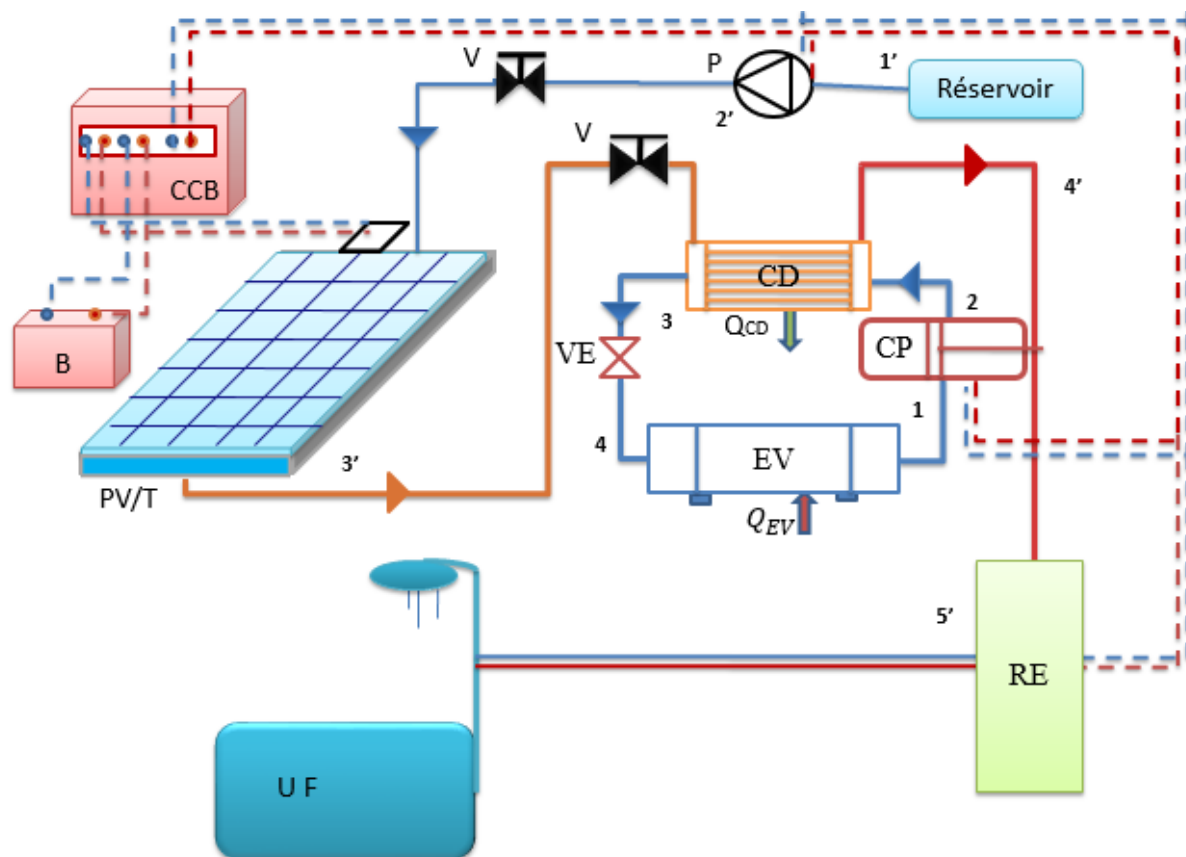


Figure II.1 : Le schéma de principe du système étudié

B: Batterie, CCB :le contrôleur de la charge de la batterie, EV: évaporateur, CD: condenseur, CP: compresseur, V : vanne, UF: utilisation finale, VE: valve d'étranglement, RE: résistance électrique, P: la pompe, PV/T: le système hybride photovoltaïque/thermique.

Le schéma proposé du système combiné est basé sur un système hybride photovoltaïque/thermique PVT avec un système de refroidissement à compression de vapeur figure II.1. Dans ce système, le champ solaire PVT utilise l'eau comme fluide de travail. La partie de refroidissement est basée sur un simple cycle de compression de vapeur avec le réfrigérant soit R134a, R245fa ou R143a. Ce cycle comprend quatre composants : compresseur, condenseur, détendeur et un évaporateur.

Le réfrigérant doit être gazeux et à basse température et pression à l'entrée du compresseur (état 1) Puisque que le processus de compression du réfrigérant nécessite du travail, la puissance nécessaire peut être produite par le module PV. A la sortie du compresseur le réfrigérant à une pression supérieure à celle de l'entrée, puis pénètre dans le condenseur à la même état gazeux (état 2). De l'autre côté, l'eau est fournie à partir d'un réservoir de stockage (état 1'), qui est ensuite transférée par une pompe vers le champ solaire à (état 2'), où cette pompe peut également être alimentée par le système PV. Le champ solaire augmente la température de l'eau jusqu'à (état 3') qui pénètre ensuite dans le condenseur qui agit comme un échangeur de chaleur afin de transférer la chaleur du fluide frigorigène au flux d'eau qui sort à une température plus élevée (état 4'), alors il peut fournir l'eau chaude nécessaire aux consommations résiduelles (état 5'). Dans le condenseur, pendant la circulation du fluide frigorigène la pression est reste constante, et dans ce cas la chaleur est rejetée du condenseur (Q_{CD}) pour passer d'un état gazeux à un état liquide. Quand le fréon entre dans le détendeur (état 3), il se dilate en conséquence, la température commence à diminuer à ce stade. A la sortie le réfrigérant est sous forme d'une combinaison liquide-vapeur à la suite de ces changements (état 4). Le fluide frigorigène pénètre dans l'évaporateur à une température inférieure aux conditions de l'environnement et par conséquent, il s'évapore et absorbe la chaleur latente de la vaporisation, à basse pression et température, dans ce cas la chaleur est rejetée vers l'évaporateur (Q_{EV}). Nous avons remarqué à la fin de cette description, que l'alimentation électrique des différentes parties du système hybride photovoltaïque-thermique (pompe, compresseur, réchauffeur) est autonome, l'énergie électrique générée par le module PV est stockée dans une batterie (B), ce dernier est lié à un contrôleur de charge de batterie, le rôle d'un contrôleur de charge de batterie (CCB) est de charger en toute sécurité une batterie solaire à décharge profonde aux taux de charge corrects et de protéger la batterie contre les surcharges.

II.3 L'analyse du système

Cette section présente les équations thermiques et électriques qui régissent le PV/T, ainsi que l'évaluation thermodynamique du cycle de refroidissement.

II.3.1 Analyse du collecteur PV/T

II.3.1.1 *Modèle thermique*

Dans cette étude, les équations du bilan énergétique sont utilisées pour étudier les performances thermiques du PVT. D'où, les hypothèses suivantes sont été formulées lors de l'évaluation du système proposé :

- Le transfert de chaleur se produit dans un seul sens (1 D).
- La capacité thermique des couches de capteurs et de l'isolant a été négligée.
- Le débit d'eau entre le Tedlar et l'isolant est uniforme et pleinement développé.
- Le système est un état quasi-stationnaire [33].

Les équations de bilan thermique pour différentes surfaces du collecteur PV/T sont écrites comme suit :

• **Pour le module PV**

$\tau_v[\alpha_c G(t)\beta_c + (1 - \beta_c)\alpha_T G(t)]bdx = U_t(T_c - T_a)bdx + U_T(T_c - T_t)bdx + \eta_c G(t)\beta_c bdx$	II.1
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------

Où : b.dx représente la zone élémentaire.

$\tau_v\alpha_c G(t)\beta_c$ est la quantité d'énergie solaire reçue par les cellules solaires.

$(1 - \beta_c)\tau_v\alpha_T G(t)$ le taux d'énergie solaire absorbée par le tedlar.

$U_t(T_c - T_a)$ est le taux des pertes d'énergie thermique de la cellule solaire vers l'ambient.

$U_T(T_c - T_t)$ explique le taux de transfert de chaleur de la cellule solaire vers le tedlar.

$\eta_c G(t)\beta_c$ présente le taux d'énergie électrique produite par les cellules solaires.

• **Pour le tedlar**

$U_T(T_c - T_t)bdx = h_e(T_t - T_e)bdx$	II.2
-----------------------------------------	------

Où : $h_e(T_t - T_e)$ est le taux de transfert de chaleur du tedlar à l'eau circulent dans le conduit.

• **L'équilibre énergétique pour l'eau dans le conduit peut être écrit comme suit**

$h_e(T_t - T_e)bdx = \dot{m}_e c_e \frac{dT_e}{dx} dx + U_b(T_e - T_a)bdx$	II.3
----------------------------------------------------------------------------	------

Où : $\dot{m}_e c_e \frac{dT_e}{dx} dx$ est la puissance thermique utile de la partie thermique du collecteur et

$U_b(T_e - T_a)$ est le taux des pertes de chaleur arrière de l'eau qui coule à l'ambiance.

En appliquant un bilan énergétique pour différents composants du PVT, Les équations de température de surface et le coefficient global de perte de chaleur peut être obtenu à partir des équations. (4)--(6)

$T_c = \frac{\tau_v[\alpha_c G(t)\beta_c + (1 - \beta_c)\alpha_T G(t)] + U_t T_a + U_T T_t - \eta_c G(t)\beta_c}{U_t + U_T}$	II.4
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------

$$T_t = \frac{h_{p1}(\alpha\tau)_{eff}G(t) + U_{tT}T_a + h_eT_e}{U_{tT} + h_e} \quad \text{II.5}$$

$$T_e = \frac{h_{p1}h_{p2}(\alpha\tau)_{eff}G(t)}{U_L} \left(1 - e^{-\frac{bU_Lx}{\dot{m}_e c_e}}\right) + T_a \left(1 - e^{-\frac{bU_Lx}{\dot{m}_e c_e}}\right) + T_{e,entré} e^{-\frac{bU_Lx}{\dot{m}_e c_e}} \quad \text{II.6}$$

Où T_c , T_t et T_e sont les températures de la cellule solaire, la température de tedlar et température moyenne de l'eau dans le conduit d'écoulement, respectivement.

Par conséquent, la température de l'eau à la sortie peut être déterminé par l'utilisation des conditions initiales suivant : à $x = L$, $T_{e,sortie} = T_e|_{x=L}$, comme suit :

$$T_{e,sortie} = \left[\frac{h_{p1}h_{p2}(\alpha\tau)_{eff}G(t)}{U_L} + T_a \right] \left(1 - e^{-\frac{bU_L L}{\dot{m}_e c_e}}\right) + T_{e,entré} e^{-\frac{bU_L L}{\dot{m}_e c_e}} \quad \text{II.7}$$

La température moyenne de l'eau dans le conduit peut être écrite comme suit :

$$\bar{T}_e = \frac{1}{L} \int_0^L T_e dx = \left[\frac{h_{p1}h_{p2}(\alpha\tau)_{eff}G(t)}{U_L} + G(t) \right] \left(1 - \frac{1 - e^{-(bU_L/\dot{m}_e c_e)L}}{bU_L/\dot{m}_e c_e}\right) + T_{e,entré} \frac{1 - e^{-(bU_L/\dot{m}_e c_e)L}}{bU_L/\dot{m}_e c_e} \quad \text{II.8}$$

Les coefficients associés à ces équations (1)-(8) sont définis comme suit :

Premièrement, le produit de l'absorptivité et de la transmissivité effective peut être défini comme suit :

$$(\alpha\tau)_{eff} = \tau_v \{ \alpha_c \beta_c + \alpha_T (1 - \beta_c) - \eta_c \beta_c \} \quad \text{II.9}$$

Deuxièmement, le coefficient global de transfert de chaleur du verre vers le tedlar, est donné par :

$$U_{tT} = \left[\frac{1}{U_T} + \frac{1}{U_t} \right]^{-1} = \frac{U_T U_t}{U_t + U_T} \quad \text{II.10}$$

Troisièmement, le facteur de pénalité dû à travers le verre, l'EVA et à la cellule solaire peut être exprimé par [34] :

$$h_{p1} = \frac{U_T}{U_t + U_T} \quad \text{II.11}$$

Quatrièmement, le facteur de pénalité dû à la présence de tedlar entre vitrage et le fluide du travail peut être donné par [34] :

$$h_{p2} = \frac{h_e}{U_{tT} + h_e} \quad \text{II.12}$$

Toutefois, le coefficient de transfert de chaleur convectif entre la plaque arrière et le tedlar, a été considérée égale à $(500 \frac{W}{m^2.K})$, d'après l'étude de Tiwari [34]. Par conséquent, le coefficient global de transfert de chaleur du verre à l'eau à travers la cellule solaire et le tedlar, peut être calculé en utilisant les relations suivantes :

$$U_t = \left[\frac{1}{U_{tT}} + \frac{1}{h_e} \right]^{-1} = \frac{h_e U_{tT}}{h_e + U_{tT}} \quad \text{II.13}$$

Le coefficient global de perte de chaleur du conduit vers l'ambient est donné par :

$$U_L = U_{te} + U_b \quad \text{II.14}$$

Le coefficient de transfert de chaleur par conduction à travers le tedlar est représenté comme suit :

$$U_T = \frac{K_t}{L_t} \quad \text{II.15}$$

Le coefficient de perte global de la cellule solaire à l'ambient peut être défini comme suit :

$$U_t = [h_{cc} + h_{cv} + h_{vv} + h_{rv}]^{-1} \quad \text{II.16}$$

Alors que le coefficient total de perte de dos du fluide de travail à l'ambient est :

$$U_b = [h_{ci} + h_{va} + h_{ra}]^{-1} \quad \text{II.17}$$

Le coefficient de transfert de chaleur de l'eau (h_e) peut être calculé par équations (18) et (19) [35,36] :

$$Nu_D = \frac{h_e D_h}{K_e} = 5.39 \quad Re_D \leq 2300 \quad \text{II.18}$$

$$Nu_D = \frac{h_e D_h}{K_e} = 0.023 Re_D^{(4/5)} Pr^{0.4} \quad Re_D > 2300 \quad \text{II.19}$$

Le coefficient de transfert de chaleur par convection (h_v) en équation (20) peut être obtenu par :

$$h_{vv} = h_{va} = 5.7 + 3.8 V_{vent} \quad \text{II.20}$$

Où V_{vent} est la vitesse du vent.

Le coefficient de transfert de chaleur par conduction à travers la cellule est :

$$h_{cc} = \frac{K_c}{L_c} \quad \text{II.21}$$

Le coefficient de transfert de chaleur par conduction à travers le verre peut être obtenu par :

$$h_{cv} = \frac{K_v}{L_v} \quad \text{II.22}$$

Le coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le verre et le ciel est donné par :

$$h_{rv} = \varepsilon_v \sigma (T_{ciel} + T_v)(T_{ciel}^2 + T_v^2) \quad \text{II.23}$$

Où la température du ciel peut être calculée par :

$$T_{ciel} = 0.0552 T_a^{1.5} \quad \text{II.24}$$

Le coefficient de transfert de chaleur par conduction à travers l'isolant est indiqué dans l'équation suivante :

$$h_{ci} = \frac{K_i}{L_i} \quad \text{II.25}$$

L'expression suivante donne le coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre l'isolant et le sol, dans ce cas, cette température a été prise égale à 10 °C :

$$h_{rv} = \varepsilon_i \sigma (T_{sol} + T_i)(T_{sol}^2 + T_i^2) \quad \text{II.26}$$

Le tableau II.1 indique les entrées (au point de conception) et les dimensions du système PVT avec de l'eau comme fluide de travail.

Tableau II.1 : Caractéristiques thermiques des capteurs PV/T [34,37].

<i>Paramètres</i>	<i>Valeur</i>
Longueur du module PV/T	1.105 m
Largeur du module PV/T	0.467 m
<i>Paramètres électriques</i>	
Le type de la cellule solaire	Silicon solar cell at STC
Efficacité électrique de la cellule solaire aux conditions de référence.	0.12

Coefficient de température de la puissance électrique.	0.0045 °C ⁻¹
Température de la cellule de référence.	25 °C
Facteur d'emballage	0.90
Coefficient de conversion de la centrale électrique.	0.38
Paramètres thermiques et de conception	
Épaisseur du vitrage	0.0030 m
Épaisseur de la cellule solaire	0.0003 m
Épaisseur de tedlar	0.0005 m
Épaisseur de la plaque arrière	0.0030 m
Épaisseur de l'isolant	0.0500 m
Conductivité du vitrage.	1 W/m .°C
Conductivité de la cellule solaire	0.039 W/m .°C
Conductivité du tedlar	0.033 W/m .°C
Conductivité de la plaque arrière	386 W/m .°C
Conductivité de l'isolant	0.035 W/m .°C
Transmissivité du verre	0.9
Absorption de la cellule solaire	0.85
Absorption du tedlar	0.5
Émissivité du verre	0.88
vitesse du vent	1 m/s
Capacité calorifique spécifique de l'eau	4200 J/kg. K

L'énergie thermique utile \dot{q}_u obtenue par le fluide de travail circulant à l'intérieur du collecteur, peut être définie par les deux expressions suivantes :

$\dot{q}_u = \dot{m}_e c_e (T_{e,sortie} - T_{e,entré})$	II.27
$\dot{q}_u = \frac{\dot{m}_e c_e}{U_L} [h_{p1} h_{p2} (\alpha\tau)_{eff} G(t) - U_L (T_{e,entré} - T_a)] \left(1 - e^{-\frac{b U_L L}{\dot{m}_e c_e}}\right)$	II.28

Le schéma des résistances thermiques équivalent de notre système PV/T est illustré dans la figure II.2.

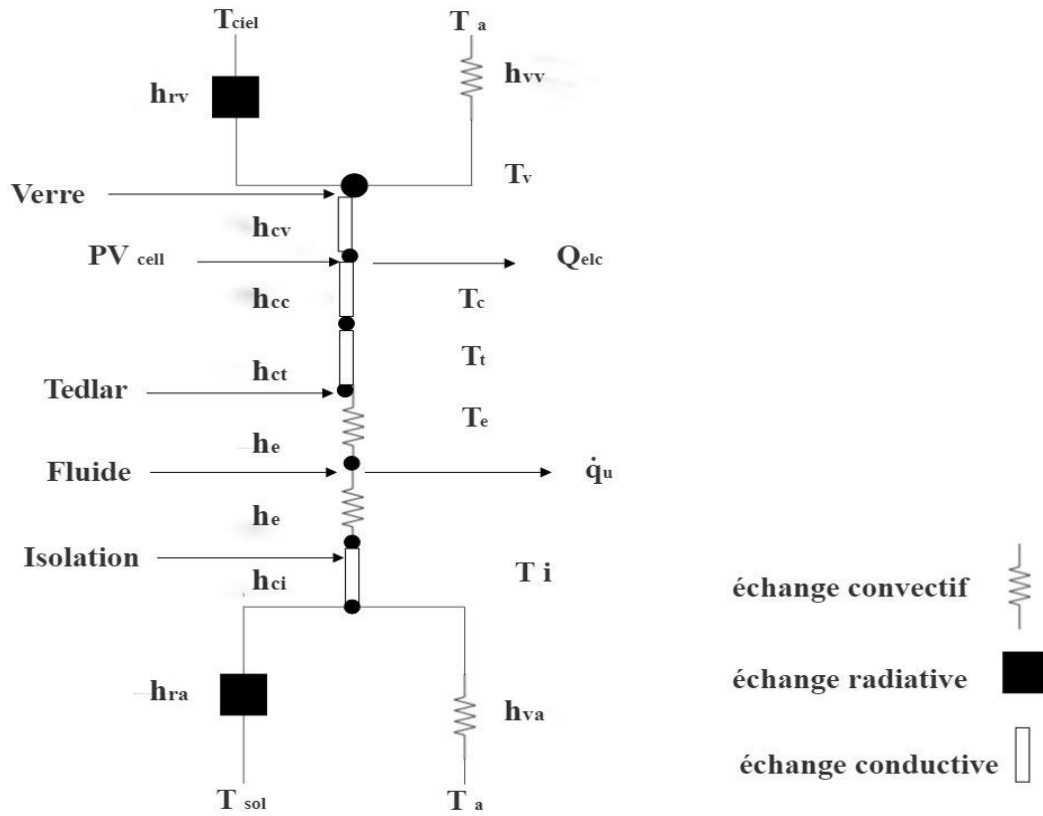


Figure II.2 : Schéma des résistances thermiques équivalent pour le système PV/T.

• Les calculs des rendements

L'efficacité électrique peut être calculée par la formule suivante :

$$\eta_{el} = \eta_{ref} [1 - \beta_p (T_c - T_{c,ref})] \tag{II.29}$$

Où : η_{ref} : est l'efficacité électrique de référence, β_p : le coefficient de température de la puissance électrique, $T_{c,ref}$: la température de la cellule de référence et T_c : la température de la cellule.

L'efficacité thermique quotidienne du collecteur PV/T est donnée par :

$$\eta_{th} = \frac{\sum_{i=t1}^{t2} \dot{q}_u}{\sum_{i=t1}^{t2} G(t) b L} \tag{II.30}$$

Où : \dot{q}_u : la puissance utile, $G(t)$; L'intensité du rayonnement solaire, b : largeur du conduit, L : longueur du conduit.

L'efficacité globale est la somme du deux efficacité réalisées précédemment :

$$\eta_{PVT} = \eta_{el,eq} + \eta_{th}$$

II.31

Où : L'efficacité électrique doit être convertie en termes d'efficacité thermique équivalente comme :

$$\eta_{el,eq} = \frac{\eta_{el}}{C_f}$$

II.32

C_f ; Facteur de conversion vers la puissance thermique [34].

Le tableau II.2 énumère les paramètres requis qui ont été utilisés dans ces simulations.

Tableau II.2 : Valeurs des paramètres utilisés dans le modèle numérique [34,37].

<i>Paramètres</i>	<i>Valeur</i>
U_{Tt}	8.1028 W/m ² .K
hp1	0.8772
hp2	0.9841
G	945 W/m ²
U_l	8.641 W/m ² .K
U_b	0.665 W/m ² .K
\dot{m}_e	0.016 kg/s
$T_{e,entré}$	303 K
T_a	310 K
h_e	500 W/m ² .K
U_t	9.24 W/m ² .K
U_T	66 W/m ² .K
$(\alpha\tau)_{eff}$	0.66

II.3.1.2 Analyse thermodynamique :

Le principe de la conservation de masse, ainsi que la première loi de la thermodynamique, sont appliquées à chaque composant du système pour l'analyse thermodynamique. Et avant de décrire les équations dans cette section, les hypothèses suivantes sont prises en compte pour cette évaluation [27] :

- La chute de pression dans tous les éléments et les tuyaux de raccordement ont été négligés.
- Les énergies potentielles et cinétiques de tous les éléments, sont négligées.
- Le fluide de sortie du condensateur est saturé et le fluide de sortie de l'évaporateur est gazeux.
- Le processus d'étranglement dans le détendeur est isenthalpique ($h = cte$).

Compte tenu des hypothèses ci-dessus, les équations de conservation de la masse et de l'énergie peuvent être écrites comme suit [38]:

$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_o$	II.33
$\sum \dot{Q} - \sum \dot{W} = \sum \dot{m}_o h_o - \sum \dot{m}_i h_i$	II.34

Le tableau II.3 résume les équations utilisées pour la modélisation mathématique du système de chauffage/refroidissement.

Tableau II.3 : Équations d'énergie et de bilan massique des composantes du système proposé.

<i>Elements</i>	<i>Equation du bilan énergétique</i>	<i>Équation du bilan massique</i>
Compresseur	$\dot{W}_{CP,S} = \dot{m}_2 h_{2,S} - \dot{m}_1 h_1$ $\dot{W}_{CP} = \frac{\dot{W}_{CP,S}}{\eta_{el}}$	$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$
Condenseur	$\dot{Q}_{CD} = \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_3 h_3$	$\dot{m}_2 = \dot{m}_3$
Détendeur	$h_4 = h_3$	$\dot{m}_4 = \dot{m}_3$
Évaporateur	$\dot{Q}_{EV} = \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_4 h_4$	$\dot{m}_4 = \dot{m}_1$
Pompe	$\dot{W}_{pompe} = (\dot{m}_2, h_{2'} - \dot{m}_1, h_{1'}) / \eta_{pompe}$	$\dot{m}_{2'} = \dot{m}_{1'}$
Résistance électrique	$\dot{W}_{R,ele} = \dot{m}_5, h_{5'} - \dot{m}_4, h_{4'}$	$\dot{m}_{5'} = \dot{m}_{4'}$

La charge thermique dans l'évaporateur par unité de travail nécessaire au compresseur est définie comme le coefficient de refroidissement du système de compression de vapeur, qui peut être exprimé comme [27,38] :

$COP = \frac{\dot{Q}_{EV}}{\dot{W}_{CP}} = \frac{\dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_4 h_4}{\dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_1 h_1}$	II.35
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------

Où : h représente l'enthalpie spécifique du fluide de travail au point d'état correspondant (kJ/kg). En outre, les équations suivantes peuvent être utilisées pour calculer l'efficacité du refroidissement et du chauffage du système solaire [27] :

$\eta_{sol-refroi} = \frac{\dot{Q}_{EV}}{b.L.G(t)}$	II.36
$\eta_{sol-chauf} = \frac{\dot{Q}_{Chauf}}{b.L.G(t)}$	II.37

Le condenseur assure l'échange de chaleur entre l'eau du système solaire et le fluide frigorigère, nous permettant de calculer la puissance totale absorbée par l'eau \dot{Q}_{chauf} , et peut être calculé comme suit :

$\dot{Q}_{chauf} = \dot{m}_e C_e (T_{4'} - T_{2'})$	II.38
-----------------------------------------------------	-------

Les entrées et les données pour concevoir et simuler le système proposé sont présentés dans le tableau II.4. Dans cette étude, la modélisation numérique et les simulations ont été effectuées en utilisant Matlab R2012a software [39].

Tableau II.4 : Paramètres de conception pour le système par compression de vapeur [27].

<i>Paramètres</i>	<i>Valeur</i>
Le rendement isentropique du compresseur	0,9343 (à P ₂ =1000 kPa)
Le rendement isentropique de la pompe	0,9
La température du condenseur	34 °C
La température d'évaporateur	-20 °C
La température de l'eau d'entrée de PV/T	27 °C

On peut calculer l'erreur à partir de l'utilisation [34,37] et démontré par l'équation ci-dessous afin d'estimer les différences entre les valeurs obtenues par le modèle analytique et celles obtenues par les tests expérimentaux de l'expérience.

$e = \sqrt{\frac{\sum(e_i)^2}{n}}$	II.39
------------------------------------	-------

Où n représente le nombre d'observation (expérimental / théorique).

$e_i = \left[\frac{X_{th(i)} - X_{exp(i)}}{X_{th(i)}} \right] \times 100$	II.40
----------------------------------------------------------------------------	-------

Où e_i , X_{th} et X_{exp} représente la gamme de pourcentage de chaque valeur, observations théoriques et expérimentales respectivement.

II.4 Conclusion

Dans cette partie le principal objectif est la modélisation du système combiné global qui permet d'étudier tous les paramètres (température, rendement, puissance etc.). On a montré toutes les équations du bilan thermique de chaque système (capteur hybride photovoltaïque thermique PV/T à eau et de réfrigération). Les résultats de la simulation numérique du système globale présentée sous forme de graphe dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III

Résultats et Discussions

III.1 Introduction

Pour évaluer l'impact des différents facteurs opérationnels sur les performances des systèmes utilisés dans cette étude, on a associé un système de chauffage qui est constitué d'un capteur PV/T à un système de compression de vapeur servant à produire du froid. Par la suite, un programme par le logiciel Matlab 2012a [39] a été développé. Ce programme s'est basé sur les équations du bilan d'énergie et de masse entre les différents nœuds du système proposé pour étude.

On a pris Jijel comme le lieu de calcul, cette ville est caractérisée par :

La latitude : $36,81^\circ$; La longitude : $5,74^\circ$; La vitesse du vent : 1m/s

Le jour de calcul était le 25/05/2017.

III.2 Les résultats de la simulation numérique

III.2.1 Validation de nos résultats avec celles issues de l'article de Arvind Tiwari

La figure III.1 montre la comparaison entre nos résultats issus de l'étude analytique de la température de la cellule du système PV/T avec celle issue de l'expérience effectuée par TIWARI durant le jour typique de calcul [34]. Les conditions climatiques telles que : l'irradiation solaire, la vitesse du vent et la température ont été choisies identiques aux données de cette étude proposées pour validation de notre travail. La figure III.1 montre la variation de la température de la cellule en fonction du temps. Les résultats obtenus sont similaires avec une erreur de 6,98% qui est due probablement aux incertitudes lors de l'impôt des hypothèses simplificatrices.

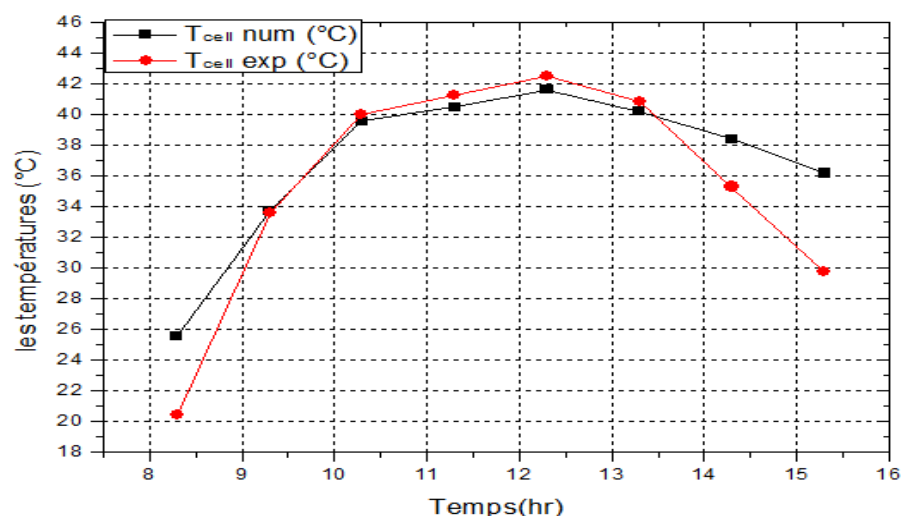


Figure III.1 : Validation de nos résultats de la température de la cellule en fonction du temps avec celles issue de Arvind Tiwari

III.2.2 Les variations de la performance du système pendant la journée à Jijel

III.2.2.1 La variation temporelle de l'intensité du rayonnement et de la température ambiante

La figure III.2 représente la variation temporelle de l'intensité du rayonnement et de la température ambiante au cours de la journée du 25 mai 2017 à Jijel, ces données expérimentales ont été effectuées par les étudiants Hansal et Chetouane [29] devant le hall de l'université de Jijel sur un panneau PV/T. On observe que la variation de l'intensité du rayonnement augmente de 8:30h à 12:30h puis diminue de 13:30h. Le rayonnement prend une valeur maximale de 863,5 (W/m^2) à 12:30h. On remarque aussi que l'évolution de la température ambiante suit celle du rayonnement où elle augmente de 8:30 h à 12:30h puis diminue de 13:30 h. Cette température prend une valeur maximale de 28.5 °C à 12:30h.

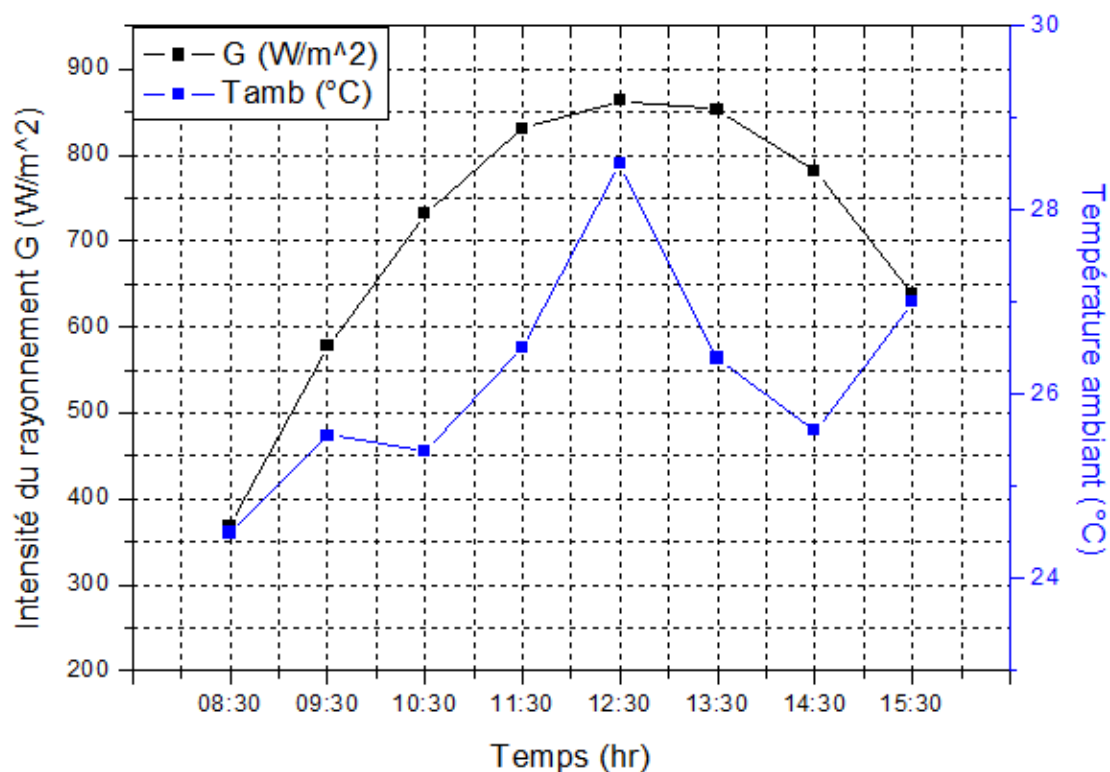


Figure III.2 : Variation temporelle du rayonnement et de la température ambiante à Jijel pour la journée du 25 mai 2017

III.2.2.2 La variation temporelle de la température de sortie de l'eau et la température de la cellule

La figure III.3 exprime la variation temporelle de la température de sortie du capteur PVT et la température de la cellule au cours de la journée du 25 mai 2017 à Jijel. On remarque qu'il y a une augmentation avec le temps pour la température de sortie de l'eau. Cette température atteint la valeur de 37.6 °C à 15:30h. La température de la cellule suit la température de sortie de l'eau jusqu'à 14:30 où elle prend sa valeur maximale 41.7 °C après elle diminue jusqu'à

40.9 °C à 15:30h. L'évolution de ces températures suit celles de la température ambiante et même le rayonnement.

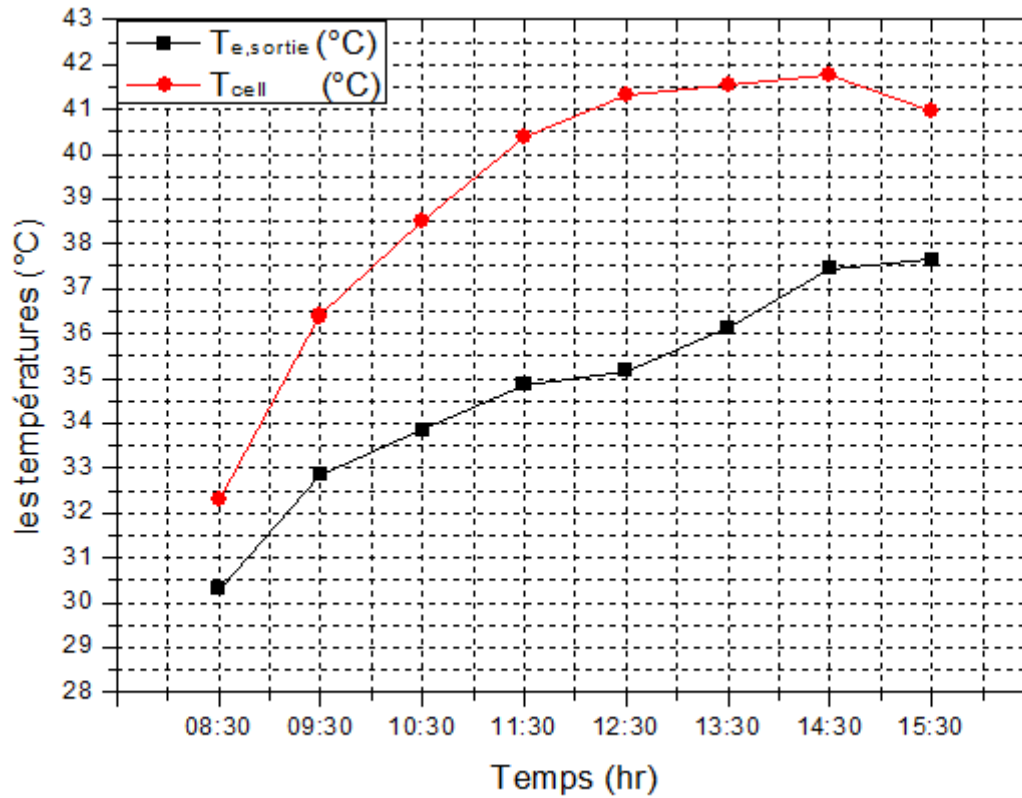


Figure III.3 : Variation temporelle de la température sortie de l'eau et de la température de la cellule à Jijel

III.2.2.3 La variation temporelle du rendement thermique, électrique et global

La courbe dans la figure III.4 représente la variation des rendements thermique, électrique et global. On remarque que le rendement électrique diminue avec la variation du temps. Par contre, le rendement thermique est augmenté jusqu'à atteindre une valeur maximale de 48.84 % à 12:30h car le rayonnement atteint aussi sa valeur maximale à cette heure puis diminue. D'une part le rendement global augmente de même façon du rendement thermique est prend sa valeur maximale 78.12% aussi à 12:30h.

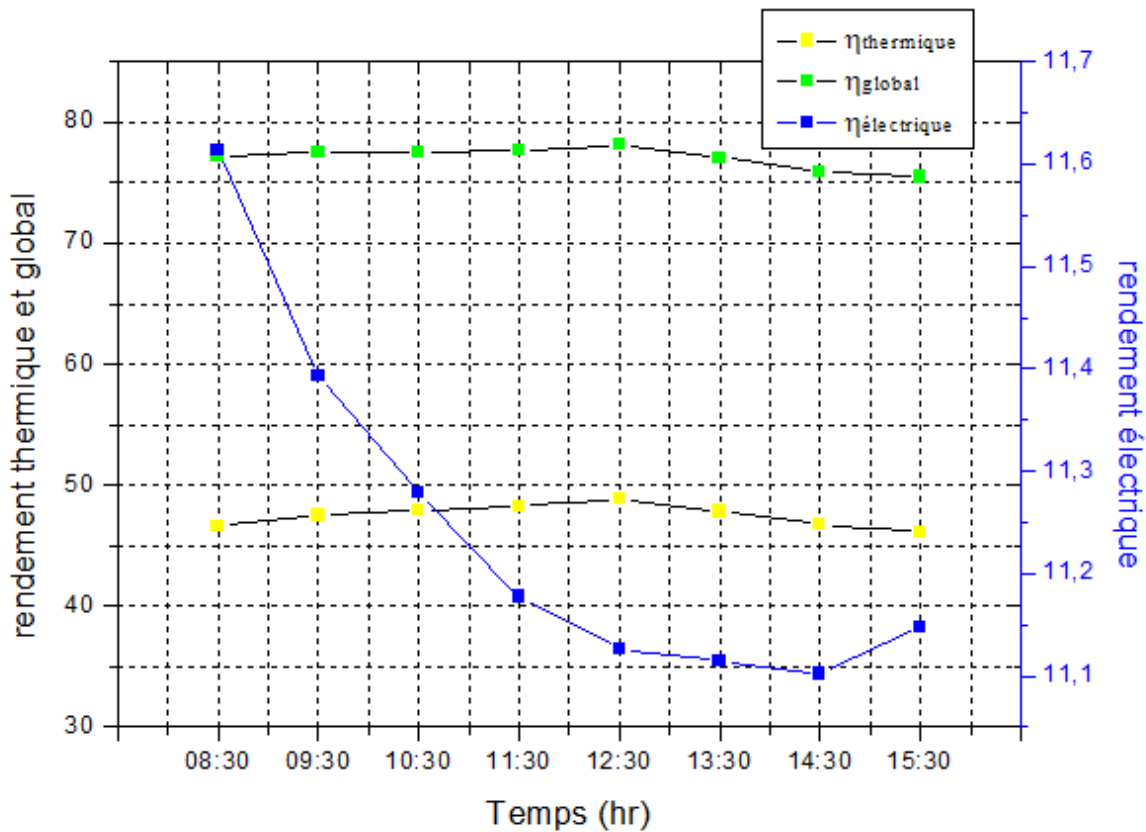


Figure III.4 : Variation des rendements électrique, thermique et global en fonction du temps du jour 25 mai 2017

III.2.2.4 La variation temporelle de la puissance utile et la puissance électrique

La figure III.5 représente la variation temporelle de la puissance utile et la puissance électrique à Jijel. On observe que la puissance utile est faible à 8:30h, ensuite elle augmente en fonction du temps et prend une valeur maximale de 421.75 kW à 12:30h. On remarque aussi que la puissance électrique suit la puissance utile où elle a atteint sa valeur maximale 77.82 kW à 12:30h.

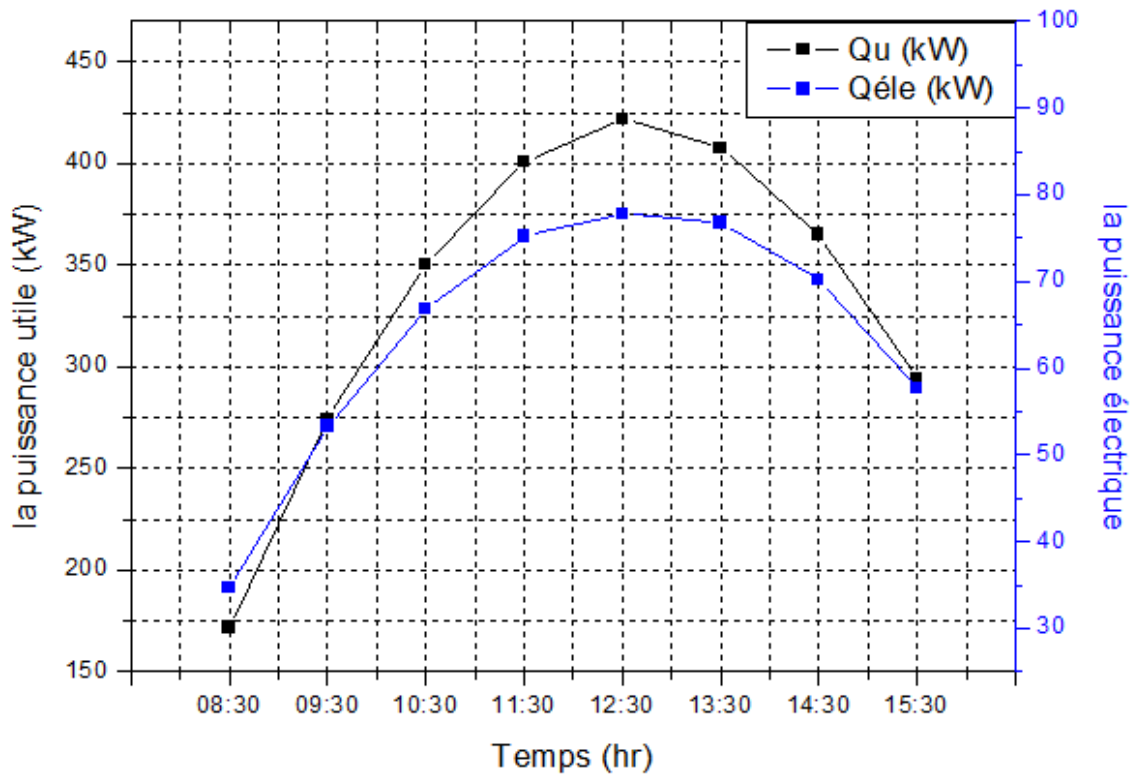


Figure III.4 : Variation temporelle de la puissance utile et de la puissance électrique à Jijel pour la journée du 25 mai 2017

III.2.2.5 La variation temporelle de la température sortie de l'eau dans des différents débits

La figure III.6 représente la variation de la température de l'eau à la sortie du capteur PV/T pour les différents débits. Dans ce graphe on remarque que quand le débit d'eau augmente, la température de l'eau à la sortie diminue. Bahaidarah [28] a trouvé aussi que l'augmentation du débit d'eau conduit à la diminution de la température de l'eau à la sortie du capteur.

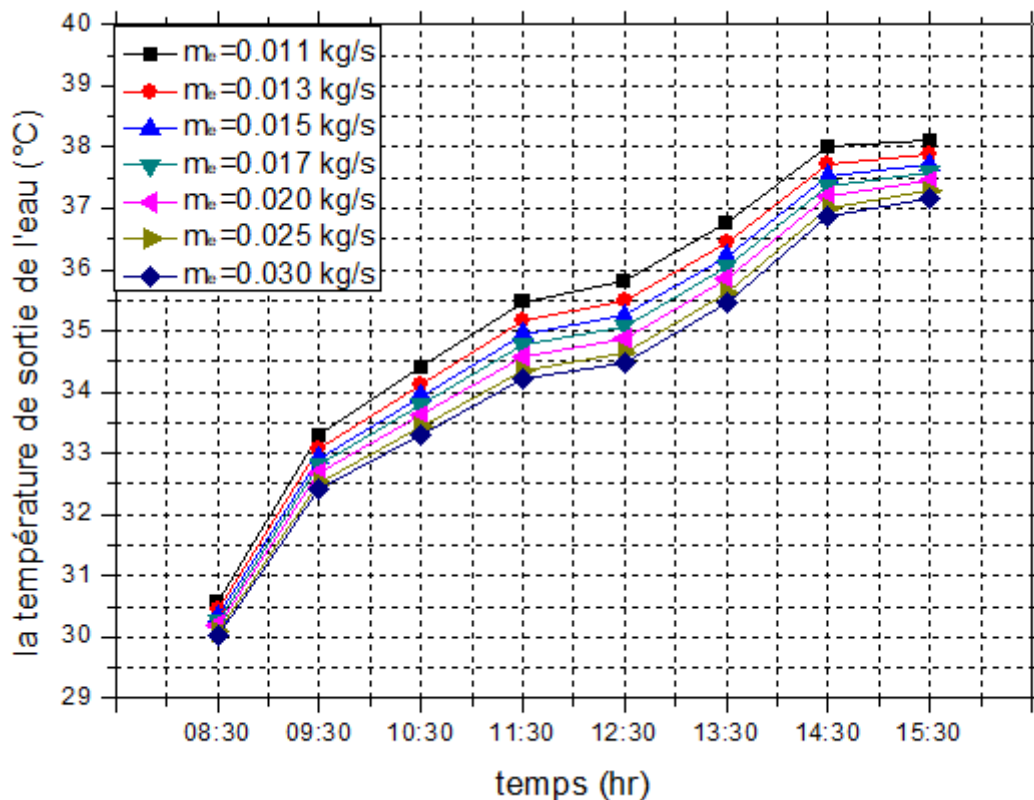


Figure III.6 : Variation temporelle de la température de sortie de l'eau dans différents débits

III.3 Les performances du système au point de conception

Dans cette partie, on a voulu voir l'influence du changement des fréons sur les performances de notre système. Les fréons choisis étaient : R134a, R143a et R245fa avec un débit global de 0.6872 kg/s, 0.5934 kg/s et 1,3649 kg/s respectivement. Tandis que, le système de chauffage travaille avec un débit d'eau constant. Le tableau III.1, montre les propriétés thermodynamiques globales du système des trois réfrigérants : R134a, R143a et R245fa, au point de conception $G = 945 \text{ W/m}^2$, $P_{\text{evap}} = 90 \text{ kW}$, $\dot{m} = 5 \text{ l/s}$, $T_{\text{eau, sortie}} = 40^\circ\text{C}$. Dans ce tableau nous avons mis les valeurs d'enthalpies, pression et température pour chaque point du système. On peut remarquer que le débit des réfrigérants R134a et R143a représente une valeur plus basse que celui du fréon R245fa. Comme décrit au tableau, on remarque que le fréon R143a donne les meilleures performances. Le tableau III.2 illustre que la puissance électrique requise pour le fonctionnement du compresseur et la pompe du réfrigérant R143a est considérablement basse par rapport aux autres, aussi il est remarquable que ce même fréon peut affecter les performances tels que : le COP et les rendements solaire de chauffage et de refroidissement.

Le tableau III.2, donne les performances du capteur solaire HPV/T. On a exposé les différents rendements du système PV/T comme le rendement solaire de chauffage et solaire de refroidissements, rendement thermique, électrique et global pour les trois différents fréons.

D’après ce tableau, la puissance utile, la température de l’eau à la sortie du capteur solaire, les trois rendements électriques, thermique et global ne changent pas avec le changement du fréon. Par contre, la puissance électrique, le rendement solaire de refroidissement et celui du chauffage, le COP et le nombre de panneau et surface totale du PV/T changent avec le fréon.

Tableau III.1 : Propriétés thermodynamiques du système

Point	R134a				R143a				R245fa			
	\dot{m} (kg/s)	T(°C)	P(kPa)	h(kJ/kg)	\dot{m} (kg/s)	T(°C)	P(kPa)	h(kJ/kg)	\dot{m} (kg/s)	T(°C)	P(kPa)	h(kJ/kg)
1	0.6872	-20	131.87	386.46	0.5934	-20	313.62	376.82	1.3649	-20	19.20	389.83
2	0.6872	50.90	1000	431.7	0.5934	24.86	1000	405.56	1.3649	89.89	1000	461.40
3	0.6872	39.53	1000	255.5	0.5934	16.48	1000	225.15	1.3649	89.89	1000	323.89
4	0.6872	-20	131.87	255.5	0.5934	-20	313.62	225.15	1.3649	-20	19.20	323.89
1'	5	27	100	112.65	5	27	100	112.65	5	27	100	112.65
2'	5	26.80	220	112.65	5	26.80	220	112.65	5	26.80	220	112.65
3'	5	34.86	220	145.64	5	34.86	220	145.64	5	34.86	220	145.64
4'	5	66.92	220	279.71	5	59.00	220	246.56	5	86.40	220	361.42
5'	5	40	220	167.09	5	40	220	167.09	5	40	220	167.09

Tableau III.2 : Les performances thermodynamique du système

R134a		R143a		R245fa	
Performances	Résultats	Performances	Résultats	Performances	Résultats
Pele (kW)	31.75	Pele (kW)	17.72	Pele (kW)	98.35
T _{3'} (°C)	34.86	T _{3'} (°C)	34.86	T _{3'} (°C)	34.86
η_{Sol_ref} (%)	45.22	η_{Sol_ref} (%)	81.03	η_{Sol_ref} (%)	14.60
η_{Sol_chauff} (%)	41.97	η_{Sol_chauff} (%)	60.28	η_{Sol_chauff} (%)	20.18
η_{ele} (%)	11.03	η_{ele} (%)	11.03	η_{ele} (%)	11.03
$\eta_{thermique}$ (%)	49.78	$\eta_{thermique}$ (%)	49.78	$\eta_{thermique}$ (%)	49.78
η_{global} (%)	78.81	η_{global} (%)	78.81	η_{global} (%)	78.81
COP (-)	2.8952	COP (-)	5.2769	COP (-)	0.9213
\dot{q}_u (kW)	470.44	\dot{q}_u (kW)	470.44	\dot{q}_u (kW)	470.44
Nbr panneau (-)	376.08	Nbr panneau (-)	209.92	Nbr panneau (-)	1164.84
Stot (m ²)	188.04	Stot (m ²)	104.96	Stot (m ²)	582.42

III.3 L’étude de l’effet de paramètre sur le fonctionnement du système

III.3.1 L’effet de changement du rayonnement

III.3.1.1 L’effet de changement du rayonnement sur le rendement solaire de chauffage et de refroidissement

Les figures III.7 exprime l’effet de la variation du rayonnement sur le coefficient de performance COP pour les trois réfrigérants (R134a, R143a et R245fa). On remarque que le

COP reste stable au cours de la variation du rayonnement, si bien que le fréon R143a donne le meilleur COP en le comparant avec les deux autres. On peut aussi noter que la puissance d'évaporateur et la puissance de compression ne varient pas avec le rayonnement. Par contre le rendement solaire de chauffage et celui de refroidissement augmentent avec la variation du rayonnement, donc il y a une proportionnalité entre l'évaluation du rayonnement et le rendement solaire de chauffage et de refroidissement.

La figure III.8 présente l'effet de la variation du rayonnement sur le rendement solaire de chauffage et le rendement solaire de refroidissement des trois réfrigérants (R134a, R143a et R245fa). D'après les formules (36)(37), il est clair que ces rendements suivent l'évolution du rayonnement. Dans ce graphe, le rayonnement varie de 300 W/m^2 à 1000 W/m^2 le rendement solaire du chauffage varie respectivement de 4.45% à 46,78% pour R134a, 2.14% à 22,49% pour R245fa et de 6,40% à 67,19% pour R143a. Tandis que le rendement solaire de refroidissement varie aussi respectivement de 4,80% à 50,41% pour R134a, 1,55% à 16,27% pour R245fa et de 8,60% à 90,32% pour R143a.

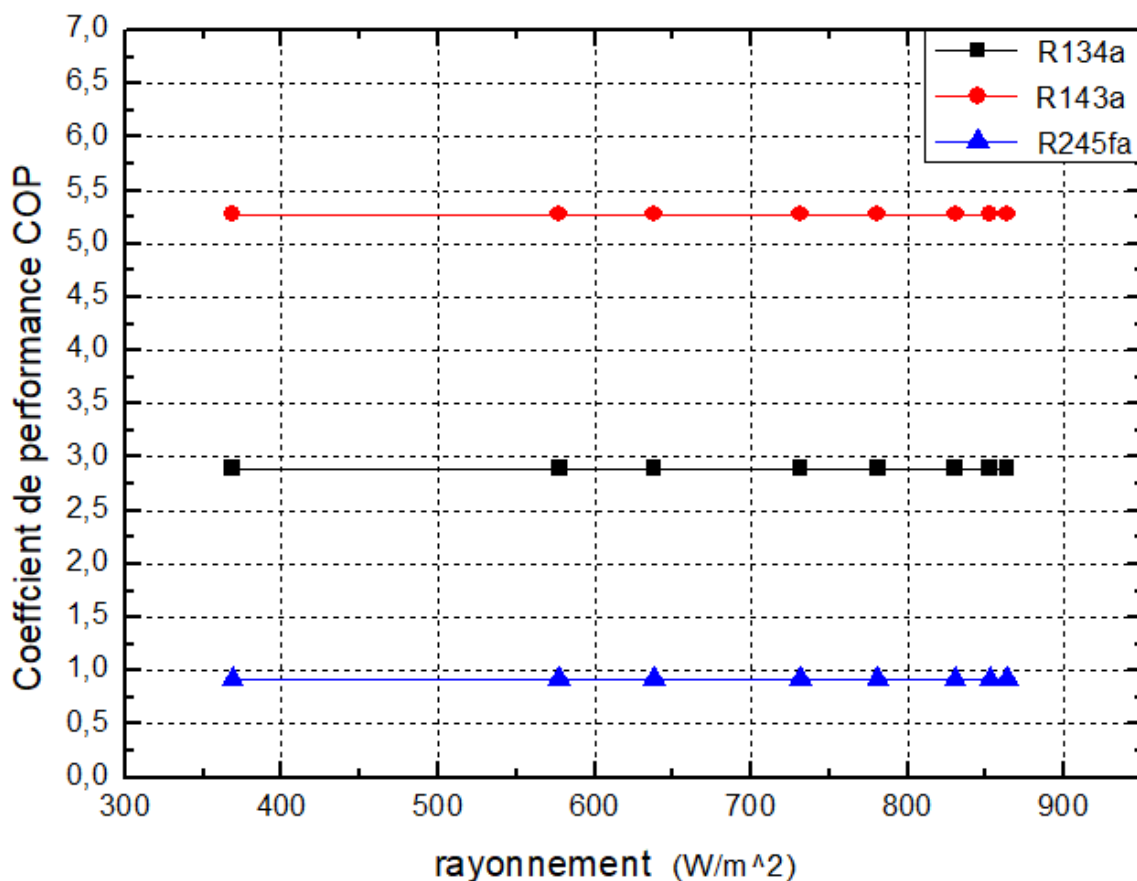


Figure III.7 : Variation du COP en fonction du rayonnement G pour les trois réfrigérants.

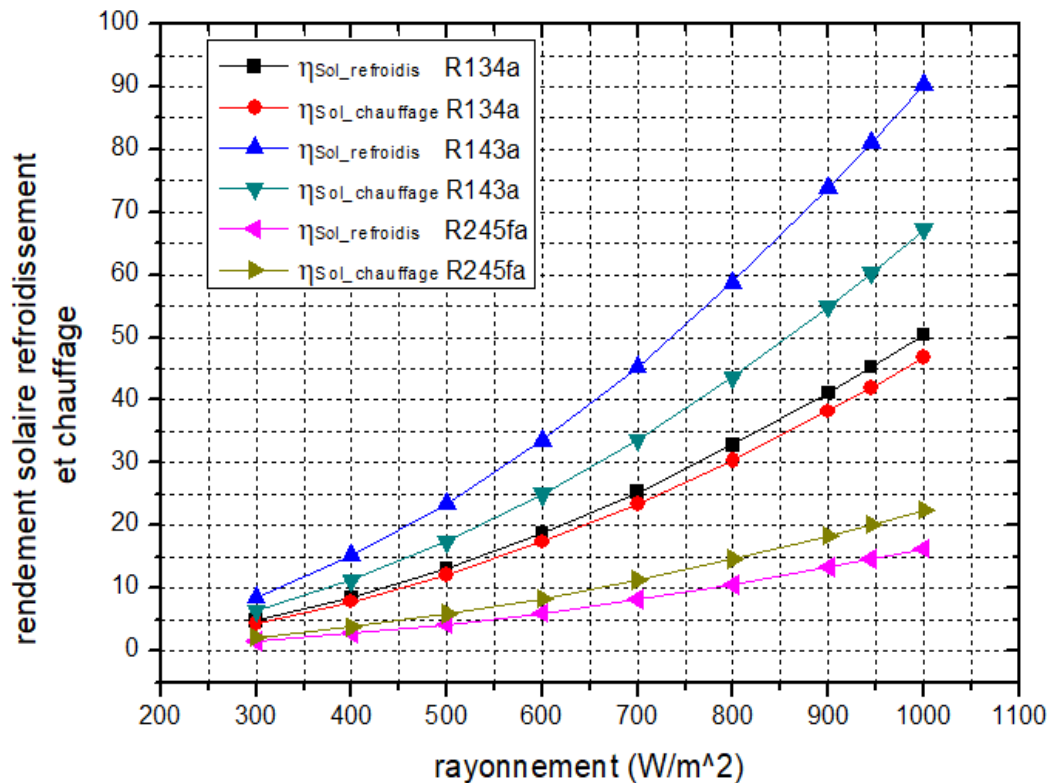


Figure III.8 : Variation du rendement solaire chauffage et rendement solaire refroidissement en fonction du rayonnement G du (R134a, R143a et R245fa)

III.3.1.2 L'effet de changement de rayonnement sur le nombre de panneau

La figure III.9 représente l'effet de la variation de rayonnement sur le nombre des panneaux pour chacun des trois réfrigérants R134a, R245fa et R143a. On remarque que le nombre de panneaux diminuent avec l'augmentation du rayonnement pour les trois réfrigérants R134a, R245fa et R143a parce que la chaleur spécifique de l'eau est élevée et l'augmentation du rayonnement augmente la température de l'eau sortant du capteur PV/T ce qui élimine le besoin d'une grande surface d'échange.

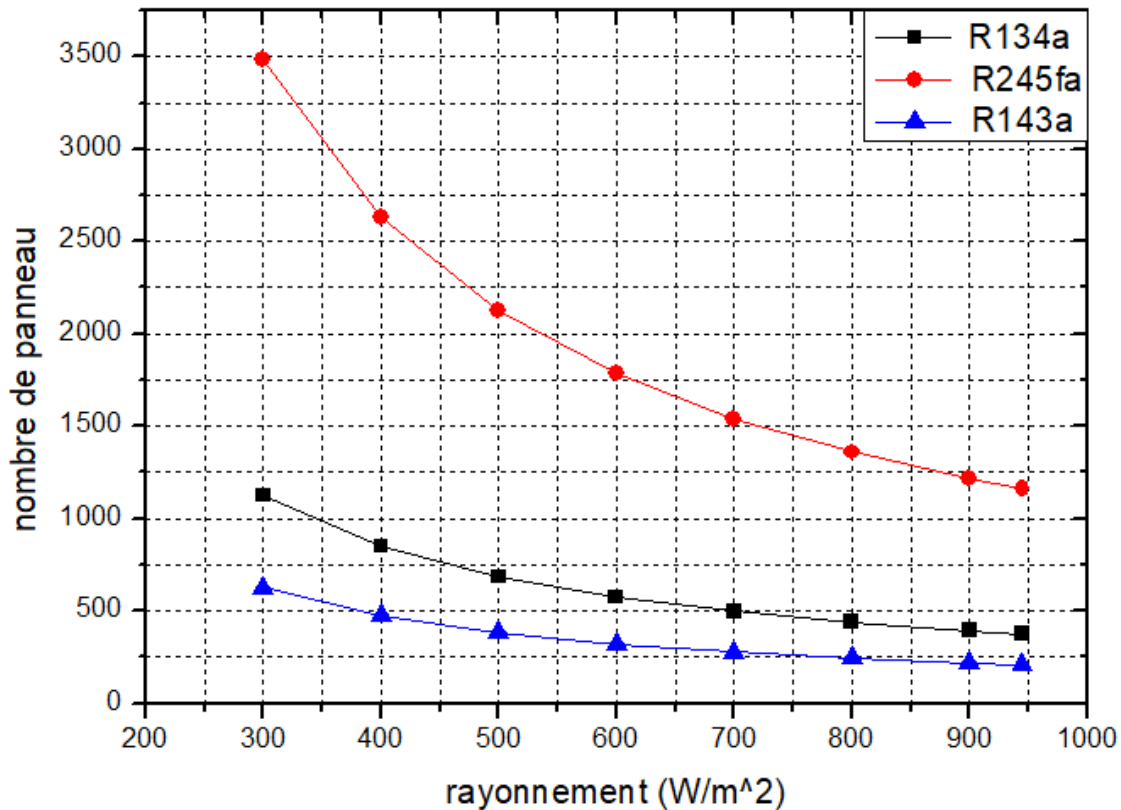


Figure III.9 : Variation du nombre de panneaux en fonction du rayonnement G du (R134a, R143a et R245fa)

III.3.1.3 L'effet de changement de la consommation de chauffage et refroidissement

III.3.1.3.a L'effet de consommation de refroidissement sur les débits des réfrigérants R134a, R245fa et R143a

La figure III.10 présente la variation de la consommation de refroidissement sur les débits des fluides frigorigènes R134a, R245fa et R143a. On remarque que pour une consommation variant de 10 kW à 100 kW, le fréon R245fa demande plus de débit allant de 0.15 à 1.51kg/s, par contre le fréon R143a demande moins de débit, allant de 0.06 à 0.65kg /s. L'augmentation est linéaire entre la consommation de refroidissement et les débits des fluides frigorigène (R134a, R245fa et R143a), cela peut être expliqué par si la puissance d'évaporation augmente, la demande en énergie augmente aussi, ce qui nous oblige à l'augmentation du débit du réfrigérant.

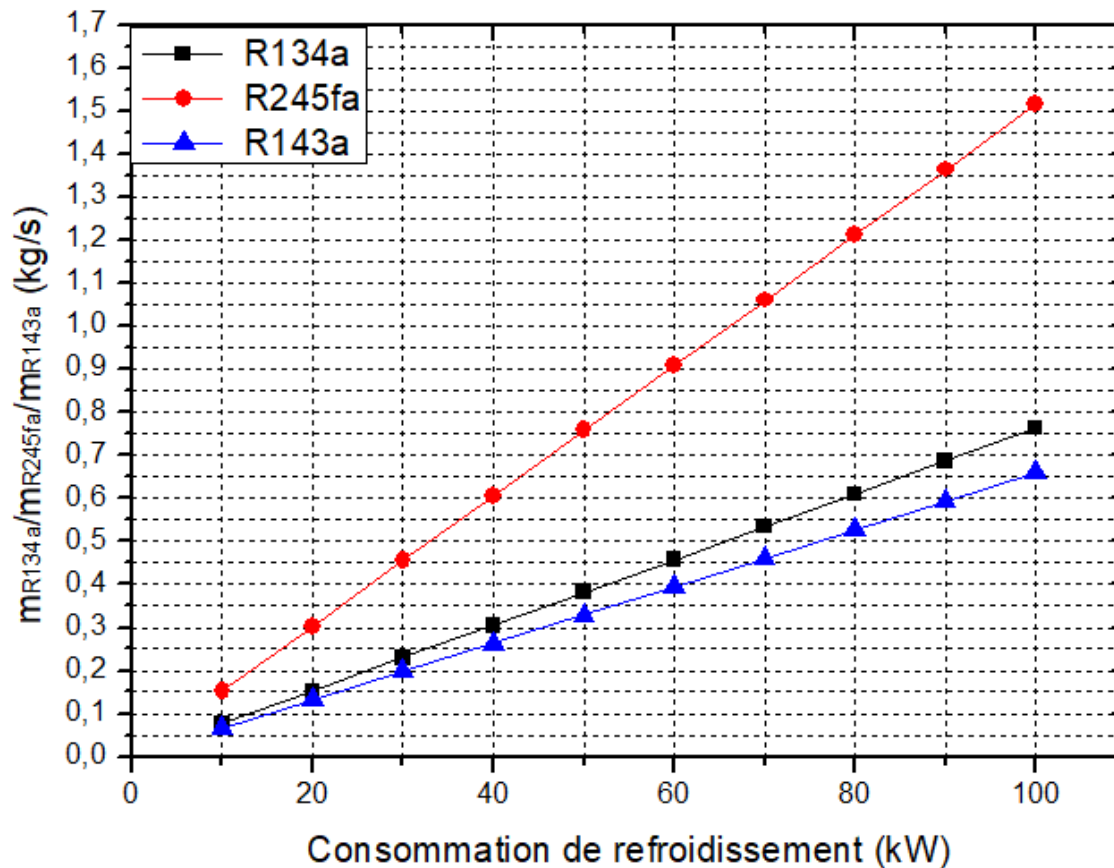


Figure III.10 : Variation du débit de fluide frigorigène en fonction de la consommation de refroidissement

III.3.1.3.b L'effet de consommation de refroidissement sur le rendement solaire de refroidissement

La figure III.11 exprime l'influence de la consommation de refroidissement sur le rendement solaire de refroidissement pour les trois réfrigérants R134a, R245fa et R143a. On observe que le rendement solaire de refroidissement augmente en fonction de la consommation de refroidissement pour les trois réfrigérants R134a, R245fa et R143a entre l'intervalle de puissance allant de 10 à 40 kW mais sur la partie qui reste l'augmentation n'est importante. On remarque aussi que le fréon R143a donne les meilleurs rendements de refroidissement, contrairement au fréon R245fa qui est présenté par les faibles valeurs de rendement.

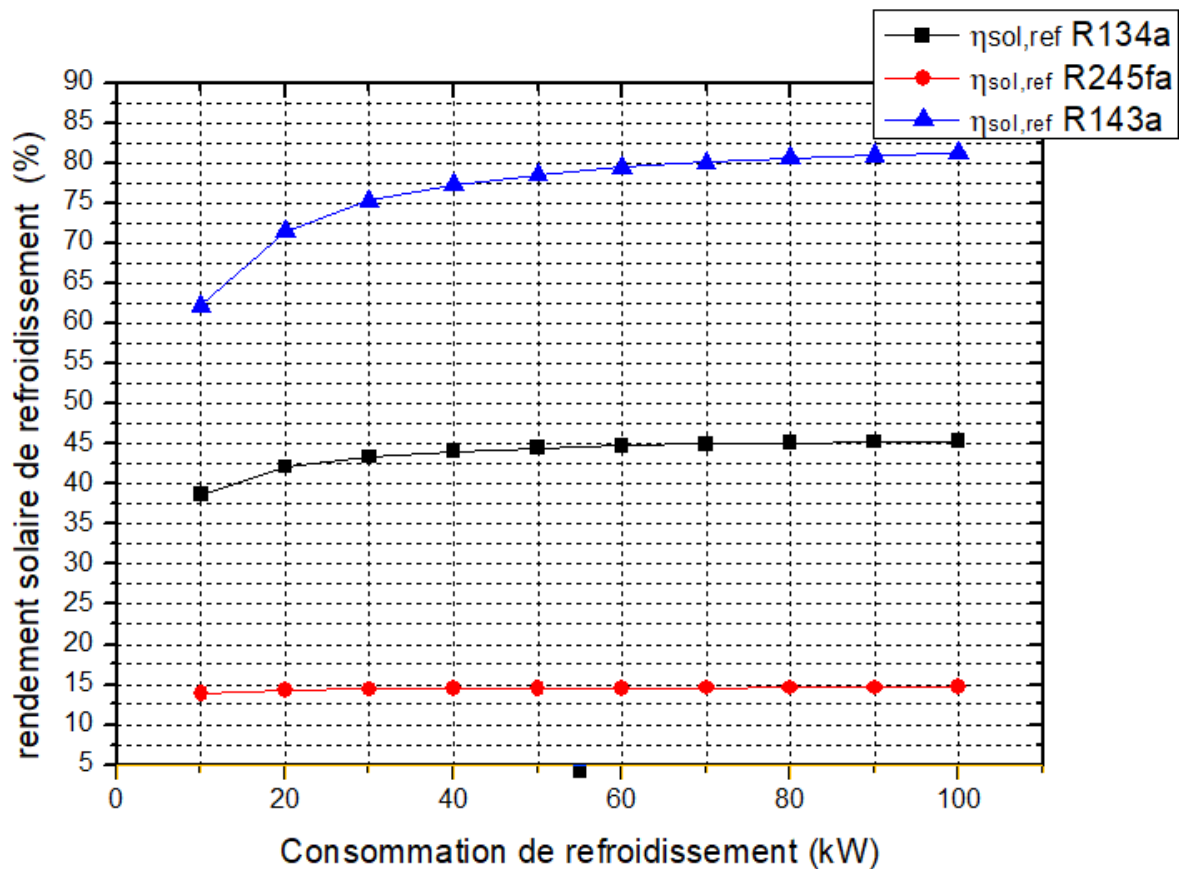
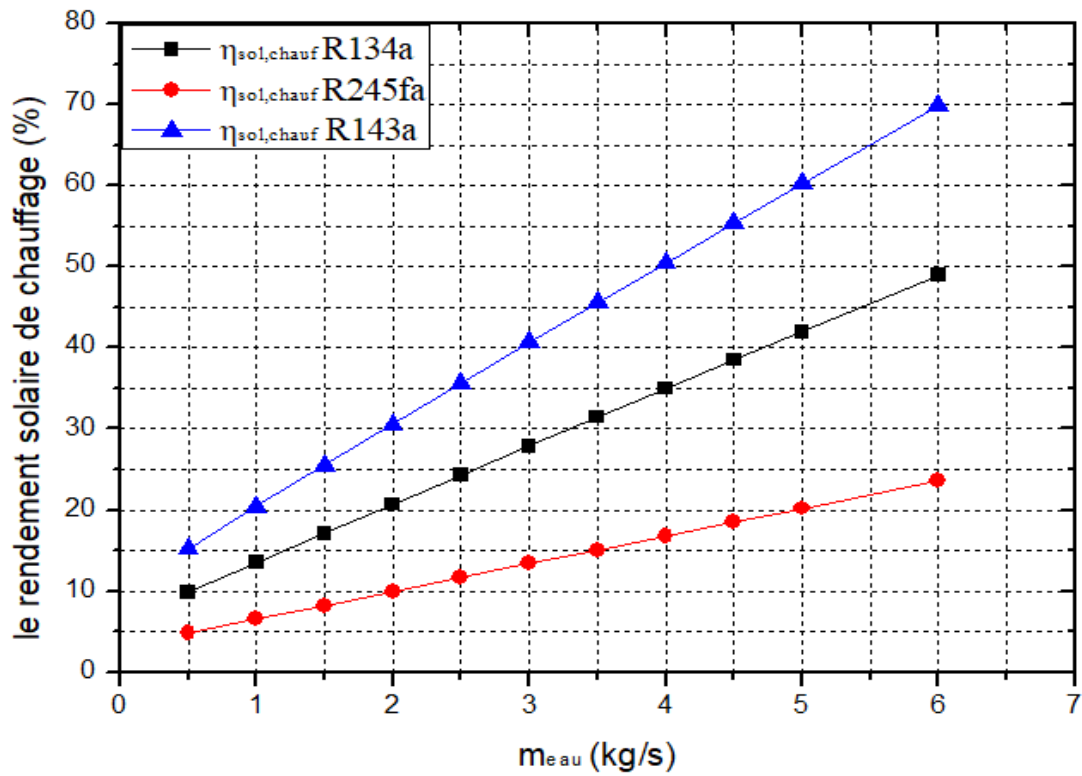


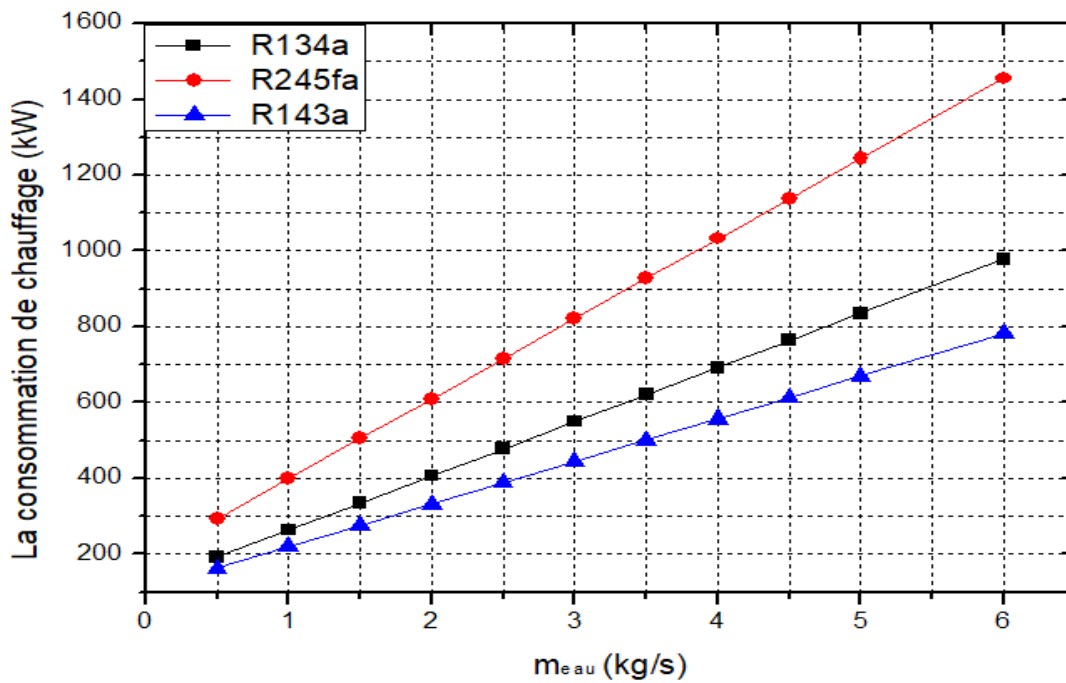
Figure III.11 : Variation du rendement solaire de refroidissement en fonction de la consommation de refroidissement

III.3.1.3.c L'effet de la variation du débit sur la consommation de chauffage ainsi que le rendement de chauffage

La figure III.12(a,b) montre l'effet de la variation du débit d'eau sur la consommation de chauffage ainsi que le rendement solaire de chauffage pour les systèmes utilisant les trois réfrigérants R134a, R245fa et R143a. En augmentant le débit de l'eau entrant dans le condenseur de 0 à 6 kg/s, la puissance de chauffage augmente de 192,51 à 978,14 kW, de 293,3 à 1455,1 kW et de 163,31 à 782,05 kW respectivement pour R134a, R245fa et R143a. Si le débit de l'eau entrant dans le condenseur augmente de 0 à 6 kg/s, le rendement de chauffage augmente aussi de 9,86 à 48,94 %, de 4,78 à 23,57 % et de 15,21 à 69,88 % respectivement pour R134a, R245fa et R143a. On peut l'expliquer par le fait que la puissance de chauffage augmente à cause de l'augmentation de la différence de température à l'entrée et sortie du condenseur, ce qui cause la surchauffe de l'eau à la sortie, ce qui implique le sous refroidissement du fréon.



(a)



(b)

Figure III.12 : L'influence de la variation du débit d'eau : (a) sur la consommation du chauffage ; (b) sur le rendement du chauffage pour R134a, R245fa et R143a.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, un programme en langage Matlab a été élaboré sur les systèmes proposés pour étude. D'abord on a validé nos résultats avec celles issus de la littérature, ensuite on a présenté la variation temporelle du rayonnement, les températures à savoir : ambiante, de la cellule et de l'eau à la sortie du capteur, ainsi que les puissances : utile et électrique obtenue par le capteur, puis les rendements électrique, thermique et global. Par la suite, on a présenté les propriétés thermodynamiques du système global et les performances du capteur au point de conception $G=945 \text{ W/m}^2$. De plus, on a exprimé l'effet de certains paramètres sur notre système tels que le rayonnement solaire, la puissance de refroidissement et le débit d'eau.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Le but de notre travail est de voir l'impact du couplage entre le système hybride photovoltaïque/thermique à eau à un système de compression de vapeur utilisant trois fluides frigorigères différents. La modélisation a été faite en développant les équations d'énergie et de masse entre les différents nœuds des deux systèmes, ensuite un programme par simulation numérique a été développé en langage Matlab sur un capteur hybride PV/T et même sur le système de compression de vapeur. La comparaison de nos résultats avec celles issus des expériences de Tiwari et M.S. Sodha [32], a été faite sur le système PV/T, on a trouvé une bonne concordance. Pour le premier système (PV/T), les résultats de la simulation montrent que :

- L'évolution de la température de l'eau à la sortie du capteur et celle de la cellule suivent celles de la température ambiante et même le rayonnement.
- Le rendement électrique varie inversement avec le rayonnement global. Par contre, le rendement thermique et global varie proportionnellement avec le rayonnement.
- La puissance électrique et la puissance utile suivent l'évolution de l'irradiation solaire.
- L'accroissement du débit d'eau conduit à diminution de la température de l'eau à la sortie du collecteur.

Pour le deuxième système à compression de vapeur en utilisant trois fluides de réfrigération différents : R134a, R143a et le R245fa. On peut conclure d'après cette partie que l'effet de l'intégration R143a donne les meilleurs efficacités, car :

- La puissance utile, la température de l'eau à la sortie du capteur solaire, les trois rendements électriques, thermique et global ne changent pas avec le changement du fréon.
- Le COP relatif au système utilisant le R143a est le meilleur.
- Le R143a donne les meilleurs rendements solaires de refroidissement et de chauffage en le comparant aux deux autres fréons.
- L'utilisation du R143a permet de réduire le nombre panneau demandé pour l'installation.
- L'augmentation du débit d'eau, conduit à l'augmentation de la consommation de chauffage ainsi que le rendement solaire de chauffage.
- Le système utilisant le R143a permet d'abaisser la consommation du froid ainsi que celle du chauffage.

On peut aussi conclure que l'application de ces systèmes dans le bâtiment donne une grande adaptabilité voulu. Par la suite, ce travail devra être achevé par l'ajout d'une étude soulevant un bilan d'exergie ; veillant à montrer quel fréon porte le meilleur rendement exergetique, aussi intégrer le calcul par des fluides frigorigères plus récents.

Références

- [1] <https://www.climamaison.com/lexique/energie-solaire.htm>, consulté 26/03/2022.
- [2] https://www.xpair.com/lexique/definition/capteur_solaire.htm, consulté 26/03/2022.
- [3] <https://www.2es.fr/fr/nos-competences/le-solaire-thermique/>, consulté 26/03/2022.
- [4] <https://www.climamaison.com/lexique/capteur-solaire-photovoltaïque.htm>, consulté 26/03/2022.
- [5] <https://energieplus-lesite.be/techniques/photovoltaïque3/modules-photovoltaïques/>, consulté 28/03/2022.
- [6] Ghellab Amel, « Modélisation Et Optimisation Des Capteur Solaires Hybrides », thèse de doctorat, option génie climatique, université de mentouri, constantine 1, 2018.
- [7] <https://www.jade-technologie.com/>, consulté 26/03/2022.
- [8] P. Dupeyrat, H. Pabiou, G. Kwiatkowski, C. Ménézo. Optimisation de la conversion solaire grâce au concept de capteur hybride photovoltaïque-thermique. Conférence SFT 2011.
- [9] <https://www.cooltec.ch/hybride-pvt-faq.html>, consulté 30/03/2022.
- [10] Ramdani, H, « Etude d'un Capteur Solaire Photovoltaïque/Thermique à Base de Nanofluide », Mémoire master, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2016.
- [11] <https://www.insunwetrust.solar/blog/le-solaire-et-vous/panneau-solaire-hybride/>, consulté 30/03/2022.
- [12] <https://www.thermal.engineering.org/>, par Nick Conner, 2020, consulté 02/04/2022.
- [13] <http://prestatairenergie.fr/climatisation-et-pompe-a-chaaleur/>, consulté 02/04/2022.
- [14] P.J. RAPIN, P. Jacquard, « Aide-mémoire – Formulaire du froid », 12ème édition, édition Dunod, 525p, 2003.
- [15] <https://www.guide-climatisation.com/fonctionnement-climatisation/>, consulté 03/04/2022
- [16] A. Bhatia, « HeatPumps for Heating and Cooling ».
- [17] Yunus A. Çengel and Michael A. Boles , Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th edition.
- [18] <https://diren.mines-paristech.fr/Sites/Thopt/fr/co/refrigerateur.html>, consulté 04/04/2022.
- [19] <https://www.abcclim.net/le-circuit-frigorifique.html>, consulté 06/04/2022.
- [20] <https://bertin.fr/activites/ergonomie-et-facteur-humain/technologie-des-machines-absorption>, consulté 07/04/2022.
- [21] https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Conservation-Graines-Semences-Vegetaux-Legumes-Refrigeration/rub28_doc25_1-climatisation-Solaire, consulté 07/04/2022.

- [22] <https://energieplus-lesite.be/techniques/climatisation8/production-de-froid/machine-frigorifique-a-ab-adsorption/> consulté 07/04/2022.
- [23] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Chauffe-eau-solaire.html>, consulté 08/04/2022.
- [24] <http://adream-web.com/solairetv/thermique.html>, consulté 08/04/2022.
- [25] <https://news.dualsun.com/technologie-solaire/guide-chauffage-solaire-maison/>, consulté 08/04/2022.
- [26] <https://www.sunberry.fr/les-panneaux-solaires-thermique/le-chauffage-solaire/principe-du-chauffage-solaire-thermique/>, consulté 08/04/2022.
- [27] Ahmad Zarei, Mohammad Liravi, Marzie Babaie Rabiiec, Maryam Ghodrat, «A Novel, eco-friendly combined solar cooling and heating system, powered by hybrid Photovoltaic thermal (PVT) collector for domestic application », 2020.
- [28] H. Bahaidarah, Abdul Subhan, P. Gandhidasan, S. Rehman « Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions »,2013
- [29] Hansal, Chetouane. « Etude et simulation d'un système hybride photovoltaïque thermique»,2019.
- [30] Rafał Figaj et Maciej Zołądek, « Experimental and numerical analysis of hybrid solar heating and cooling system for a residential user », 2021
- [31] Feng Shan, Fang Tang, Lei Cao, Guiyin Fang, « Dynamic characteristics modeling of a hybrid photovoltaic–thermal solar collector with active cooling in buildings», 2014.
- [32] A. Khelifa, K.Touafek, H. Ben Moussa, I.Tabet, « Modeling and detailed study of photovoltaic thermal (PV/T) solar collector », Solar Energy, Vol.135, pp.169-176, 2016.
- [33] Sarhaddi F, Farahat S, Ajam H, Behzadmehr A, Adeli MM, « An improved thermal and electrical model for a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector» Appl Energy, 87:2328–39, 2010.
- [34] Tiwari A, Sodha M, «Performance evaluation of solar PV/T system: an experimental validation», Sol Energy;80:751–9, 2006.
- [35] Zhao H, Yuan T, Gao J, Wang X, Yan J. «Conventional and advanced exergy analysis of parallel and series compression-ejection hybrid refrigeration system for a household refrigerator with R290», Energy, 166:845–61, 2019.
- [36] Sharples S, Charlesworth P.« Full-scale measurements of wind-induced convective heat transfer from a roof-mounted flat plate solar collector», Sol Energy 62:69–77,1987
- [37] A.S. Joshi, A. Tiwari, G.N. Tiwari, I .Dincer, Reddy B.V, Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal (PV/T) (glass-to-glass) system, International Journal of Thermal Sciences, 8, 154-164, (2009).

[38] Soteris A. Kalogirou , « Solar Energy Engineering. Processes and Systems “ Second edition Elsevier, 2014 .

[39] <https://www.mathworks.com>, consulté 26/05/2022.