



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques Filière :
Génie Mécanique Spécialité :
Energétique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
Ilyes Rezgui

Le : [Click here to enter a date.](#)

Conception et réalisation d'un capteur solaire à eau, application au stockage de la chaleur

Jury :

Dr.	MOUMMI Nouredine	Pr	Université de Biskra	Président
Dr.	MOUMMI Abdelhafid	Pr	Université de Biskra	Rapporteur
Dr.	CHOUCHANE Nacer	MCA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2020/2021

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à :

*Mes chers parents, pour leurs sacrifices, amour, et tendresse,
pour leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,
A mes chères sœurs, pour leurs encouragements permanents, et leur
soutien moral*

*A ma fiancée «**laila**» qui s'est tenue avec moi durant toute
cette période*

*A toute ma famille «**rezgui** » pour leur soutien tout au long de mon
parcours universitaire.*

*A toutes mes chères copines : **belal ,oussama ,hakim,said
Ibachek ,heithem ,youcef,nadjib ,fares***

A tous mes enseignants chacun avec son nom.

*Tous mes collègues : **Yassine, maki, Walid**, et toute la promo **Energétique
2020/2021.***

*Chaque personne qui m' a aidé chacun
avec son nom. Merci d'être toujours là pour moi*

Remerciement

En premier lieu, tous mes remerciements vont à Allah de m'avoir donné le courage, la force et la volonté pour la réalisation et d'avoir bien mené ce travail.

Je tiens à remercier très vivement et chaleureusement mon cher enseignant et encadreur Pr. Abdelhafid MOUMMI pour son aide, sa disponibilité, son indulgence ainsi que ses précieux conseils et ses encouragements durant toute la période de la préparation.

Je lui remercie particulièrement pour sa confiance, sa patience, ses efforts, et son soutien durant toute l'année.

Merci pour mon collègue « khaoula sakri » qui m'a aidé dans la partie pratique et tous les gens qui ont fait leurs possible pour élaborer ce mémoire

Je remercie également Ms. Amine gerbazi et Ms. Said djellabi pour leurs collaborations leurs aides et leurs orientations.

J'exprime ma reconnaissance aux enseignants de département de Génie Mécanique de l'université Mohammed Kheider Biskra, qui m'ont aidé à réaliser cette étude en apportant des renseignements ou en acceptant de répondre à mes questions.

Un grand merci à tous ceux qui m'ont bien conseillé, bien aidé, et à ceux qui m'ont encouragé de près ou de loin.

Enfin Je remercie les membres du Jury pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à ce modeste travail.

Nomenclature

Symbol	Designation	Unité
A_{abs}	surface de captation du système	m^2
λ	conductivité thermique du matériau	$W/m.K$
S	section en	m^2
φ	densité de chaleur	W/m^2
ξ	épaisseur de la couche	m
h	coefficient de convection en	$w/m^2.K$
α	absorptivité moyenne	
τ	transmissivité moyenne	
Q_u	énergie utile récupérée	w
A_g	surface de la glasse	m^2
τ_a	rendement optique	
I_g	irradiation globale	w/m^2
U_g	pertes globales	$w/m^2.K$
\dot{m}	débit massique dans le serpentin	Kg/l
η	rendement du capteur	
C_p	chaleur spécifique de l'eau	$Kj/ Kg.K$
F'	coefficient de la qualité du transfert de chaleur entre l'absorbeur et le fluide caloporteur	
F_R	coefficient de conductance	
T_a	température de l'air ambiant	K
T_s	température de sortie du fluide caloporteur	K
T_{ciel}	température du ciel	K
T_e	température d'entrée du fluide caloporteur	K
G	rayonnement solaire globale	W/m^2
λ_{cond}	Conductivité thermique du tube en cuivre	$W/m.K$
N_u	nombre du Nusselt	
Re	nombre de Reynolds	
L_{is}	largeur de l'isolant	m
λ_{is}	conductivité thermique de l'isolant	$W/m. K$
T_{amb}	température de fluide ambiant	K

λ_{air}	Conductivité thermique de l'air ambiant	W/m.K
V	vitesse débitante	m/s
d	Diamètre extérieur du tube absorbeur	m
T_{abs}	température de paroi absorbante	K
ν	viscosité cinématique	m ² /s
ξ_{abs}	Facteur d'émissivité de l'absorbeur	
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	
Q_{cond}	flux de chaleur	W

Sommaire

Dédicace

Remercîments

Nomenclature

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....2

Chapitre I: Généralités et étude bibliographique

I.1 Introduction :.....4

I.2 Les différents composants d'un capteur solaire plan :4

I.3 Capteur solaire thermique :.....4

I.4 Les types de capteur solaire thermiques plan :.....5

I.4.1. Capteurs Solaires sans vitrage :.....5

I.4.2. Capteurs solaire plans vitrés :5

I.4.3. Capteurs solaire Sous vide :.....6

I.5. Principe de fonctionnement d'un capteur solaire a eau :.....7

I.6. Absorbeur :.....8

I.7. Différentes formes de l'absorbeur :9

I.8. Avantage :.....10

I.9. Travaux des recherches réalisés sur les capteurs solaires à eau:10

I.10. Conclusion :15

Chapitre II: Etude théorique

II.1. Introduction :17

II.2. Description d'une installation thermique :.....17

II.3. Calcul du bilan thermique d'un chauffe-eau solaire :18

II.4. Rendement thermique d'un capteur solaire plan :21

II.5. Pertes thermiques dans un capteur solaire plan :22

II.5.1. Pertes par conduction :	23
II.5.2. Pertes par convection :	23
II.5.3. Pertes par rayonnement :	24
II.5.4. Pertes thermiques vers l'avant du capteur :	25
II.5.4.1. Les pertes entre l'extérieur et la vitre :	25
II.5.4.2. Les pertes entre la vitre et l'absorbeur :	25
II.5.4.3. Pertes thermiques vers l'arrière d'un capteur :	25
II.6. Conclusion :	26

Chapitre III : Etude expérimental

III.1. Introduction :	28
III.2.Eléments constitutants du dispositif expérimental :	28
III.2.1.Capteur solaire plan à eau : Il se compose des éléments suivants :	29
III.2.1.1.Absorbeur :	29
III.2.1.2. Isolation thermique :	30
III.2.1.3.La plaque absorbante :	31
III.2.1.4. Couverture transparente en verre :	31
III.2.1.5. Tuyauterie et raccordement :	32
III.2.1.6. Pompe à eau :	32
III.2.1.7. Système de remplissage de circuit :	33
III.2.1.8.Isolation de la tuyauterie :	33
III.3.Instrumentations de mesure :	34
III.3.1.Mesure du rayonnement solaire :	34
III.3.2.Mesure du débit d'eau :	34
III.3.3.Mesure des températures :	35
III.4.Principe de fonctionnement de l'installation :	35
III.5.Conclusion :	35

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1.Introduction :	37
---------------------------	----

IV.2.Variation de la température :.....	37
IV.3. Evolution du rendement :.....	39
IV 5. Evolution du rayonnement solaire et la température de sortie :.....	41
IV.6. Résultats de calcul des performances thermiques de l'installation :.....	43
IV.7.Conclusion :.....	44
Conclusion générale.....	46
Références.....	47

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1. Composants d'un capteur solaire plan.....	4
Figure I.2. capteur thermique sans vitrage.....	5
Figure I.3. Un capteur thermique plan vitré.....	6
Figure I.4. Un capteur thermique sous vide.....	7
Figure I.5. processus dans un capteur solaire plan.....	8
Figure I.6. Principaux types de réseaux de.....	9
Figure I.7. Différentes formes.....	9
Figure I.8. Formes géométriques des plaques absorbantes.....	10
Figure I.9. Schéma du capteur solaire étudié.....	11
Figure I.10. Variation du rendement instantané avec le changement de Tfe.....	12
Figure I.11. Les variations du rendement instantané en fonction de la température réduite pour $T^* = (T_p - T_a) / I_g$ plusieurs types de capteurs.....	13
Figure I.12 Les valeurs expérimentales et théoriques du rayonnement global sur une surface horizontale pour deux journées d'été de 2009.....	14

Chapitre II :

Figure II.1 Eléments d'une installation solaire thermique.....	17
Figure II.2 Analogie électrique des pertes thermiques vers l'ambiance.....	19
Figure II.3 rendement du capteur en régime STATIQUE pour $I_g=1000 \text{ W/ m}^2$	23
Figure. II.4 Bilan thermique d'un capteur solaire plan vitré.....	23

Chapitre III :

Figure III.1 Photo prise à l'intérieur du Hall technologique de l'université de biskra	28
Figure III.2 Absorbeur en tube de cuivre en forme de serpent.....	29
Figure III.3 Réalisation de l'échangeur serpent.....	30
Figure III.4 réalisation de l'isolation.....	30
Figure III.5 plaque métallique et tubes de cuivre avec placage.....	31
Figure III.6 photographie montrant la vitre.....	31
Figure III.7 tube cuivre.....	32
Figure III.8 Raccord de tube multicouche.....	32
Figure III.9 Pompe à eau de type Shimge home booster.....	32
Figure III.10 Système de remplissage du circuit.....	33
Figure III.11 isolation des conduites de raccordement.....	33
Figure III.12 Pyranomètre portatif.....	34

Figure III.13 Débit mètre à flotteur gradué de 0 à 160 l/h.....	34
Figure III.14 thermomètres digital JDP-200 avec écran afficheur.....	35

Chapitre IV :

Figure IV.1 Variation des températures à l'entrée et à la sortie de l'eau en fonction du temps pour un débit volumique égale à 150 Kg/h.....	37
Figure IV.2 Variation des températures à l'entrée et à la sortie de l'eau en fonction du temps pour un débit volumique égale à 100 Kg/h.....	38
Figure IV.3 Variation des températures à l'entrée et à la sortie de l'eau en fonction du temps pour un débit volumique égale à 50 Kg/h.....	38
Figure IV.4 Evolution du rendement thermique pour un débit d'eau égal à 150 kg/h.	40
Figure IV.5 Evolution du rendement thermique pour un débit d'eau égal à 100 kg/h.	40
Figure IV.6 Evolution du rendement thermique pour un débit d'eau égal à 50 kg/h.	41
Figure IV.7 Evolution du rayonnement solaire et température de l'eau sorte pour un débit d'eau égal à 150 kg/h.	42
Figure IV.8 Evolution du rayonnement solaire et température de l'eau sorte pour un débit d'eau égal à 100 kg/h.	42
Figure IV.9 Evolution du rayonnement solaire et température de l'eau sorte pour un débit d'eau égal à 50 kg/h.....	43

Liste des tableaux

Chapitre IV :

Tableaux IV.1 Performances thermiques de capteur solaire calculés pour un débit d'eau = 150 kg/h.....	43
Tableaux IV.2 Performances thermiques de capteur solaire calculés pour un débit d'eau = 100 kg/h.....	44
Tableaux IV.3 Performances thermiques de capteur solaire calculés pour un débit d'eau = 50 kg/h.....	44

Introduction générale

Introduction générale

Compte tenu de l'épuisement des énergies usuelles conventionnelles et leur impact négatif sur l'homme et la nature il devient impératif d'utiliser des énergies propres non polluantes et gratuites comme l'énergie solaire. L'objectif de ce projet est d'utiliser cette énergie pour obtenir de l'eau chaude sanitaire, cette énergie est la plus dominante et aussi la plus facilement exploitable. De part la diversité de son utilisation et l'intérêt qu'elle porte à travers le monde, cette forme d'énergie a connu un grand essor ces dernières années.

Toutefois, le prix élevé de cette énergie par rapport au prix des énergies non renouvelables représente un handicap face à l'expansion de son utilisation.

L'optimisation des dispositifs solaires est parmi les solutions recommandées afin de renverser la tendance actuelle et voir l'utilisation de l'énergie solaire se répandre davantage dans le monde.

L'utilisation de l'énergie solaire la plus simple et la plus directe, est la production d'eau chaude sanitaire. Les trois parties de fonctionnement d'un système de chauffage solaire sont : la captation, le stockage et la distribution. La captation est la partie essentielle pour la conversion de l'énergie solaire représentée par le capteur solaire. C'est ce dernier qui transforme l'énergie solaire en quantité de chaleur qu'il transmet au fluide caloporteur circulant dans son absorbeur. Vu le rôle important que joue le capteur solaire dans la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique, plusieurs recherches ont été menées sur l'étude du capteur solaire plan avec le but d'améliorer son rendement instantané qui représente la performance la plus caractéristique.

Dans le cadre de ce travail, nous allons nous intéresser à l'exploitation de l'énergie solaire par voie thermique en utilisant un capteur solaire plan pour la production de l'eau chaude. Une étude expérimentale est menée dans le site de Biskra, une série des mesures nous a permis d'obtenir des résultats qui sont représentés graphiquement avec une discussion.

Le présent travail comporte quatre chapitres et une annexe :

- Le premier chapitre est consacré à des généralités sur les capteurs solaires plans.
- Le deuxième chapitre est dédié aux modèles mathématiques liés aux capteurs solaires à eau et les échangeurs de chaleur.
- Le troisième chapitre comporte l'étude expérimentale, à travers lequel une description des éléments constitutifs et les moyens de mesure utilisés dans la partie expérimentale.
- Le dernier chapitre est réservé aux résultats numériques, l'interprétation et les discussions des résultats expérimentaux obtenus.
- Enfin, nous terminons ce travail avec une conclusion générale.

Chapitre I

I.1. Introduction :

En Algérie, la production de l'eau chaude sanitaire est généralement assurée par l'énergie conventionnelle (gaz naturel, résistance électrique...), dont les principaux systèmes utilisés pour le chauffage de l'eau, sont le chauffe-eau individuel à gaz, la chaudière pour le collectif, ou le cumulus électrique.

Malheureusement, ces formes d'énergies présentent plusieurs inconvénients (pollution, réserve limitée, ...). C'est pour cette raison que la transition vers les énergies renouvelables s'avère être d'une nécessité certaine et ce à cause de leurs avantages certains (propres, renouvelables, gratuites, ...).

La production de l'eau chaude sanitaire par voie solaire est l'une des techniques d'exploitation, la plus répandue de l'énergie solaire. Les installations d'eau chaude sanitaire sont toutes munies de capteurs solaires plans ou évacués. Equipements indispensables pour la conversion de l'éclairage solaire en énergie calorifique, véhiculée par un fluide caloporteur vers l'utilisation. Le but de cet article est la détermination des performances thermiques d'un prototype de capteur solaire à eau.

I.2. Les différents composants d'un capteur solaire plan :

Un capteur plan est constitué essentiellement d'une couverture transparente, d'un absorbeur, d'un fluide caloporteur, d'une isolation thermique et d'un coffre (figure I.1).

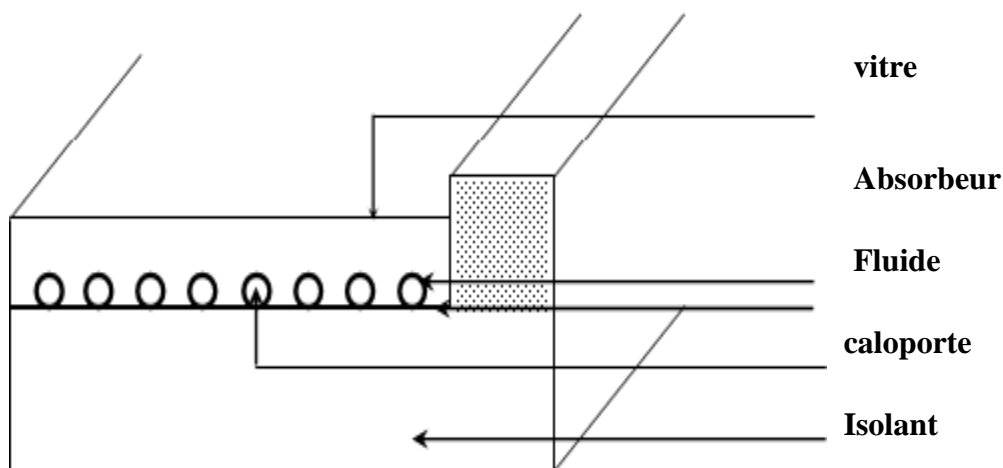


Figure I.1 : Composants d'un capteur solaire plan.

I.3. Capteur solaire thermique :

Le capteur solaire thermique a pour fonction de transformer la plus grande quantité possible du rayonnement solaire incident en énergie thermique et de la transférer au fluide caloporteur du circuit primaire. Il existe différents types de capteurs présentant des coûts et des caractéristiques

spécifiques.

I.4. Les types de capteur solaire thermiques plan :

On distingue 3 familles de capteurs solaires thermiques plans :

- Les capteurs plans non vitrés ou souples : simples et peu onéreux, ils sont bien adaptés pour le chauffage de l'eau d'une piscine.
- Les capteurs plans vitrés : les plus répandus aujourd'hui.
- Les capteurs sous vides : plus performants mais plus onéreux, particulièrement adaptés pour une utilisation en région froide ou qui bénéficie d'un ensoleillement moins important.

I.4.1. Capteurs Solaires sans vitrage :

Ce sont des capteurs dont généralement, les tuyaux ou la zone de circulation du fluide correspondent à l'absorbeur du capteur. Ils sont nommés aussi : « moquette solaire » ou « tapis solaires ». Leur rendement est très petit en dehors de la période d'été quand le soleil est plus haut et donc, l'ensoleillement est plus fort. De ce fait, normalement son utilisation est plutôt consacrée à l'échauffement des piscines en été. De conception très simple et d'un coût relativement peu élevé (100 - 150 €/m², fourni et posé), ils créent un réchauffement de l'eau en la faisant circuler au travers de petits tuyaux



Figure I.2: capteur thermique sans vitrage. [3]

I.4.2. Capteurs solaire plans vitrés :

Les capteurs vitrés sont équipés d'une couverture transparente qui permet de créer l'effet de serre dans lui en optimisant son rendement. Néanmoins, le phénomène de convection qui est créé à cause de cette lame de verre, joue un rôle pénalisant dans les performances de ces capteurs.

Ils sont constitués aussi par de tubes de cuivre servant d'absorbeurs de l'énergie solaire.

Ils sont isolés sur les autres faces dans le but de réduire au minimum les déperditions. L'isolation arrière et normalement composée des laines minérales. Il y a une version dans le groupe des capteurs vitrés qui sont équipés d'un absorbeur sélectif. Il permet de monter les performances. Le phénomène des déperditions et les pertes intrinsèques au capteur sont de paramètres très influents sur les performances d'un capteur. La figure montre clairement le positionnement de leur rendement par rapport aux autres typologies. Ces types de capteurs sont les plus couramment installés.

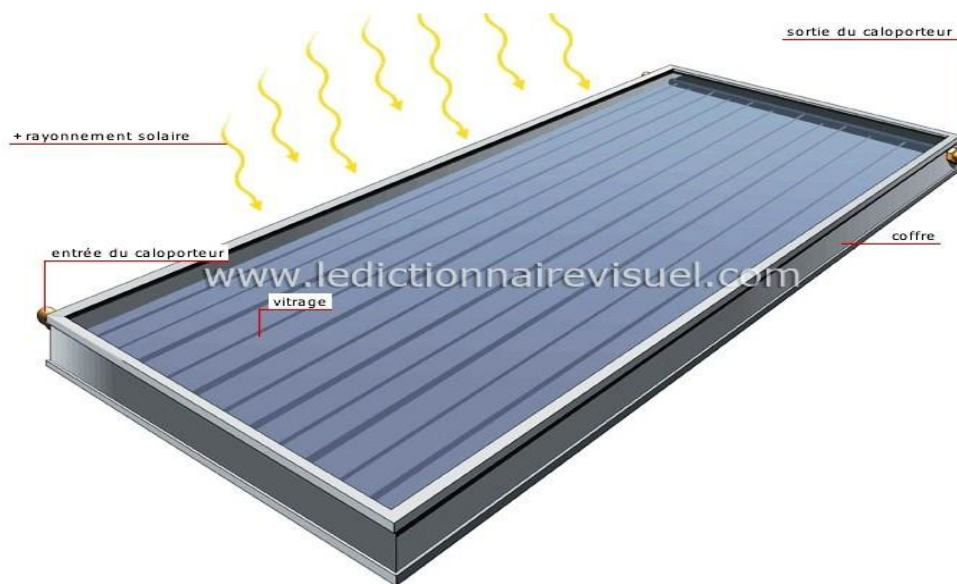


Figure I.3 : Un capteur thermique plan vitré. [4]

I.4.3. Capteurs solaire Sous vide :

Ce type de capteur est de plus en plus utilisé. Les capteurs sous vide permettent de réduire les pertes par convection en plaçant l'absorbeur à l'intérieur d'une enceinte en verre dans laquelle un vide d'air a été fait.

Grâce à la capacité d'isolation du vide, la maîtrise des déperditions est mieux contrôlée, ce qui permet de travailler à un niveau de températures plus élevées.

Cette performance implique de rendements plus élevés lorsqu'on veut des hautes températures. De ce fait, ces capteurs apportent une économie d'encombrement à égale contribution thermique. Les applications en collectivités, de climatisation solaire, dans le secteur résidentiel pour un système

SSC (Système Solaire Combiné) système complet de production et de chauffage incluant capteurs, ballon et kit de circulation), sont clairement susceptibles d'être équipées avec cette technologie. Leur débit est cependant inférieur à celui des panneaux à plaque.

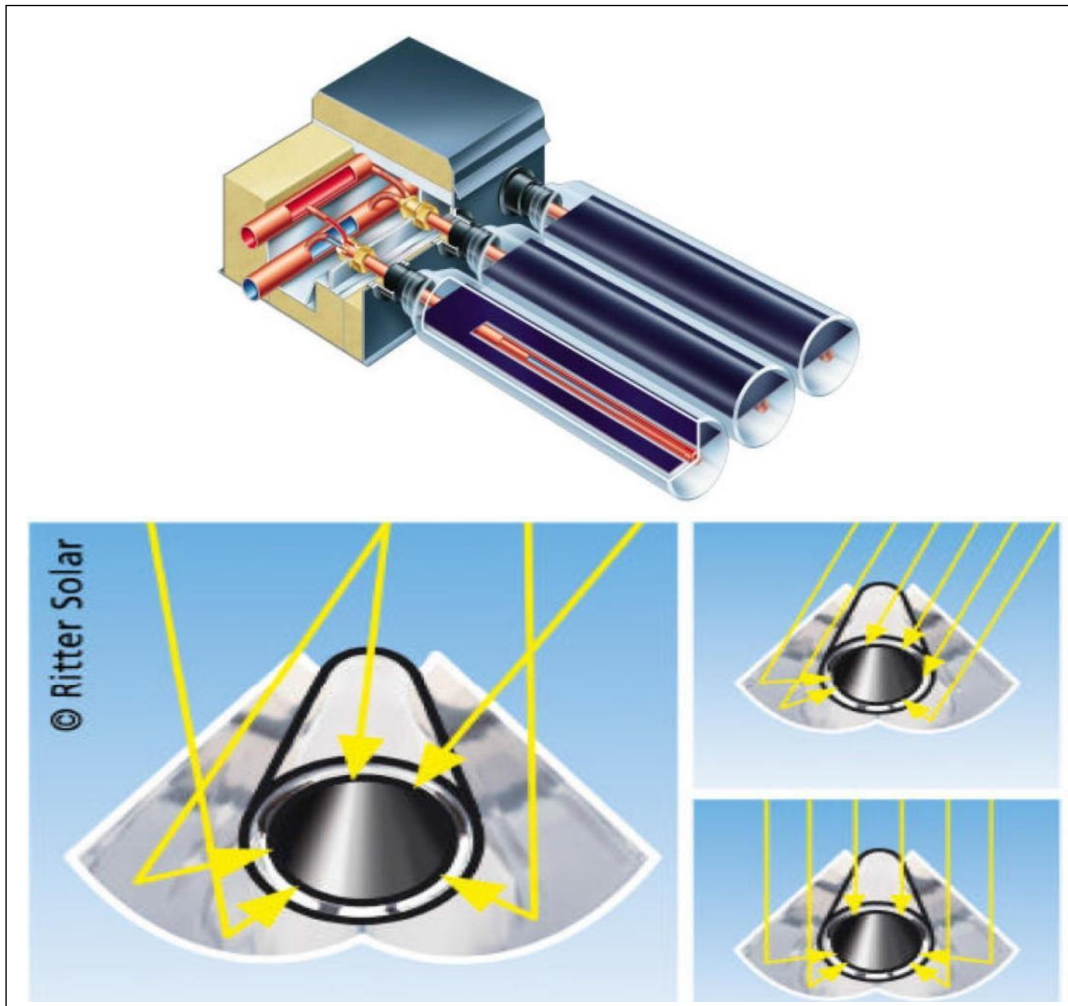


Figure I.4: Un capteur thermique sous vide. [3]

I.5. Principe de fonctionnement d'un capteur solaire a eau :

Les panneaux solaires thermiques transforment la lumière en chaleur, le plus souvent pour des chauffe-eau solaire.

Pour cela, les rayons du soleil passent d'abord par une plaque de verre transparente à la lumière. Sous ce verre, un absorbeur noir (plaque de métal recouverte d'une fine couche de couleur noir) absorbe 80 à 90% des rayons lumineux. L'absorbeur transforme ces rayons lumineux en chaleur, grâce au transfert thermique par rayonnement.

En s'échauffant, l'absorbeur émet des infrarouges. Ces infrarouges sont bloqués entre la plaque de métal et la plaque de verre, c'est le principe de l'effet de serre. Ainsi, l'air entre les deux plaques s'échauffe et améliore le rendement.

Par conduction, l'énergie thermique ou chaleur de l'absorbeur est transmise à un

I.7. Différentes formes de l'absorbeur :

On distingue différentes formes de l'absorbeur (figure I.6) :

- a) Absorbeurs à plaques ou à ailettes de cuivre et tuyauteries en cuivre soudées.
- b) Absorbeurs à plaques ou à ailettes en cuivre et tuyauteries enchâssées.
- c) Absorbeurs à plaques ou à ailettes en aluminium et tuyauteries de cuivre enchâssées.
- d) Absorbeurs à plaques d'aluminium profilées soudées.
- e) Absorbeurs à plaques d'acier inoxydable profilées soudées.

Les absorbeurs se distinguent également par les différentes formes de réseau de tuyauteries primaires auxquels ils sont liés (figure I.7) :

- a) Les absorbeurs à conduites en serpentins.
- b) Les absorbeurs à conduites parallèles unidirectionnelles.
- c) Les absorbeurs à conduites parallèles aller-retour.

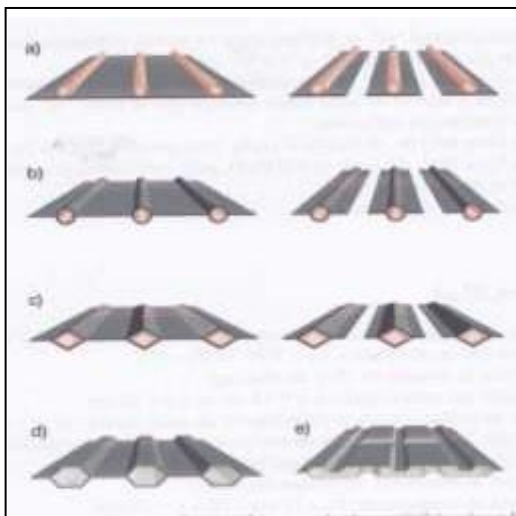


Figure I.6 : Principaux types de réseaux de tuyauteries dans l'absorbeur.

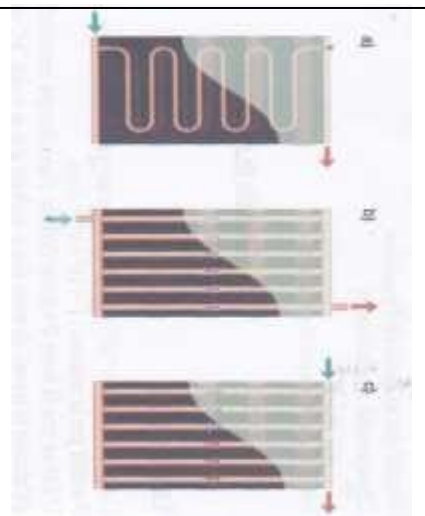


Figure I.7 : Différentes formes d'absorbeurs.

I.8. Avantage :

- Ils sont nettement moins chers que les capteurs tubulaires sous vide.
- Ils se caractérisent par une grande diversité de montages (superposé à la toiture, intégré en toiture, en façade ou isolé).
- Ils ont un bon rapport qualité / prix.
- Il existe la possibilité d'auto construction à partir de capteurs préfabriqués.

I.9. Travaux des recherches réalisés sur les capteurs solaires à eau:

L'étude des paramètres qui influent sur les performances thermiques des capteurs solaires à eau a fait l'objet de plusieurs recherches. Nous exposons dans ce chapitre quelques travaux disponibles dans la littérature qui traitent le côté thermique avec des études énergétiques en générale effectuées sur les capteurs solaires plans. Plusieurs types de capteurs à eau ont été construits et testés à travers le monde, l'objectif principal étant de collecter le maximum d'énergie solaire à un coût minimum. Pour atteindre cet objectif, plusieurs travaux sont aujourd'hui explorés afin d'optimiser les performances thermiques de ces dispositifs de conversion thermiques. Parmi les travaux de recherches qui ont été entamés dans cette perspective, on cite le travail effectué par :

H .Abdi et Al [8] ont mené des travaux expérimental et théorique afin d'étudier l'effet de la forme géométrique du passage du fluide sur l'efficacité des capteurs dans le cas d'un contact direct eau-plaque absorbante.

Les auteurs ont utilisé deux configurations [8] de la plaque absorbante (figure I.8) l'une concave et l'autre convexe. Les dimensions du passage du fluide sont choisies de façon à avoir le même diamètre hydraulique par les deux configurations.

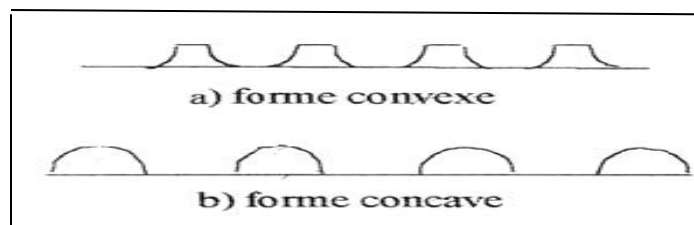


Figure I.8 : Formes géométriques des plaques absorbantes.

Ce travail a permis de conclure que le rendement du capteur dépend en plus des paramètres habituels (conditions extérieures, caractéristiques thermiques), des formes géométriques des plaques absorbantes. Le capteur muni d'une plaque absorbante de forme convexe donne un

meilleur rendement.

Dans ce qui suit, nous exprimerons les puissances absorbées par les composants d'un capteur solaire plan à simple vitrage pour dresser le bilan énergétique de ce système en régimes permanent et transitoire.

N.MOHAMED SEDIK [9], Le but de cette étude est d'étudier et d'analyser l'influence de quelques paramètres sur les performances d'un capteur solaire thermique. Pour ce faire, on a étudié le fonctionnement des capteurs solaires où nous avons fait un calcul numérique pour obtenir les variations du rendement en fonction de ces paramètres.

Les résultats obtenus sont appliqués à des capteurs solaires plans à eau et ils nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

Pour avoir un bon rendement il faut :

- Avoir un débit élevé pour améliorer l'énergie utile récupérée.
- Maintenir une faible différence de température entre le fluide caloporteur et l'air ambiant
- Choisir une température d'entrée du fluide caloporteur assez faible.
- L'augmentation de la température de l'ambiance favorise l'amélioration du rendement instantané du capteur solaire.
- Le rendement d'un capteur solaire thermique est une fonction croissante avec l'éclairement solaire.

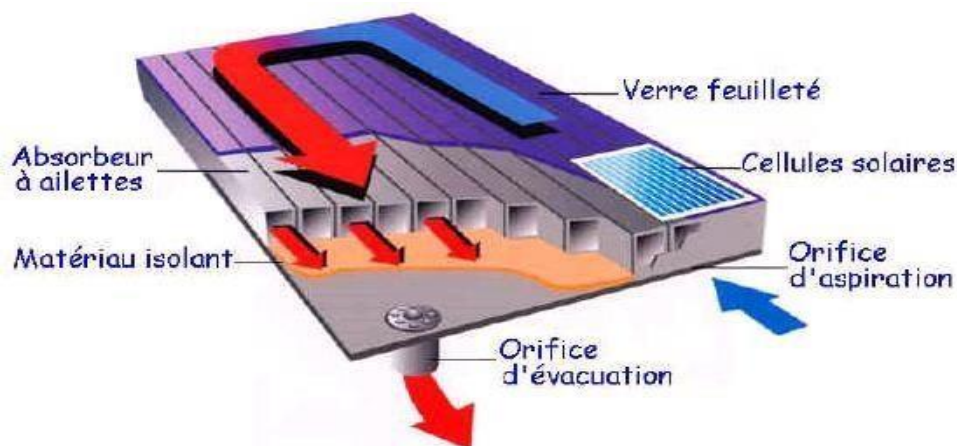


Figure I.9 : Schéma du capteur solaire étudié.

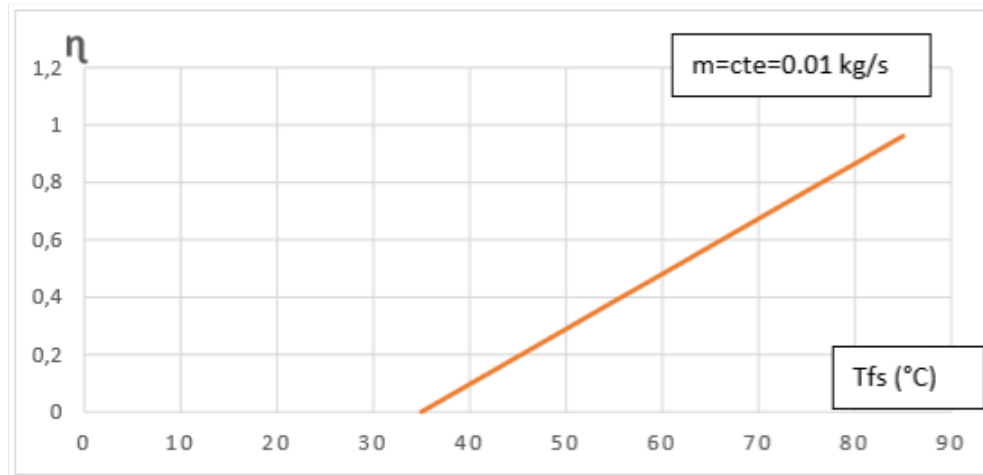


Figure I.10 : Variation du rendement instantané avec le changement de T_{fs} .

N .Bellel et al [10] ont étudié théoriquement un capteur solaire plan à eau simple pour comparer deux configurations du réseau du fluide caloporteur, il s'agit d'un réseau en forme d'un serpentins et un autre en série.

Les auteurs ont validé les résultats obtenus théoriquement par un travail expérimental, et ont trouvé un écart de 10% estimé satisfaisant.

Après une étude comparative entre les deux configurations, les auteurs ont déduit que le capteur muni d'un réseau en serpentins est plus performant que celui muni d'un réseau de tubes en série.

A D E M E [11], a réalisé une étude concernant plusieurs types de capteurs solaires à eau à simple vitrage, à double vitrage, à simple vitrage et à revêtement sélectif, à tube sous vide et sans couvertures, les résultats obtenus montrent que le capteur avec simple vitrage et à revêtement sélectif est plus efficace que celui à une seule vitrage et sans revêtement sélectif Fig.(I.11). Sachant que le rendement d'un capteur plan peut être caractérisé par trois coefficients indépendants de la température, tel que :

$$\eta = \eta_0 - a_1 T^* - a_2 (T^*)^2$$

η_0 : Rendement optique (%)

a_1 : Coefficient de déperditions thermiques par conduction ($\text{W/m}^2.\text{K}$)

a_2 : Coefficient de déperditions thermiques par convection ($\text{W/m}^2.\text{K}$)

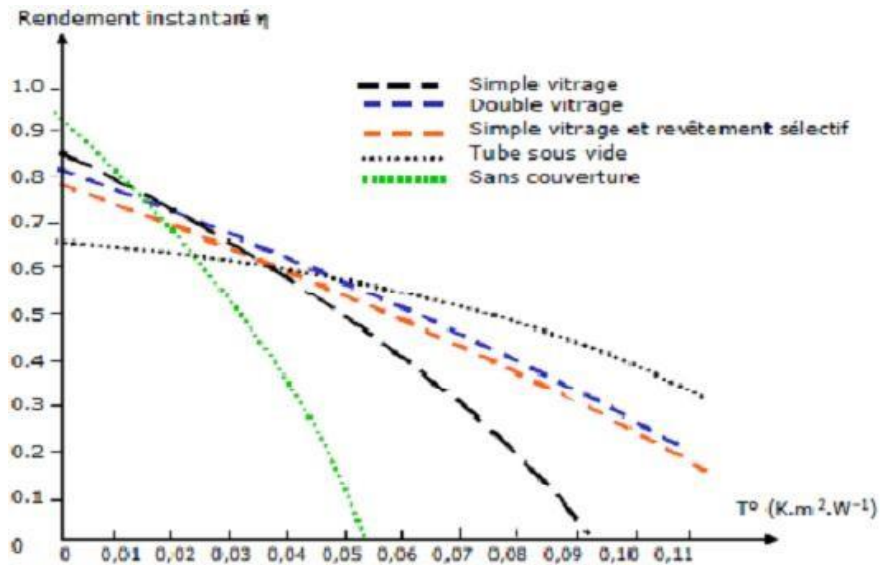
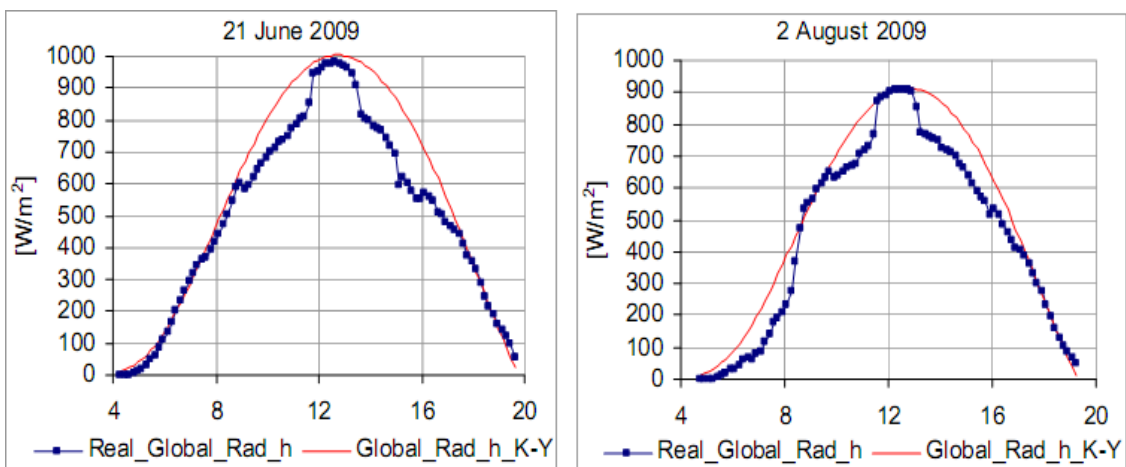
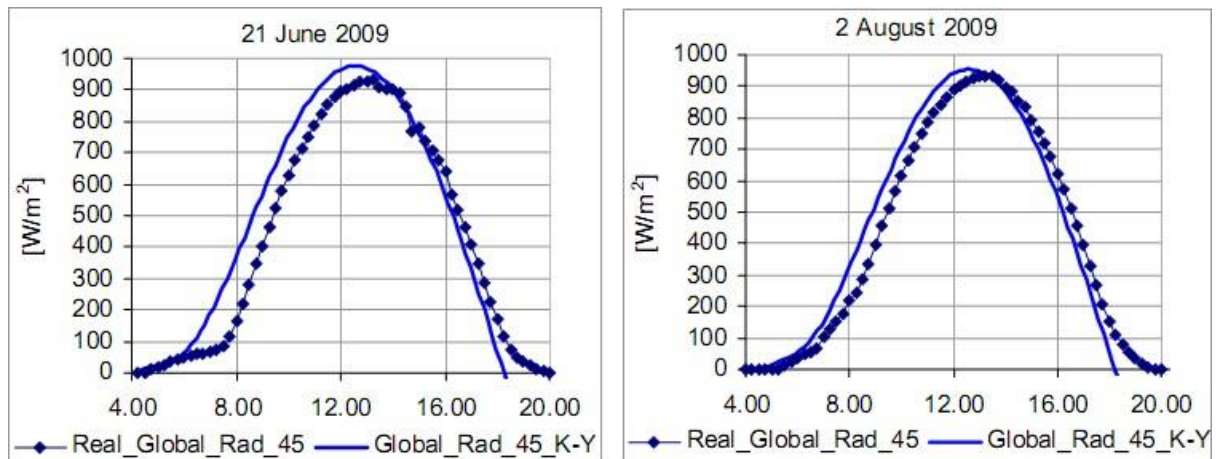


Figure I.11 : Les variations du rendement instantané en fonction de la température réduite pour $T^* = (T_p - T_a) / I_g$ plusieurs types de capteurs.

EFTIMIE [12], a réalisé une comparaison du rayonnement solaire global théorique et expérimental, (Figure I.12.a) présente le véritable rayonnement global enregistré sur une surface horizontale et le rayonnement global horizontal théorique, obtenue avec le modèle Kasten-Young. (Figure I.12.b) présente les diagrammes comparatifs du rayonnement réel et théorique globale sur une surface inclinée à 45 degrés.



Horizontal éclairement global



Éclairement énergétique global sur une surface inclinée

Figure I.12 : Les valeurs expérimentales et théoriques du rayonnement global sur une surface horizontale pour deux journées d'été de 2009.

L'analyse comparative du diagramme superposé (figure I.12) met l'accent sur les conclusions suivantes:

- Les fonctions proposées sont très théoriques précis pendant le lever du soleil et 9 heures solaire, 11 et 13 heure solaire, et de 16 heures solaires au coucher du soleil. Ces périodes sont caractérisées par des erreurs très faibles entre les valeurs théoriques et réelles du rayonnement global.
- L'erreur quotidienne entre le modèle théorique de l'éclairement énergétique global sur une surface horizontale et les valeurs réelles enregistrées est d'environ 12%. Pour la meilleure modélisation théorique de la radiation globale, il est recommandé une modélisation plus précise du facteur de trouble de Linke, en particulier pendant les mois d'été (le facteur de trouble de Linke ne discontinuités présentes dans sa variation durant les autres mois).
- Les valeurs maximales réelles du rayonnement global sur une surface inclinée sont enregistrées environ 13 heure solaire, la courbe théorique du rayonnement global sur une surface inclinée est un peu hors de centre avec la courbe réelle.
- Les deux courbes réelles et théoriques du rayonnement global sur une surface inclinée sont très proches, l'erreur quotidienne est d'environ 2-8% ce qui signifie une bonne précision du modèle théorique.

I.10. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités capteur solaire à eau, ainsi que les avantages et les types de ce dernier et nous avons également abordé le principe de fonctionnement, puis nous avons évoqué les travaux de certains chercheurs sur la méthode de synthèse bibliographique.

Chapitre II

II.1. Introduction :

Le capteur solaire plan a eau offre la possibilité de produire de l'eau chaude à partir de l'énergie solaire, les températures pouvant atteindre les 120°C et le rendement de conversion est généralement élevé. En exploitant le rayonnement solaire direct, considéré comme la ressource principale, ces systèmes de conversion thermiques offrent une véritable alternative à la consommation des ressources fossiles avec un faible impact environnemental et un fort potentiel de réduction des coûts ainsi que la possibilité de l'hybridation de ces installations.

II.2. Description d'une installation thermique :

Une installation solaire thermique se compose de différentes parties :

- Un récepteur d'énergie constitué d'un ou de plusieurs panneaux solaires.
- Une conduite de liaison entre les panneaux et le local technique.
- Un système de régulation qui contrôle les différentes températures et pour enclencher ou déclencher une pompe de circulation.
- Un accumulateur de chaleur.
- Certaines pièces indispensables qui composent une installation solaire : appoint électrique, échangeur, sonde thermique solaire, vase d'expansion, ensemble hydraulique, etc. [13]



Figure II.1 : Eléments d'une installation solaire thermique.

Dans une installation thermique solaire de production de l'eau chaude, le fluide caloporteur qui circule dans le capteur solaire capte la chaleur et la transporte à travers la tuyauterie jusqu'au

Chapitre II : Etude théorique

réservoir de stockage d'eau chaude, par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur permettant au fluide caloporteur de circuler dans un circuit fermé à l'intérieur d'un réservoir de stockage d'eau chaude. Progressivement, le fluide cède sa chaleur à l'eau se trouvant dans l'accumulateur de chaleur, où le transfert de chaleur se réalise sans mélange ni contamination. Le fluide caloporteur refroidi remonte ensuite vers les capteurs solaires pour démarrer un nouveau cycle, généralement assurée à l'aide d'une pompe électrique et d'un régulateur. [13]

Dans cette présente étude, le stockage de la chaleur se fait dans un enceinte contenant le sable, ou l'accumulation est réalisé par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur en forme de serpent

II.3. Calcul du bilan thermique d'un chauffe-eau solaire :

L'énergie utile récupérée s'écrit :

$$Q_u = A_g \cdot F_R \cdot [(\tau\alpha) \cdot I_g - U_g(T_e - T_a)] \quad (\text{II.1})$$

La variation de la température de stockage journalière dépend de la variation de la température ambiante et de l'éclairement solaire, d'autre part fortement liée aux caractéristiques conceptuelle du capteur solaire plan, principalement le rendement optique $\tau\alpha$ et le coefficient de conductance F_R et le coefficient des pertes thermique globales U_g .

Pour la détermination des caractéristiques du capteur solaire, il faut déterminer le rendement du capteur en régime permanent, En effet, le rendement instantané du capteur solaire plan est égal au rapport entre la puissance énergétique récupérée par le fluide et l'irradiation solaire incidente :

$$\eta = \frac{Q_u}{A \cdot I_g} \quad (\text{II.2})$$

En remplaçant la puissance énergétique utile Q_u par son expression donnée par l'équation (II.2), le rendement instantané s'écrit :

$$\eta = F_R(\alpha \tau) - F_R(U_g) \times \frac{(T_e - T_{ae})}{I_g} \quad (\text{II.3})$$

Où,

α : Absorptivité moyenne

τ : Transmissivité moyenne

U_g : Les pertes globales [w/m²K]

Chapitre II : Etude théorique

T_e : Température du fluide a entrée du capteur [K]

T_{ae} : Température de l'air ambiant [K]

I_g : Rayonnement solaire globale incident [W/m^2]

Le rendement prendrait la forme d'une droite dont l'intersection avec l'axe des ordonnées présenterait le rendement optique $F_R \cdot (\alpha\tau)$ et où la pente serait les pertes thermiques globales vers l'ambiance ($F_R \cdot U_g$).

Le coefficient de pertes thermiques globales vers l'ambiance est la somme des pertes thermiques vers l'avant, l'arrière et latéralement, est donné par l'expression:

$$U_g = U_{av} + U_{ar} + U_{lt} \quad \text{(II.4)}$$

Le facteur (U_g) regroupe les pertes thermiques par conduction, par rayonnement et convection entre les divers composants du capteur solaire et l'ambiance. Une représentation des échanges par analogie électrique est donnée d'après la figure (II.2). [14]

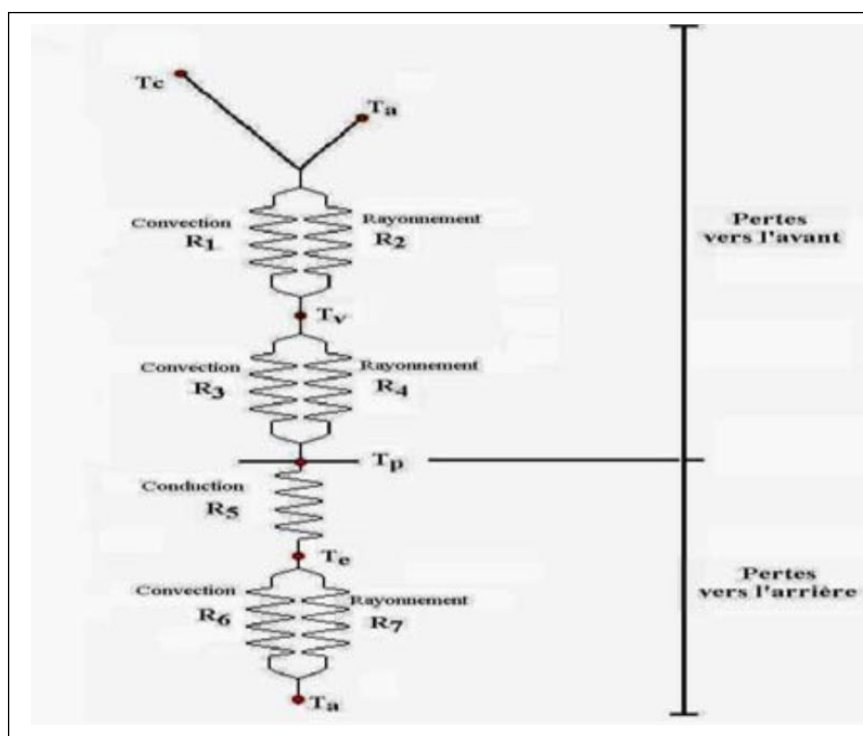


Figure II.2 : Analogie électrique des pertes thermiques vers l'ambiance. [14]

Avec :

- R_1 : Résistance thermique convective entre le vitrage et l'ambiance
- R_2 : Résistance thermique due au rayonnement entre le vitrage et l'ambiance
- R_3 : Résistance thermique convective entre le vitrage et la plaque absorbante
- R_4 : Résistance thermique due au rayonnement entre le vitrage et la plaque absorbante
- R_5 : Résistance thermique par conduction de l'isolation vers l'arrière
- R_6, R_7 : Résistances thermiques par convection et par rayonnement entre la partie basse et l'extérieur.

Le facteur de conductance F_R représente le rapport entre la puissance récupérée réellement et la puissance que l'on aurait obtenue si la température du fluide était égale à la température d'entrée du fluide, il peut être estimé par la relation suivante :

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_s - T_e)}{A_g \cdot (S - U_g \cdot (T_e - T_a))} \quad (\text{II.5})$$

Après arrangement, on obtient :

$$F_R = \left(\frac{\dot{m} \cdot C_p}{A_g \cdot U_g} \right) \left[1 - \exp \left(- \frac{A_g \cdot U_g \cdot F'}{\dot{m} \cdot C_p} \right) \right] \quad (\text{II.6})$$

Ces facteurs sont fonctions des températures plaque et vitrage. Pour un débit supposé constant,

Avec :

\dot{m} : Le débit massique dans le serpentin [g/l]

C_p : La chaleur spécifique de l'eau [Kj/KgK]

A_g : Surface de la glasse en m^2

S : Section en [m^2]

U_g : Les pertes globales [W/m^2K]

F' : Fonction de la qualité du transfert de chaleur entre l'absorbeur et le fluide

T_a : Température de l'air ambiant [K]

T_e : Température du fluide a entrée du capteur [K]

T_s : Température du fluide a la sortie du capteur [K]

II.4. Rendement thermique d'un capteur solaire plan :

Le rendement d'un capteur solaire dont le symbole est η étant le rapport de la chaleur véhiculée par le fluide caloporteur sur la puissance incidente reçue par le rayonnement solaire G . Le rendement d'un capteur chute au cours de la journée car ses pertes sont en fonction de la différence de température entre l'air ambiant et l'absorbeur. Plus cette différence de température augmente, plus le rendement du capteur diminue.

L'équation du rendement thermique tient compte de l'influence des caractéristiques de l'absorbeur et du débit du fluide caloporteur, s'écrit sous la forme :

$$\eta = \eta_0 \frac{U_g}{G} (T_m - T_a) \quad (\text{II.7})$$

$$\eta_0 = F' \cdot \alpha \cdot \tau$$

Ou :

η_0 : est le rendement optique du capteur solaire.

F' : fonction de la qualité du transfert de chaleur entre l'absorbeur et le fluide

α : coefficient d'absorption de l'absorbeur

τ : coefficient de transmission du vitrage

U_g : coefficient global des pertes thermiques du capteur (W/m^2K)

T_a : température de fluide ambiant (K)

T_m : température moyenne du fluide caloporteur (K)

I_g : rayonnement solaire globale reçu par le plan capteur (W/m^2)

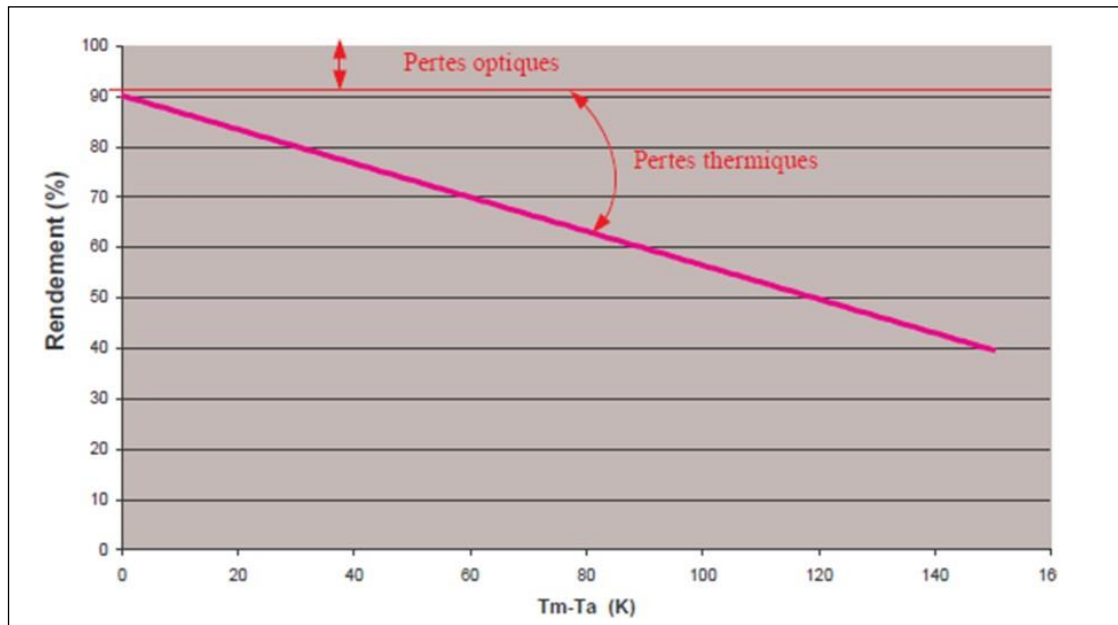


Figure II. 3 : rendement du capteur en régime STATIQUE pour $I_g=1000 \text{ W/ m}^2$. [15]

II.5. Pertes thermiques dans un capteur solaire plan :

L'expression du bilan énergétique d'un capteur solaire plan fait intervenir des pertes thermiques par rayonnement, convection et conduction, dont la connaissance des origines de ces déperditions thermiques est nécessaire pour prévoir et améliorer les performances thermiques.

Les applications de mise en forme et l'amélioration des qualités d'un capteur solaire, nécessitent la prédiction des pertes thermiques, dont la détermination tient compte des différents échanges thermiques existants, telle que montrée par la relation suivante :

$$Q_{ray} + Q_{conv} + Q_{cond} = Q_{pert} \quad (\text{II.8})$$

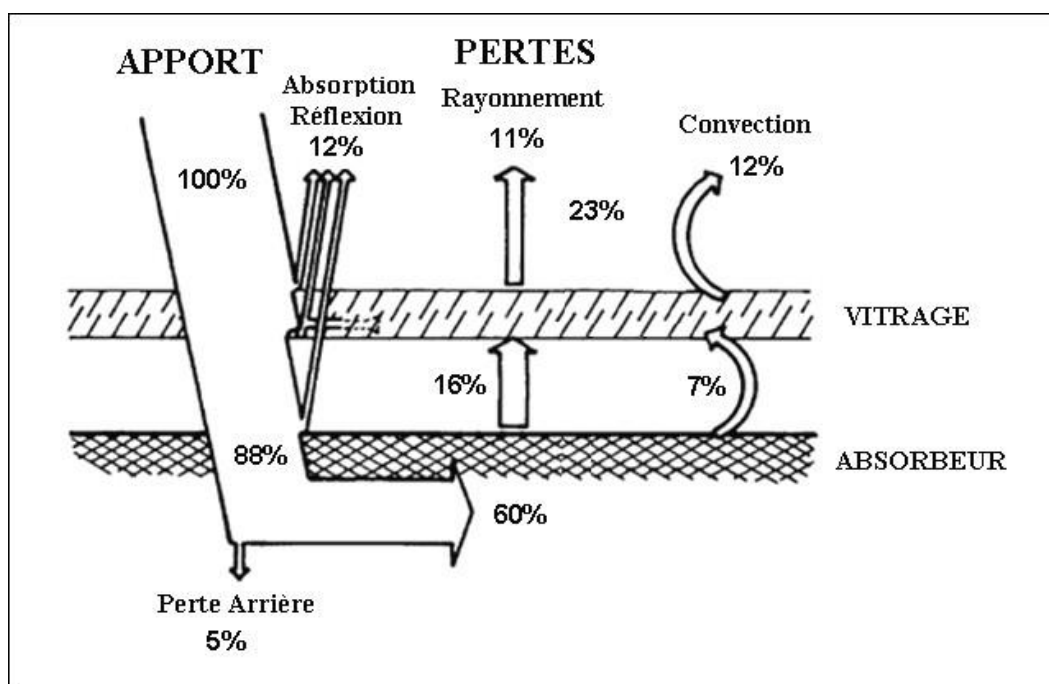


Figure. II.4: Bilan thermique d'un capteur solaire plan vitré.

II.5.1. Pertes par conduction :

Les pertes thermiques par conduction sont habituellement inférieures comparativement à ceux par convection et par rayonnement. Elles sont souvent combinées avec le terme des pertes par convection dans la plupart des analyses.

$$Q_{cond} = \lambda_{cond} \cdot A_{abs} (T_{abs} - T_{amb}) \quad (\text{II.9})$$

Où :

Q_{cond} : flux de chaleur [W]

λ_{cond} : Conductivité thermique du tube en cuivre [W/mK]

A_{abs} : La surface de captation du système [m²]

T_{abs} : température paroi absorbante [K]

T_{amb} : température de fluide ambiant [K]

II.5.2. Pertes par convection :

Les pertes thermiques convectives dépendent fortement de la vitesse du vent et de sa direction par rapport aux surfaces exposés au vent extérieures du capteur solaire plan. Ces pertes sont proportionnelles à la surface de l'absorbeur et la différence entre la température de surface

Chapitre II : Etude théorique

captatrice et la température ambiante donnée par la formule suivante :

$$Q_{conv} = h_{conv} \cdot A_{abs} (T_{abs} - T_{amb}) \quad (\text{II.10})$$

Le coefficient de transfert de chaleur par convection est donné par la relation suivante :

$$h_{conv} = \frac{Nu_{moy} \cdot \lambda_{air}}{d} \quad (\text{II.11})$$

d : Diamètre extérieur du tube absorbeur.

λ_{air} : Conductivité thermique de l'air ambiant

Nu : étant le nombre de Nusselt moyen donné par la relation empirique suivante [14]:

$$Nu = 0.664(Re)^{1/2}(Pr)^{1/3} \quad (\text{II.12})$$

Où, Re étant le nombre de Reynolds(Re) exprimé par la formule :

$$Re = \frac{v \cdot d_{ext}}{\nu} \quad (\text{II.13})$$

Où

Re : nombre de Reynolds .

V : vitesse débitante [m/s]

d_{ext} :Diamètre extérieur [m]

ν : viscosité cinématique [m²/s]

II.5.3. Pertes par rayonnement :

Les pertes de chaleur par rayonnement sont importantes pour des récepteurs fonctionnant seulement aux températures légèrement au-dessus de la température ambiante, et devient dominante pour des collecteurs fonctionnant à températures élevées. Les pertes de chaleur par rayonnement sont proportionnelles à l'émissivité de la surface et à la différence de température à la puissance quatre, telle que décrite par l'équation suivante :

$$Q_{ray} = \xi_{abs} \sigma A_{abs} (T_{abs}^4 - T_{ciel}^4) \quad (\text{II.14})$$

Où :

ξ_{abs} : Facteur d'émissivité de l'absorbeur.

σ : Constante de Stefan-Boltzmann.

T_{ciel} : Température du ciel.

Cependant, les pertes latérales et arrière restent négligeables devant les pertes thermiques face avant du capteur qui demeurent les plus importantes par rapport à la face avant qui correspond à la partie avant du capteur orientée vers le ciel entre l'absorbeur et l'extérieur.

II.5.4. Pertes thermiques vers l'avant du capteur :

Ces pertes peuvent être exprimées en deux parties, les pertes entre la vitre et l'extérieur et les pertes entre l'absorbeur et la vitre.

II.5.4.1. Les pertes entre l'extérieur et la vitre :

Dans ce cas on a des pertes par convection et des pertes par rayonnement, Le rayonnement se fait par réflexion produit par le vitrage et la convection naturelle avec le milieu extérieur. Pour ce qui est des pertes convectives elles peuvent aussi être considérées comme convection forcée si il y'a une variation dans la vitesse du vent.

II.5.4.2. Les pertes entre la vitre et l'absorbeur :

Dans ce cas on a des pertes par convection et des pertes par rayonnement et par conduction. Les pertes entre l'extérieure et le vitrage et entre le vitrage et l'absorbeur sont exprimées par une relation globale telle que :

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2} = \left(\frac{1}{h_c + h_{r,c-a}} + \frac{1}{h_{p-c} + h_{r,p-c}} \right)^{-1} \quad (\text{II.15})$$

R_1 : Résistance thermique convective entre le vitrage et l'ambiance

R_2 : Résistance thermique due au rayonnement entre le vitrage et l'ambiance

h_c : coefficient thermique de convection entre le vitrage et l'extérieur

$h_{r,c-a}$: coefficient thermique de rayonnement entre la couverture et l'ambiance

$h_{r,p-c}$: coefficient thermique le coefficient de rayonnement entre l'absorbeur

II.5.4.3. Pertes thermiques vers l'arrière d'un capteur :

Les pertes arrière sont peu importantes devant les pertes avant. En effet, le capteur étant généralement bien isolé à l'arrière. L'expression permettant d'évaluer le coefficient d'échange est donnée par :

$$U_{arr} = \frac{1}{R_4} = \frac{\lambda_{is}}{L_{is}} \quad (\text{II.16})$$

Ou

λ_{is} : conductivité thermique de l'isolant

L_{is} : largeur de l'isolant

II.6. Conclusion :

Le capteur solaire est un élément de base dans une installation solaire thermique. Le dimensionnement de cette installation passe systématiquement au dimensionnement des différents éléments, dont les calculs peuvent être classés en deux grandes catégories, un calcul thermique pour estimer les performances thermiques de l'installation et un calcul hydraulique pour estimer les pertes de charges dans le circuit de l'installation.

Chapitre III

Etude Expérimentale

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre on va présenter les étapes de réalisation et conception du capteur solaire thermique plan à eau au sein de la hall technologique du département de génie mécanique de l'Université de Biskra. Les travaux ont été effectués durant la période allant du mois d'Avril jusqu'au mois Mai 2021.

Les différentes étapes qui ont eu lieu pour la conception et la réalisation du banc d'essai expérimental ont été entamé dans le hall technologique du département de génie mécanique de l'Université de Biskra, située au sud est de l'Algérie à $34,50^\circ$ de latitude et à $5,44^\circ$ de longitude. Le dispositif expérimental est constitué d'un capteur solaire plan à eau couplé à une enceinte de stockage de la chaleur dans le sable.



Figure III.1 : Photo prise à l'intérieur du Hall technologie de l'université de Biskra.

III.2. Eléments constituant du dispositif expérimental :

Le dispositif expérimental réalisé est constitué des éléments suivants :

- D'un capteur solaire plan à eau dont les caractéristiques géométriques sont :
 - Longueur du capteur = 1,55 m.
 - Largeur du capteur = 0,85 m.
 - Longueur de l'absorbeur = 1,49 m.
 - Largeur de l'absorbeur = 0,75 m.
 - Surface de la couverture transparente en verre = 1,26 m.
 - Le fluide caloporteur utilisé est l'eau.
- Des accessoires :
 - Une pompe à eau qui assure la circulation de l'eau dans le circuit fermé

Chapitre III : Etude expérimentale

entre le capteur solaire et l'enceinte de stockage de la chaleur.

- Débitmètre à flotteur.
- 02 Capteurs de température électronique qui mesurent la température de l'eau à l'entrée et à la sortie respectivement.

III.2.1. Capteur solaire plan à eau : Il se compose des éléments suivants :

- Un boîtier en bois de dimensions : Longueur = 1,55m, largeur = 0,8 m, Hauteur = 0.15 m
- La face inférieure est recouverte d'une couche d'isolant en panneaux sandwich de 50 mm d'épaisseur en face postérieure et de 30 mm pour les faces latérales.
- D'une plaque absorbante constituée d'une plaque en acier galvanisé peinte en noir mate.
- Un échangeur en forme de serpentин constitué de plusieurs conduites en tuyauterie de cuivre fixés solidairement par vis sur la face avant de la plaque absorbante.
- Une couverture transparente en verre ordinaire d'épaisseur égale à 4 mm

III.2.1.1. Absorbeur : L'absorbeur est constitué d'un réseau de tubes cylindriques de cuivre en forme de serpentин de 16 mm de diamètre extérieur, comporte 6 tubes horizontaux (130 cm) et deux tubes (150 cm) sont reliés les uns aux autres par 07 tubes avec coudes (7,5 cm) découpés avec un coupe métal, la liaison entre les tubes est obtenue par soudage à l'étain avec chalumeau à gaz butane Figure III.2.



Figure III.2 : Absorbeur en tube de cuivre en forme de serpentин.

Chapitre III : Etude expérimentale

La longueur totale du tube absorbeur serpentin en contact avec la plaque absorbtrice en acier galvanisé est égale à 11,25 m, qui représente une surface d'échange avec le milieu extérieur de l'ordre de 0,5652 m².



Mesure de la longueur des tubes
en cuivre



Découpage des tubes
en cuivre



Soudage par flamme de
chalumeau à l'étain

Figure III.3. Réalisation de l'échangeur serpentin

III.2.1.2. Isolation thermique :

L'isolation thermique a pour rôle de limiter les déperditions thermiques vers l'extérieur du capteur, principalement par le bas et les côtés latéraux, pour cela, on a utilisé un panneau avec une couche en silicone de haute densité injectée entre les bordures de la plaque absorbante et les parois latérales du boîtier en bois Figure (III.4).



Figure III.4 : réalisation de l'isolation.

La silicone est une matière isolante mono composante, auto-expansible, adhésive, isolante, étanche et non toxique, permettant de réaliser toutes les opérations d'isolation thermique et acoustique. Elle durcit par polymérisation en présence de l'humidité de l'air. Elle contient plus de 80 % de cellules fermées, ce qui la rend dense et stable.

III.2.1.3. La plaque absorbante :

Il s'agit d'une plaque d'acier galvanisé collée directement sur l'isolant et recouverte d'une peinture aérosol noire mate, la figure (III.5) suivante montre l'installation de la plaque absorbante. d'autre part, le tube échangeur absorbeur est également peint en noir mat, collé solidairement sur la plaque absorbante par vis pour obtenir un maximum d'absorption du rayonnement solaire comme il est montré sur la figure (III.5).



Figure III.5 : plaque métallique et tubes de cuivre avec placage.

III.2.1.4. Couverture transparente en verre :

Une vitre transparente de verre trempé d'épaisseur 5 mm est utilisé pour favoriser l'effet de serre et en vue de réduire les pertes thermiques par convection et par rayonnement vers l'environnement extérieur figure (III.6). La vitre est jointée avec le cadre en bois à l'aide d'un ruban adhésif pour limiter les pertes thermiques.



Figure III.6 : photographie montrant la vitre.

III.2.1.5. Tuyauterie et raccordement :

La liaison entre le capteur solaire à eau et l'enceinte de stockage de la chaleur contenant le matériau de stockage est réalisée par une tuyauterie en cuivre Figure (III.7), dont le raccordement est assuré par une jeux de bague crantée sur le tube Figure (III.8). Ce type de raccord est utilisable aussi bien en chauffage qu'en sanitaire.



Figure III.7: tube cuivre.



Figure III.8 : Raccord de tube multicouche.

III.2.1.6. Pompe à eau :

La pompe à eau a pour rôle d'assurer en mode de convection forcée la circulation en continue le fluide caloporteur (eau) entre le capteur et l'enceinte de stockage de la chaleur dans un circuit fermé Figure (III.9). Le débit d'eau à l'entrée du capteur est ajusté par une vanne manuelle relié directement à un débitmètre à flotteur Figure (III.13), qui permet de régler le débit d'eau qui circule dans le circuit fermé de captation et de stockage.



Figure III.9 : Pompe à eau de type Shimge home booster.

III.2.1.7. Système de remplissage de circuit :

Pour remplir le circuit avec de l'eau, on a utilisé un système composé de 03 robinets tel que illustré sur la figure (III.10) comportant deux robinets et une vanne principale. Le remplissage du circuit est effectué à partir du premier robinet, le second robinet qui est en position ouverte, alors que la vanne est fermée jusqu'à ce que le circuit soit entièrement rempli d'eau et pour s'assurer qu'il n'y a pas de bulles d'air dans le circuit fermé.

Une fois le circuit est chargé d'eau, la pompe à eau est mise en route, après fermeture du robinet 01 et ouverture de la vanne principale pour permettre à l'eau de circuler librement dans le circuit fermé.



Figure III.10 : Système de remplissage du circuit.

III.2.1.8. Isolation de la tuyauterie :

Les tuyauteries du circuit sont isolées par une gaine de calorifugeage de manière à limiter les pertes de chaleur au niveau des conduites de raccordement reliant les entrées et sorties entre le capteur solaire et l'enceinte de stockage de la chaleur Figure (III.11).



Figure III.11 : isolation des conduites de raccordement.

III.3. Instrumentations de mesure :

III.3.1. Mesure du rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire reçu par le plan incliné du capteur solaire à eau est mesuré par un Pyranomètre portatif à affichage à cristaux liquide. Il est équipé d'un cadran à affichage pour la lecture directe de l'intensité lumineuse en W/m^2 Figure (III.12), dont l'intervalle de mesure est compris entre 0-1999 W/m^2 , avec une résolution de 1 W/m^2 et une précision de l'ordre $\pm 5\%$.



Figure III.12 : Pyranomètre portatif.

III.3.2. Mesure du débit d'eau :

Pour mesurer le débit volumique de l'eau dans le circuit, on a employé un débitmètre à flotteur gradué muni d'une vanne manuelle, ce qui permis de contrôler et ajuster le débit d'eau voulu en circulation dans le circuit fermé Figure (III.13).



Figure III.13 : Débit mètre à flotteur gradué de 0 à 160 l/h.

III.3.3. Mesure des températures :

Le contrôle des températures de l'eau entrante et sortante au niveau du capteur solaire, est réalisé par des capteurs de température électronique, dont la lecture est réalisée sur un cadran afficheur à cristaux liquide de type JDP-200, avec une résolution de 0,1°C figure (III.14). Les capteurs de températures sont intégrés directement au circuit de l'eau en mouvement dans le collecteur solaire.



Figure III.14 : thermomètres digital JDP-200 avec écran afficheur.

III.4. Principe de fonctionnement de l'installation :

L'étude expérimentale démarre par l'alimentation du fluide à l'aide d'une pompe à eau vers le capteur solaire, ce dernier, parfaitement incliné en plein sud, reçoit le rayonnement solaire, la plaque absorbante se chauffe en transférant une partie de la chaleur convertie au fluide qui s'écoule en direction de l'enceinte de stockage de la chaleur. Les paramètres mesurables à l'entrée et à la sortie du capteur incliné, ainsi que le rayonnement solaire sont enregistrés à raison d'une heure, dont les valeurs sont portés sur un tableau de mesure.

III.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a essayé de présenter les différentes étapes de fabrication et de montage du dispositif expérimental constitué d'un capteur solaire plan à eau et d'une enceinte de stockage de la chaleur. D'autre part, on a exposé les différents instruments de mesures employés durant le déroulement des manipulations expérimentales, ce qui a permis de suivre en fonction du temps et de l'ensoleillement l'évolution de nombreux paramètres importants pour la quantification des performances thermiques de notre installation de production de la chaleur par énergie solaire thermique.

Chapitre IV

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, on s'intéresse à observer l'évolution des températures de l'eau en circulation dans un circuit fermé entre le capteur solaire plan à eau et une enceinte de stockage de la chaleur dans le sable, ceci étant durant les conditions de fonctionnement ordinaires en utilisant un capteur solaire plan à eau et une enceinte de stockage de la chaleur qui sont réalisés au niveau du hall technologique du département de génie mécanique de l'Université Mohammed Khider de Biskra.

Dans ce chapitre on va essayer de voir le comportement thermique de l'installation sous les conditions environnantes du site de Biskra, à travers l'évolution des paramètres de performances en fonction du temps, tels que la température à la sortie du capteur et le rendement thermique pour différentes valeurs du débit massique sous un ensoleillement naturel. Dont l'objectif du dispositif expérimental est de production l'eau chaude destinée pour le stockage de la chaleur, qui dans notre cas est le sable comme milieu de stockage.

IV.2. Variation de la température :

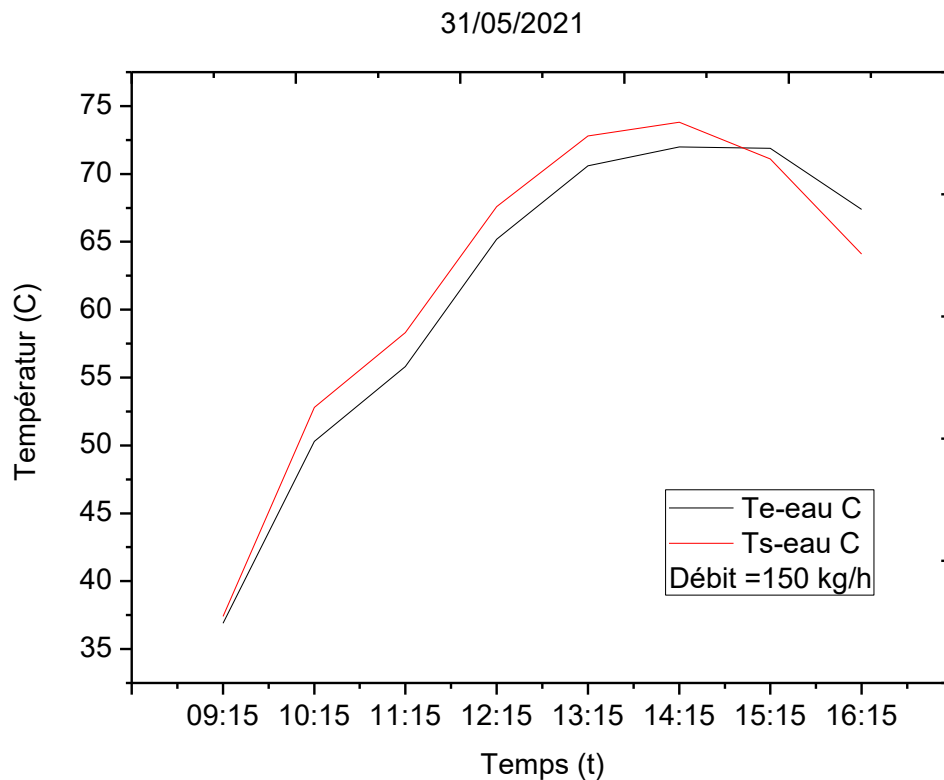


Figure IV.1: Variation des températures à l'entrée et à la sortie de l'eau en fonction du temps pour un débit volumique égale à 150 Kg/h.

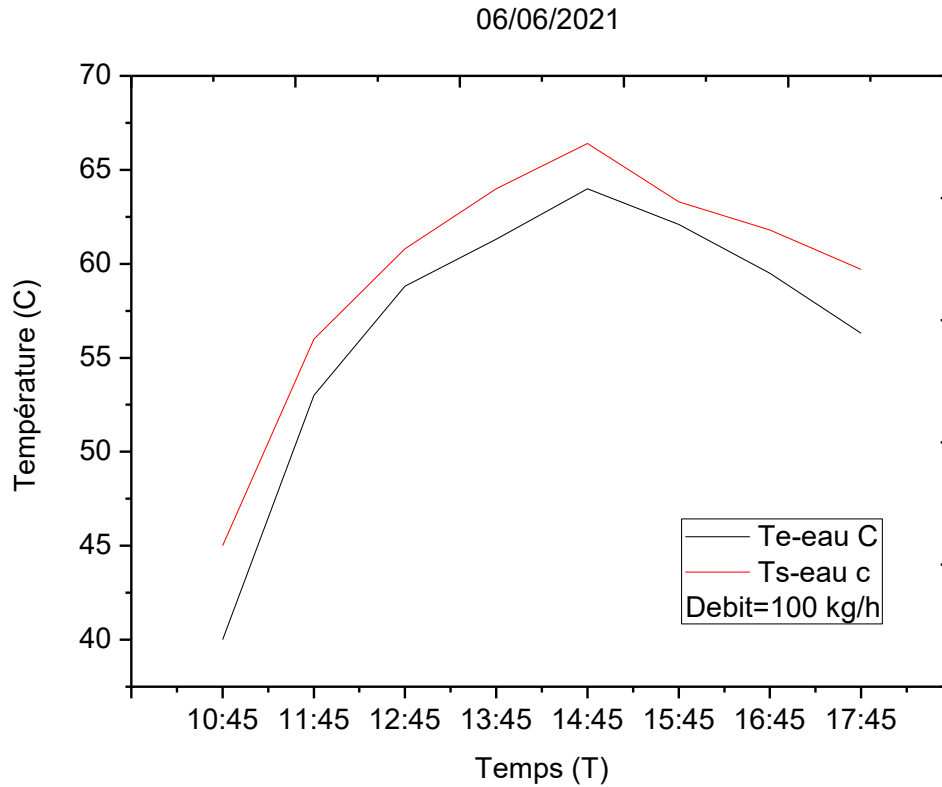


Figure IV.2: Variation des températures à l'entrée et à la sortie de l'eau en fonction du temps pour un débit volumique égale à 100 Kg/h.

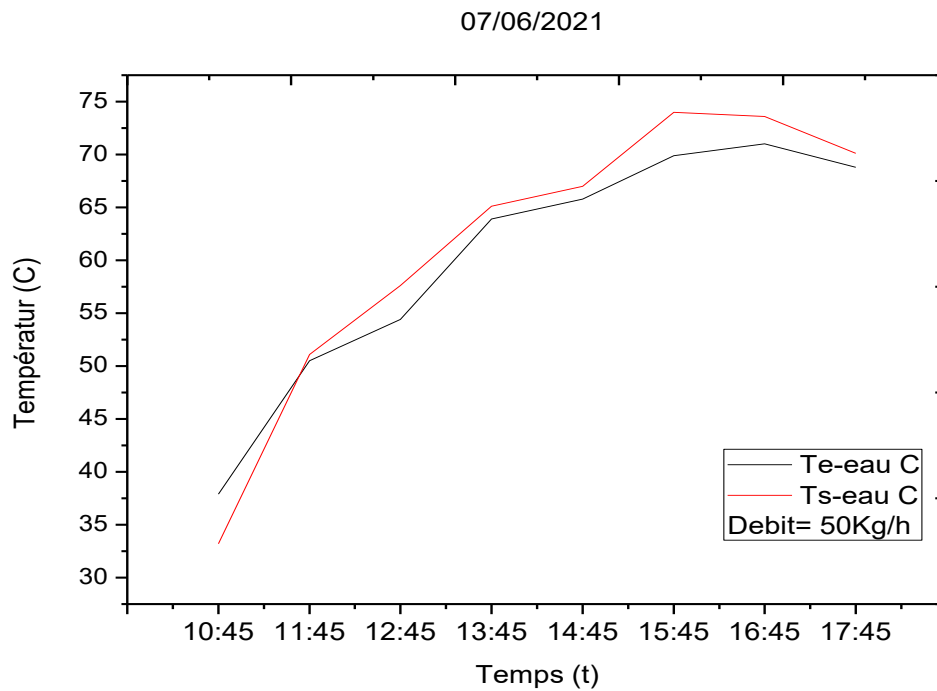


Figure IV.3: Variation des températures à l'entrée et à la sortie de l'eau en fonction du temps pour un débit volumique égale à 50 Kg/h.

Chapitre IV : Résultats et discussions

Les figures (IV.1, IV.2, IV.3) montrent l'évolution des températures d'entrée et sortie de l'eau mesurées aux niveaux de capteur solaire en fonction du temps pour trois valeurs de débit d'eau de 150 kg/h, 100 kg/h et 50kg/h respectivement sous différentes conditions météorologiques

Comme le montre les figures mentionnées ci-dessus, l'écart de température entre l'entrée et la sortie du capteur est pratiquement minimal de quelques degrés respectivement pour les trois valeurs de débits, du à un chargement très lent entre le fluide caloporteur et le milieu du stockage via un échangeur de chaleur serpentin, comme le montre la figure (VI.1), où le chargement de l'enceinte pour le débit de 150 kg/h est effectué entre 09:15 jusqu'à 16 H, où la température de sortie de l'eau du capteur solaire augmente progressivement de 37,4 à 64,1 °C, par contre pour un débit égale à 100kg/h Figure IV.2 la température de sortie évolue de 45 à 59,7 °C, alors que pour le troisième débit de 50 Kg/h la température varie de 33,2 jusqu'à 70,1°C.

Quant à variation du rayonnement solaire durant les journées de l'expérimentation du 31/05/2021, le 06/06/2021 et 07/06/2021, on a enregistré des valeurs maximales du flux solaires vers le midi qui sont respectivement de l'ordre de 892, 890, 940 W/ m², avec des variations brusques dû aux passages nuageux.

IV.3. Evolution du rendement :

Les figures (IV.4, IV.5 et , IV.6) montrent la variation temporelle du rendement thermique de capteur en fonction du temps pour trois débits différents

On remarque que le rendement thermique croit avec l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire jusqu'à atteindre sa valeur maximale de 48% entre 09h et 10h puis commence à diminuer jusqu'à atteindre la valeur 33% vers 16h, cas avec le débit massique de 150 Kg/h figure(IV.4).

Pour les deux autres figure, les courbes du rendement suivent des allures aléatoires à cause des perturbations climatiques et des passages des nuages au courant de toute la journée comme le montre les figures (IV.5 , IV.6), où on a enregistré des fluctuations du rendement thermique entre les valeurs 5 et 25% de 08 :30 jusqu'à 15:30 de l'après midi.

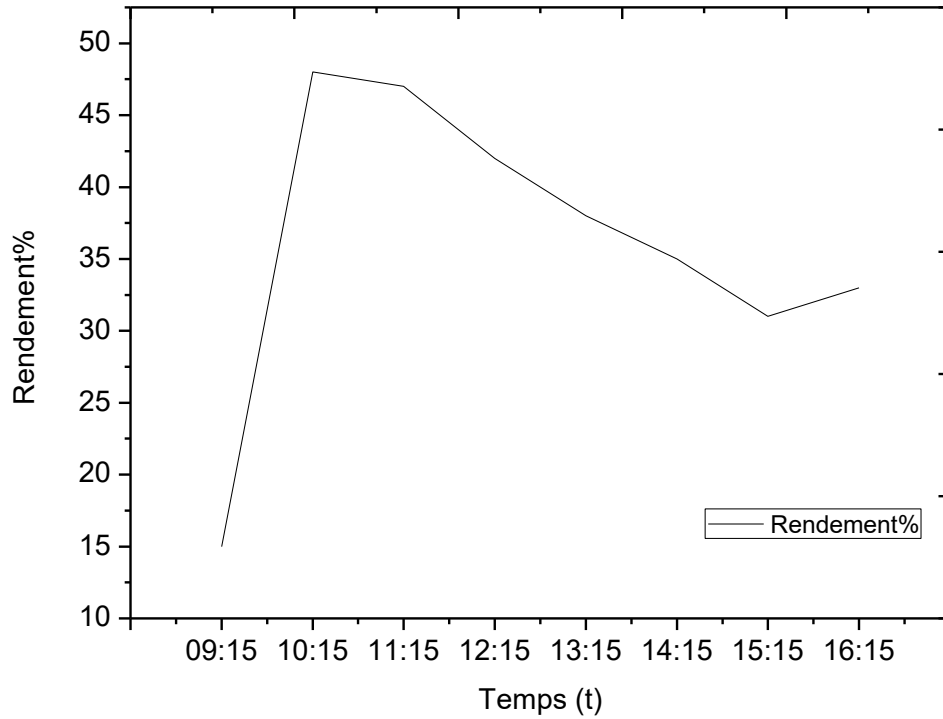


Figure IV.4 : Evolution du rendement thermique pour un débit d'eau égal à 150 kg/h.

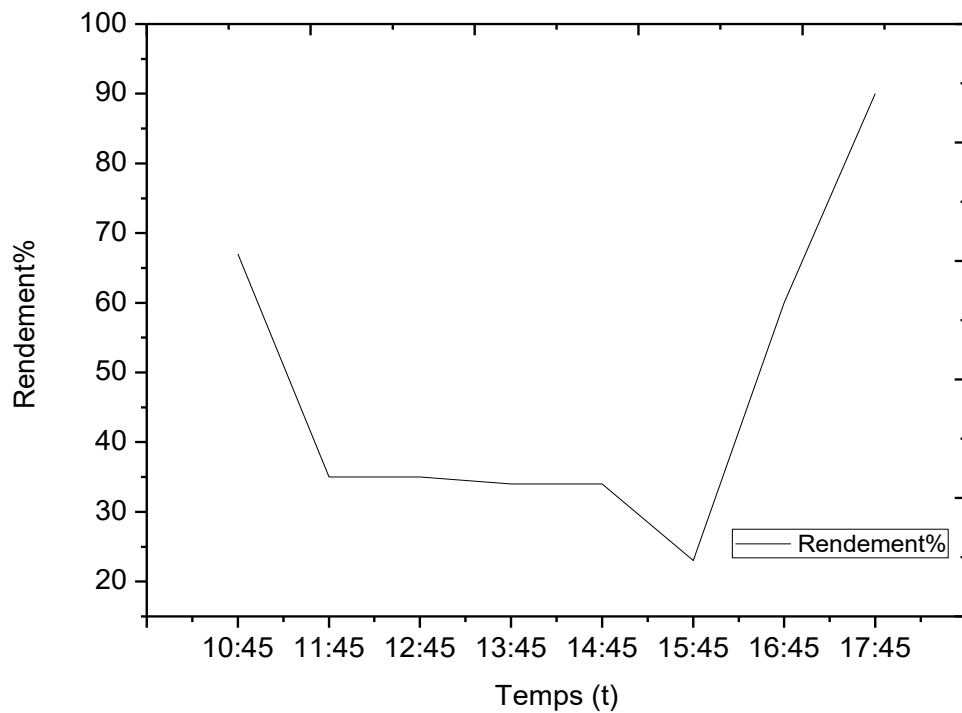


Figure IV.5 : Evolution du rendement thermique pour un débit d'eau égal à 100 kg/h.

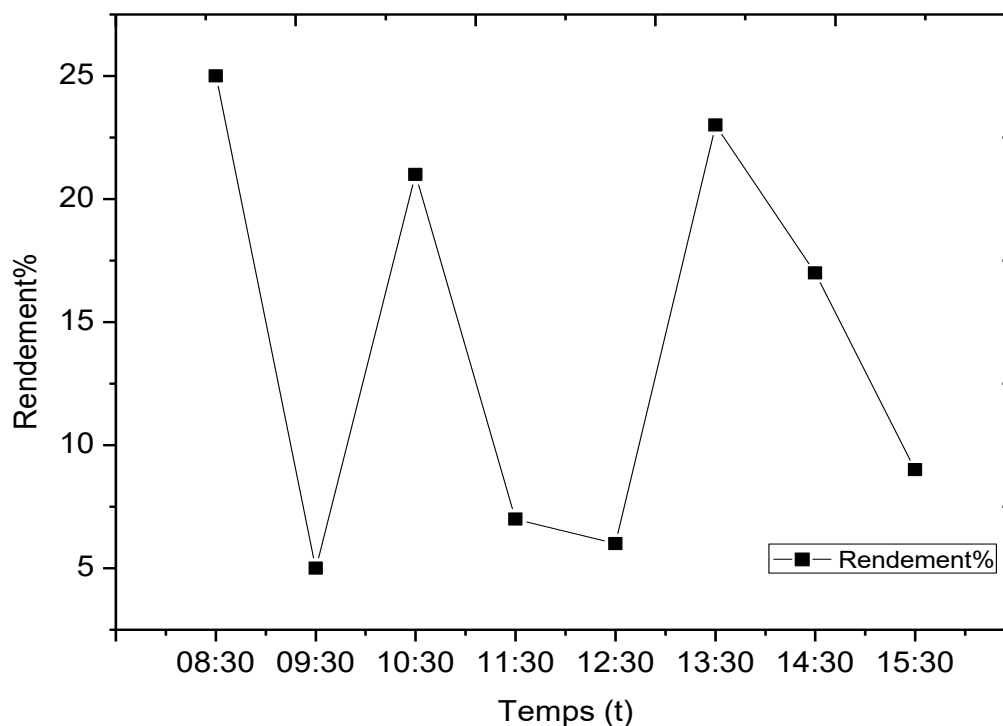


Figure IV.6 : Evolution du rendement thermique pour un débit d'eau égal à 50 kg/h.

IV.5. Evolution du rayonnement solaire et la température de sortie :

Les figures (IV.7, IV.8 et IV.9)) représentent la variation temporelle de température sortie de l'eau et du rayonnement solaire global reçu sur le plan capteur solaire incliné en fonction du temps respectivement pour trois valeurs de débits massiques égale à 150kg/h, 100 kg/h et 50 kg/h. Nous notons que la température de l'eau augmente avec l'augmentation de du rayonnement qui atteindra sa valeur maximum vers l'approche du midi de jour où le rayonnement solaire tombe perpendiculairement sur la surface de captation incliné et ajustée convenablement en fonction de la latitude de la région de Biskra,

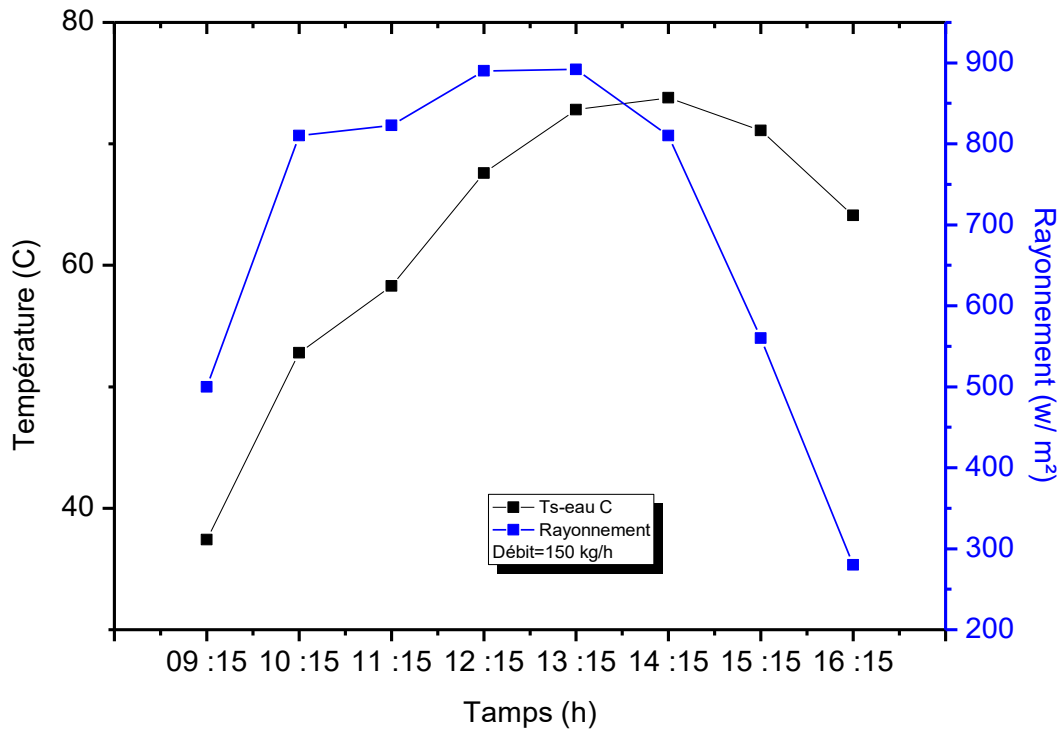


Figure IV.7 : Evolution du rayonnement solaire et température de l'eau sortie pour un débit d'eau égal à 150 kg/h.

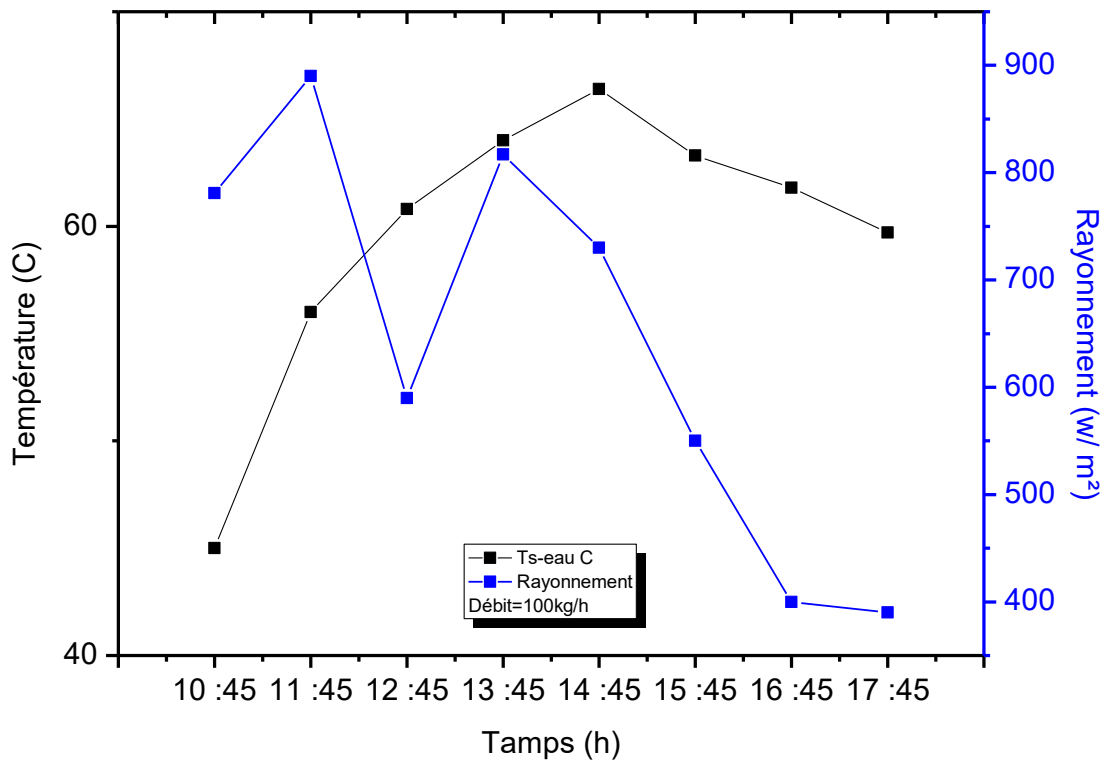


Figure IV.8 : Evolution du rayonnement solaire et température de l'eau sortie pour un débit d'eau égal à 100 kg/h.

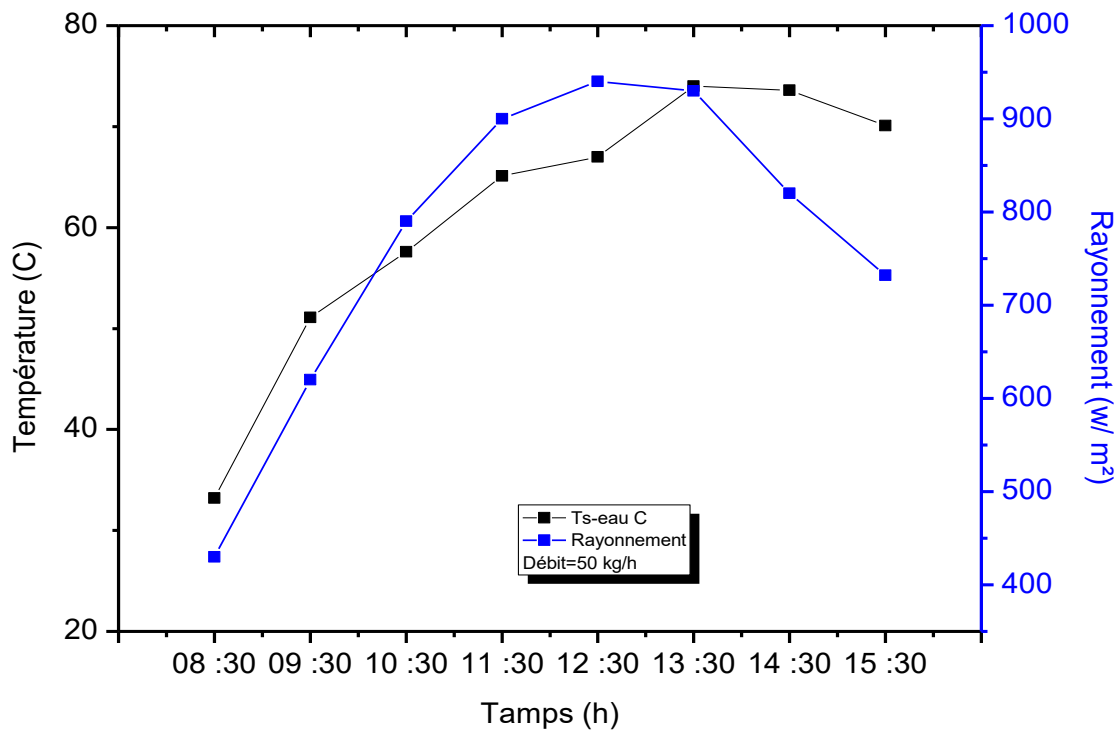


Figure IV.9: Evolution du rayonnement solaire et température de l'eau sortie pour un débit d'eau égal à 50 kg/h.

IV.6. Résultats de calcul des performances thermiques de l'installation :

Il s'agit des résultats expérimentaux obtenus durant trois jours, lors des manipulations effectuées sur l'installation mise au point, réalisé et conçu dans le Hall technologique de département de génie mécanique.

Heure	Capteur solaire			
	Ig W/m²	Te-eau C	Ts-eau C	rendement
09 :15	500	36.9	37.4	15
10 :15	810	50.9	52.8	48
11 :15	823	55.8	58.3	47
12 :15	890	65.2	67.6	42
13 :15	892	70.6	72.8	38
14 :15	810	72.0	73.8	35
15 :15	560	71.9	71.1	31
16 :15	280	63.5	64.1	33

Tableaux IV.1 : Performances thermiques de capteur solaire calculés pour un débit d'eau = 150 kg/h.

Chapitre IV : Résultats et discussions

Heure	Capteur solaire			
	Ig W/m ²	Te-eau C	Ts-eau C	rendement
10 :45	781	40	45	67
11 :45	890	53	56	35
12 :45	590	58.5	60.8	35
13 :45	817	61.3	64	34
14 :45	730	64	66.4	34
15 :45	550	62.1	63.3	23
16 :45	400	59.5	61.8	60
17 :45	390	56.3	59.7	90

Tableaux IV.2 : Performances thermiques de capteur solaire calculés pour un débit d'eau = 100 kg/h.

Heure	Capteur solaire			
	Ig W/m ²	Te-eau C	Ts-eau C	rendement
08 :30	430	31.1	33.2	25
09 :30	620	50.5	51.1	5
10 :30	790	54.4	57.6	21
11 :30	900	63.9	65.1	7
12 :30	940	65.8	67	6
13 :30	930	69.9	74	23
14 :30	820	71	73.6	17
15 :30	732	68.8	70.1	9

Tableaux IV.3 : Performances thermiques de capteur solaire calculés pour un débit d'eau = 50 kg/h.

IV.7. Conclusion :

A travers cette étude expérimentale on a pu étudier les effets de certains paramètres sur le comportement thermique de notre installation expérimentale, qui est spécifiquement conçue pour produire de la chaleur à partir de l'énergie solaire, destinée au chauffage de l'eau, d'autre part, de déterminer expérimentalement les principaux paramètres de performances tels que la quantité de chaleur journalière produite, l'efficacité et le rendement thermique de l'installation.

Il est important de noter que les résultats obtenus montrés sous formes des courbes selon le prototype étudié sont basés sur des expériences réelles. A travers cette étude on a pu montrer qu'il est possible de produire de l'énergie thermique grâce à l'exploitation de l'énergie solaire disponible avec des moindres coûts possibles.

Conclusion

générale

Conclusion Générale

Conclusion générale

Ce travail a pour but la réalisation d'un capteur solaire plan à eau. Il a été réalisé au niveau de la faculté de technologie au sein de l'atelier de génie mécanique de l'université de Biskra.

Ce travail nous a permis d'étudier le comportement thermique du fluide caloporteur circulant à l'intérieur du capteur solaire et de déduire son rendement.

L'énergie thermique reçue est collectée et absorbée pour ensuite être utilisée au chauffage du fluide caloporteur pour l'utilisation, dont les quantités de chaleur récupérée dépendent des bonnes performances et de la conception du capteur.

L'étude de l'influence du flux solaire sur les performances thermiques et par conséquent sur les températures prélevées en différents points du capteur consiste la partie importante de ce travail. Nous avons pu observer une augmentation de la température à l'intérieur du capteur jusqu'à 74°. Ce résultat pourrait être fortement augmenté en minimisant les pertes vers l'avant du capteur et en éliminant les pertes par convection.

D'après les résultats obtenus des conductances thermiques par rapport à la variation de l'irradiation solaire, on constate que cette dernière varie peu. On peut donc conclure que la conductance globale thermique du capteur est presque constante.

La température d'entrée était au début 40° elle atteint 45°C pendant une demi-heure au-delà, cette température varie peu pour atteindre 74°C ce qui conduit à conclure que le capteur solaire est à l'état de saturation et aucune augmentation n'est constatée par la suite. Malgré cela, une différence de température de 05° C entre l'entrée et la sortie est toujours prélevée.

A travers cette étude on a pu montrer qu'il est possible de produire de l'énergie thermique grâce à l'exploitation de l'énergie solaire disponible avec des moindres coûts possibles.

Le banc d'essai réalisé peut être exploité par les étudiants au niveau du département de génie mécanique pour étudier le principe de la production de l'énergie thermique à partir de l'énergie solaire en utilisant les capteurs solaires plans à eau et l'enceinte de stockage de la chaleur

Bibliographie

- [01] **J.M. Chasseriau**, “ *Conversion Thermique du Rayonnement Solaire*”, Dunod, France, 273 pages, 1984.
- [02] **R. Bernard, G. Menguy, M. Schwartz** “*Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications*”, Technique et documentation, Paris, 1983
- [03] La plateforme du chauffe-eau solaire individuel en région Provence-Alpes- Côte d’Azur, vivonsolairenpaca.fr, cahier des charges, 2013
- [04] **ADEME (2000)**: “*Plan soleil 2000-2006*”, 14 p. Disponible en ligne <http://www.ademe.fr>
- [05] **C. Cardonnel**: Solaire actif et passif (Conception, bilan thermique, habitat), Les éditions parisiennes, CFP Chaud Froid Plomberie, s.l, 1983
- [06] **J, Bernard**. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [07] **A, Sfeir ; G, Guarracino**. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981).
- [08] **S, A, Hakem ; N, Kasbadji-Merzouk ; M, Merzouk**. Performances journalières d’un chauffe-eau solaire, Revue des Energies Renouvelables, p 153-162. (2008)
- [09] **B.hadjer**. Etude numérique et expérimentale d'un capteur solaire thermique en Boussaâda. Mémoire de Master, la faculté des sciences-département de physique de M’SILA, (2017).
- [10] **N, Bellel**. Etude des transferts thermiques le long d’un tube cylindrique appliquée à deux géométries ; thèse de doctorat, Université de Constantine. (2004).
- [11] **ADEME** (Agence De L’environnement Et De La Maitrise De L’énergie). Eau Chaude solaire, Manuel pour la conception, le dimensionnement et la réalisation des installations collectives, Avril **2002**.
- [12] **EFTIMIE Elena** „Computer program for the solar irradiance evaluation–simulated data validation“ Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume IX (XIX), NR2,**2010**.
- [13] Potentiel solaire en Algérie, bureau d’étude et réalisation (sundous), 2015.
- [14] **B.abd Elhafid ;A.kamel**. etude et réalisation d’un capteur solaire plan a eau. Mémoire de Master, la faculté des sciences-département de Génie Mécanique de Tlemcen, (2014).
- [15] **Y. JANNOT**, Thermique solaire, janvier 2008.

ملخص :

نهتم في هذا العمل بت تركيب وتجريب جهاز لإنتاج الماء الساخن بواسطة الطاقة الشمسية عن طريق لاقط شمسي مائي مسطح مدمج في حاوية تخزين الحرارة.

لتسليط الضوء على تأثير إعدادات التشغيل، مثل الإشعاع الشمسي، و التدفق الكتلي للماء داخل قناة المجمع الشمسي، أجريت العديد من التجارب في ظل ظروف مناخية مختلفة، مما مكننا من متابعة تطور درجات الحرارة عند المخرج بدلالة الزمن و كمية الحرارة الناتجة والكفاءة الحرارية و معامل الأداء للجهاز.

الكلمات المفتاحية : لاقط شمسي مائي، مبادل حراري ، الطاقة الشمسية، الأداء، الكفاءة الحرارية .

Résumé :

Dans ce travail on s'intéresse à la réalisation et l'expérimentation d'une installation de production de l'eau chaude par énergie solaire à l'aide d'un capteur solaire plan à eau intégré à une enceinte de stockage de la chaleur.

Pour mettre en évidence l'effet des paramètres de fonctionnement, telles que l'éclairement solaire incident, le débit massique de l'eau en circulation dans le capteur, de nombreuses expériences ont été réalisées sous différentes conditions climatiques, ce qui nous a permis de suivre en fonction du temps l'évolutions des températures de sortie, la quantité de chaleur produite, le rendement thermique et le coefficient de performance de l'installation.

Mots clés : capteur solaire plan à eau, échangeur de chaleur, énergie solaire, performances. rendement thermique.

Abstract

In this work we are interested in the realization and the experimentation of a hot water production installation intended by solar energy by means of a solar water plan sensor integrated in a heat storage enclosure.

To highlight the effect of operating parameters, such as incident solar irradiance, the mass flow rate of circulating water in the sensor, many experiments were carried out under different climatic conditions, which enabled us to follow, as a function of time, the evolution of the outlet temperatures, the quantity of heat produced, the thermal efficiency and the performance coefficient of the installation.

Key words: solar captor, water plan, heat exchanger, solar energy, performance, thermal efficiency.