

People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Mohamed Boudiaf University of M'sila
Faculty of Technology

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المسيلة
كلية التكنولوجيا



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Energétique

Présenté par :

Boukharouba Amira & Bachiri Rania & Latrag Oussama

Thème

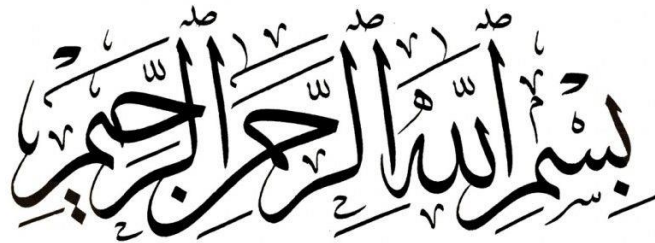
Réalisation d'un Capteur Solaire Thermique

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
IHEDADEN Razika	Pr	Président
ZERGANE Said	MCA	Encadreur
BERKACHE Amar	MCA	Examinateur

Année Universitaire : 2022 / 2023

N° d'ordre : GM/...../2023



Remerciements

Merci Tout d'abord, nous remercions Dieu notre Créateur de nous avoir donné la force de faire ce travail. Nous tenons à exprimer toute la gratitude à notre superviseur

DR. ZERGANE SAID

Pour leur acceptation de diriger ce projet fin d'étude également pour ses précieux conseils et encouragements. Tous les étudiants du Département de génie mécanique Pour tous les enseignants du département de génie mécanique À tous ceux qui nous ont aidés ou aidés pendant notre travail, sans oublier les grands remerciements aux parents. Expriment notre gratitude Pour tout ce que nous disons, merci !

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les modes de transfert de chaleur

Figure I.1 : Modes de transfert de chaleur	03
Figure I.2 : Conduction dans une couche élémentaire de mur plan	04
Figure I.3 : Schématisation du mur monocouche	05
Figure I.4 : Schématisation du mur multicouches	06
Figure I.5 : Gradient thermique dans la couche laminaire	07
Figure I.6 : Facteurs de forme de deux surfaces rectangulaires et parallèles de mêmes dimensions	11
Figure I.7 : Facteurs de forme de surfaces rectangulaires	11

Chapitre II : Capteur thermique plan

Figure II.1 : Description panneau solaire	16
Figure II.2 : Collecteurs solaires à tubes sous vide	17
Figure II.3 : Solaire thermique à concentration	17
Figure II.4 : Panneaux solaires à air	18
Figure II.5 : Panneaux solaires hybrides	18
Figure II.6 : Constituants du panneau solaire thermique	19
Figure II.7 : Installation d'un capteur Solaire thermique	20
Figure II.8 : Schéma de principe d'un capteur plan vitré	23
Figure II.9 : Bilan thermique d'un capteur solaire	23

Chapitre III : réalisation du capteur solaire

Figure III.1 : Capteur solaire réalisé	28
Figure III.2 : Capteur solaire à thermosiphon	29
Figure III.3 : Verre du capteur solaire	30
Figure III.4 : L'absorbeur de CST	31
Figure III.5 : Type de collage absorbeur serpentine	32
Figure III.6 : Serpentine du capteur solaire plan	32
Figure III.7 : Isolant thermique en polystyrène utilisé	33
Figure III.8 : Capteur solaire plan réalisé	34
Figure III.9 : L'analogie électrique illustre les échanges thermiques entre le capteur et l'environnement.	35
Figure III.10 : Concentrateurs solaire à ébullition directe	35

Figure III.11 : Capteur parabolique avec moteur Stirling	36
Figure III.12 : Schémas explicatif de la CSCS troisième type Pour élaborer le concentrateur surfacique	37
Figure III.13 : Réflexion et réfraction	37
Figure III.14 : Lois de la réflexion	38
Figure III.15 : Thermomètre électronique	39
Chapitre IV : Résultats et discussions	
Figure IV.1 : Température de sortie du capteur le 09/06/2023 ($e=3$ mm)	43
Figure IV.2 : Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 09/06/2023 ($e=3$ mm)	43
Figure IV.3 : Température de sortie du capteur le 10/06/2023 ($e=4$ mm)	43
Figure IV.4 : Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 10/06/2023 ($e=4$ mm)	44
Figure IV.5 : Température de sortie du capteur le 11/06/2023 ($e=6$ mm)	44
Figure IV.6 : Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 11/06/2023 ($e=6$ mm)	44
Figure IV.7 : Température de sortie du capteur le 29/05/2023 ($e=3$ mm)	45
Figure IV. 8 : Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 29/05/2023 ($e=3$ mm)	45
Figure IV.9 : Température de sortie du capteur le 30/05/2023 ($e=4$ mm)	46
Figure IV.10 : Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 30/05/2023 ($e=4$ mm)	46
Figure IV.11 : Température de sortie du capteur le 01/06/2023 ($e=6$ mm)	46
Figure IV.12 : Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 01/06/2023 ($e=6$ mm)	47
Figure IV.13 : Température de sortie du capteur le 5/06/2023 ($e=3$ mm)	47
Figure IV.14 : Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 5/06/2023 ($e=3$ mm)	48
Figure IV.15 : Température de sortie du capteur le 8/06/2023 ($e=4$ mm)	48
Figure IV.16 : Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 8/06/2023 ($e=4$ mm)	48
Figure IV.17 : Température de sortie du capteur le 6/06/2023 ($e=6$ mm)	49
Figure IV.18 : Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 6/06/2023 ($e=6$ mm)	49

Liste des tableaux

Chapitre III: Etat de l'art réalisation du capteur solaire

Tableau III.1	Dimensions dut solaire thermique	30
Tableau III.2	Matières Utilisées dans la réalisation	33
Tableau III.3	Le prix global du capteur réalisé	39

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	01
Chapitre I Généralités sur les modes de transfert de chaleur	
Introduction	02
I.1. Modes de transfert de chaleur	03
I.1.1. Conduction	03
I.1.2. Loi de Fourier	04
I.1.3. Résistance thermique	04
I.2. Convection	06
I.2.1. Coefficient d'échange par convection	07
I.2.2. Convection forcée	07
I.2.3. Convection naturelle	09
I.3. Transfert par rayonnement	09
I.3.1. Puissance échangée entre deux corps	10
I.3.2. Facteur de forme géométrique, exemples simples	11
REFERENCE	13
Chapitre II Capteur solaire thermique plan	
Introduction	15
II.1. Description panneau solaire	15
II.2. Type de capteurs solaires thermiques	16
II.2.1. Capteurs solaires à plaques plans	16
II.2.2. Collecteurs solaires à tubes sous vide	17
II.2.3. Collecteurs solaires à concentration	17
II.2.4. Capteurs solaires à air	18
II.2.5. Capteurs solaires hybrides	18
II.3. Constituants du capteur panneau solaire thermique	19
II.4. Installation d'un capteur solaire thermique	20
II.5. Principe de fonctionnement	22
II.6. Le bilan énergétique	23
REFERENCE	26
Chapitre III Réalisation du capteur solaire	
Introduction	28
III.1. Principaux Description d'un capteur solaire plan	28
III.1.1. Réalisation d'un capteur solaire	29

III.1.1.1 Couverture verrière (verre)	29
III.1.1.2. L'absorbeur	30
III.1.1.3. Serpentine	31
III.1.1.4. L'isolation thermique	33
III.1.1.5. Composants standards	33
III.2. Le concentrateur	35
III.2.1. Concentrateur cylindro-parabolique	35
III.2.2 Concentrateur parabolique	36
III.2.3. Le troisième type de concentrateur proposé	36
III.2.3.1. Lois de SNEL-DESCRATES	37
III.2.3.2. Réflexion	38
III.3. Appareillage	38
III.3.1. Le thermomètre	38
III.3.2. Le prix global de capteur solaire	39
Chapitre VI Résultats et discussions	
Introduction	42
IV.1. Condition d'essai	42
IV.2. Résultats obtenus	42
IV.2.1. Résultats obtenus de capteur solaire plan vitré	42
IV.4. Comparaison :	50
Résumé	51

INTRODUCTION GENERALE

Très bientôt, l'énergie solaire sera la principale source d'énergie de la planète Terre pour de nombreuses raisons :

- L'épuisement des ressources énergétiques non renouvelables
- Les dommages qu'elle cause à l'environnement.

Donc, comme alternatif aux énergies fossiles, le soleil comme source d'énergie renouvelable, offre une disponibilité toute au long de l'année. L'énergie solaire est une énergie propre, durable, inépuisable et n'émet pas des gaz à effet de serre. L'Algérie possède l'un des gisements d'énergie solaire les plus élevés au monde, par sa situation géographique, avec plus de 2500 heures d'ensoleillement en moyenne annuelle sur une grande partie de son territoire.

L'Algérie a également lancé un plan national pour l'énergie solaire; photos-voltaïque et thermique. Parmi les différentes utilisations de l'énergie solaire, est l'utilisation de capteurs solaires thermiques pour les chauffe-eau traditionnels. Des mesures sont prises pour promouvoir l'utilisation de l'énergie solaire afin de produire de l'eau chaude sanitaire dans les logements sociaux. ou pour chauffer les piscines. Notre objectif principal est de mener une étude et de réaliser un capteur solaire pour le chauffage de l'eau, afin de pouvoir évaluer sa performance thermique de manière scientifique. Nous souhaitons également comprendre son indépendance vis-à-vis du processus, sa puissance et ses rendements, ainsi que les différences liées à l'irradiation solaire et aux pertes thermiques qui en découlent.

Chapitre I

Généralités sur les modes de transfert de chaleur

Introduction

L'exploitation de l'énergie solaire pour des fins domestiques, relève des capteurs solaires de plusieurs technique et scientifiques différentes : l'une produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique, et l'autre produit de l'électricité, c'est l'énergie photovoltaïque. L'énergie solaire est une énergie abondante, renouvelable, inépuisable, propre et disponible, ce sont ces caractéristiques qui ont suscité un grand intérêt à ce type d'énergie après les conséquences néfaste de la surconsommation des énergies classiques telles que ; le pétrole, le gaz naturel et le charbon, l'effet de serre, le réchauffement climatique et la pollution de l'environnement se sont les résultats les plus marquants de l'exploitation de ces énergies fossiles. Malgré le cout d'exploitation lourd au départ (couts de l'installation que ce soit photovoltaïque, thermique ou hybride), qui fait qu'elle n'est pas totalement gratuite. Le transfert de cette énergie nécessite une certaine connaissance sur le gisement, la manière de la quantifier et de l'exploiter ensuite. Dans ce chapitre on se focalise principalement sur l'état de transfert de chaleur [1].

I.1. Modes de transfert de chaleur

Le transfert de chaleur se fait entre deux corps de température différentes, du corps plus chaud vers le corps le plus froid en trois modes différents, conduction, convection et rayonnement comme on peut le voir dans la figure (I.1)

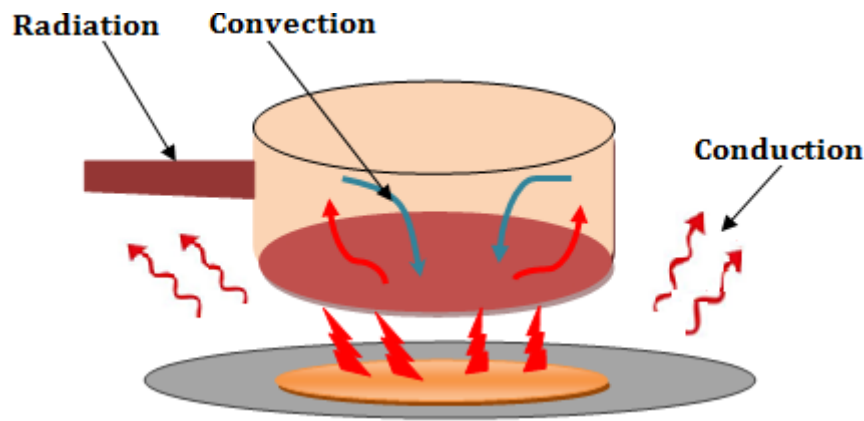


Fig. I.1 Modes de transfert de chaleur

I.1.1. Conduction

Ce mode de transfert de chaleur existe parmi toutes les parties "solides" de la transmission, et c'est le cas le plus simple, cela correspond au transfert de chaleur d'un point chaud vers un point froid dans un solide. A l'échelle microscopique, les atomes de ce corps solide qui

sont en contact de la source chaude, reçoivent une quantité d'énergie, donc, ils sont beaucoup plus excités, cette excitation est transmise aux atomes voisins, et c'est ainsi se propage la chaleur dans ce corps.

I.1.2. Loi de Fourier

Considérons un corps solide, uniforme et isotrope à travers lequel la chaleur circule dans une direction. Considérons une couche à facettes perpendiculaire à la direction x de propagation de la chaleur dans ce milieu, d'épaisseur dx et d'aire S (figure I.2). Les deux plans de cette couche sont des surfaces isothermes le premier est la température $\theta + d\theta$ (avec $d\theta < 0$). Le gradient de température $\frac{d\theta}{dx}$, est la variation de température par unité de longueur lors du déplacement La direction de propagation de la chaleur. La conservation de l'énergie dans le volume défini par dx et A conduit suivante :

$$k \frac{d^2\theta}{dx^2} + Q = \rho C \frac{d\theta}{dt} \quad (\text{I.1})$$

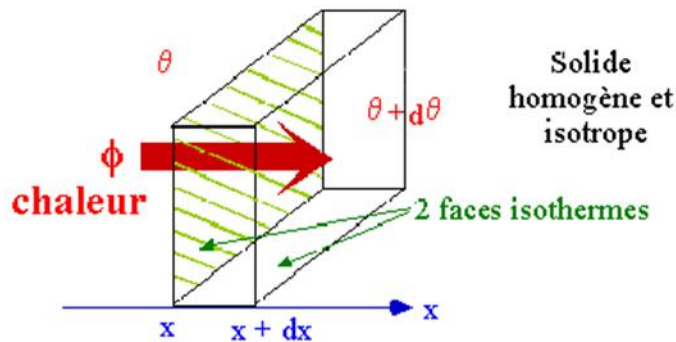


Fig. I.2 Conduction dans une couche élémentaire de mur plan

ρ : est la masse volumique de la pierre (Kg.m^{-3}).

k : est la conductivité thermique de la pierre ($\text{W m}^{-1} \text{°C}^{-1}$). C : est la chaleur spécifique ($\text{J Kg}^{-1} \text{°C}^{-1}$).

t : est le temps caractéristique (s).

La fonction Q de l'équation (I.2) représente la source de la chaleur, les variables indépendantes sont la position x et le temps t .

I.1.3. Résistance thermique

Prenons en compte la situation de la conduction thermique à travers une paroi simple, ayant une conductance constante k et une épaisseur L (voir figure I.3). La température à travers la paroi change de θ_0 (température de la paroi gauche) à θ_L (température de la paroi droite).

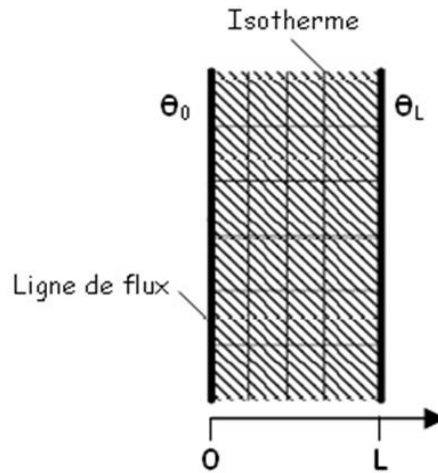


Fig. I.3 Schématisation du mur monocouche.

Équations régissant l'état stable et aucun problème de chauffage interne est:

$$\frac{d^2 \theta}{dx^2} = 0 \quad (\text{I.2})$$

avec pour conditions limites $\begin{cases} x = 0 \rightarrow \theta = \theta_0 \\ x = L \rightarrow \theta = \theta_L \end{cases}$

L'introduction des paramètres et conditions aux limites, la solution de cette équation est comme suit :

$$\theta = \theta_0 + (\theta_L - \theta_0) \frac{x}{L} \quad (\text{I.3})$$

Alors que le flux qui traverse le mur est:

$$\varphi = \frac{k}{L} (\theta_0 - \theta_L) \frac{d\theta}{dx} = -k \quad (\text{I.4})$$

Si la section du mur est A , la quantité de chaleur qui traverse le mur est:

$$\Phi = \frac{kA}{L} (\theta_0 - \theta_L) \quad (\text{I.5})$$

On définit par $\frac{kA}{L}$ la conductance et par $\frac{L}{Ak}$ la résistance thermique du mur.

Pour un mur multicouche (Fig. I.4)

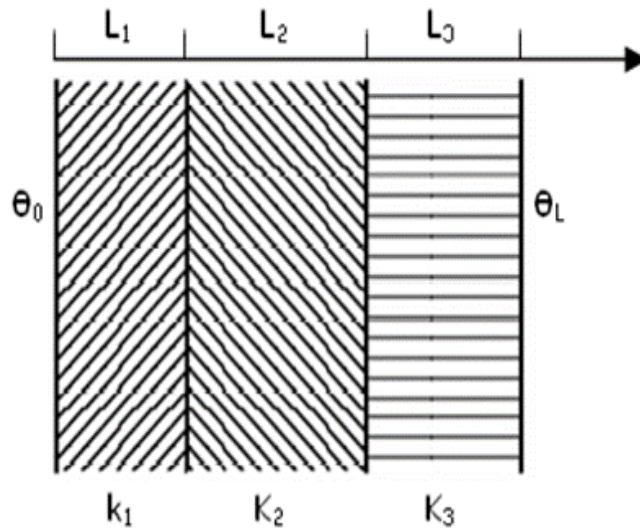


Fig. I.4 Schématisation du mur multicouches.

Les résistances thermiques s'expriment par:

$$R_i = \frac{L_i}{A_i K_i} \quad (\text{I.6})$$

et la quantité de chaleur traversant le mur (Figure 1.3) par :

$$\Phi = \frac{\theta_0 - \theta_L}{\sum R_i} \quad (\text{I.7})$$

I.2. Convection

La convection est le processus par lequel la chaleur est échangée grâce au mouvement des fluides. En ce qui concerne les solides, la conduction est le seul moyen de transférer de la chaleur à travers eux, à moins qu'il ne s'agisse d'un rayonnement à travers des objets transparents. Cependant, pour les liquides, la situation est différente :

- Lorsqu'il n'y a pas de mélange de substances ou que le flux est laminaire, le transfert de chaleur dans les liquides se produit par conduction
- Lorsqu'un écoulement turbulent entre en contact avec une paroi solide, une fine couche de liquide visqueux en mouvement, appelée film laminaire, se forme le long de la paroi. L'épaisseur de ce film laminaire dépend des propriétés physiques du liquide et de la nature de l'écoulement
- Dans la direction perpendiculaire aux parois (le long des lignes de courant), il n'y a pas de mélange de substances, et la chaleur ne peut être transférée que par conduction
- En dehors de la couche laminaire, la chaleur est transférée par le mélange de particules liquides, ce qui entraîne une égalisation rapide de la température.

I.2.1. Coefficient d'échange par convection

Le flux de chaleur de conduction à travers la couche laminaire (Fig. I.5), peut être exprimé en utilisant la loi de Fourier comme suit :

$$\varphi = \frac{\lambda}{e} S (\theta_m - \theta) \quad (\text{I.8})$$

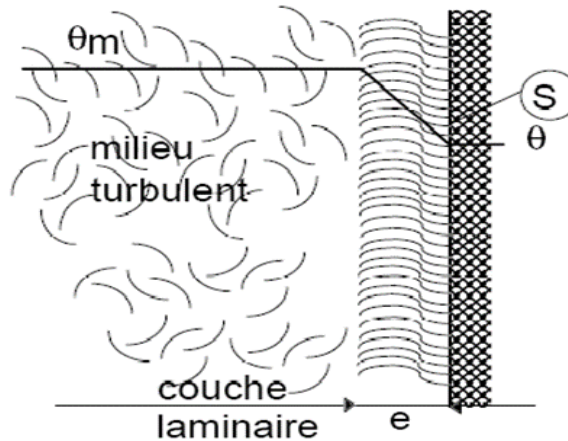


Fig. I.5 Gradient thermique dans la couche laminaire.

Mais en général on ne connaît pas e , et de plus, l'épaisseur du film laminaire dépend de la force des régions turbulentes adjacentes. Le flux de chaleur s'exprime alors :

$$\varphi = h S (\theta_m - \theta) \quad (\text{I.9})$$

$h(\text{W/m}^2\text{°C})$ est appelé coefficient d'échange convectif.

Le transfert de chaleur par convection est compliqué car il résulte de la superposition de deux phénomènes :

La conduction entre les particules liquides qui se rejoignent, Mélange de ces particules dû au mouvement de masse du liquide. Si ce mouvement est causé uniquement par des différences de température (c'est-à-dire des différences de densité), alors la convection est naturelle Si ce mouvement est provoqué par une action mécanique (pompe, ventilateur, pression...), il s'agit d'une convection forcée.

I.2.2. Convection forcée

En l'absence de convection naturelle, (le coefficient d'échange h pour la convection est indépendant de la différence de température) entre la paroi et le fluide ($\theta_m - \theta$) mais il dépend des six grandeurs suivantes

- U_m vitesse moyenne du fluide ($\text{W m}^{-2} \text{K}$).

- ρ masse volumique du fluide (Kg m^{-3}).
- C_p chaleur spécifique du fluide ($\text{J Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$).
- μ viscosité dynamique du fluide (Pa s).
- λ conductivité thermique du fluide ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$).
- D dimension caractéristique de la surface d'échange (m).
- A partir de ces grandeurs, on définit les nombres sans dimension suivant:
- Nombre de Nusselt

$$Nu = \frac{h D}{\lambda} \quad (\text{I.10})$$

- Nombre de Reynolds

$$Re = \frac{\rho U m D}{\mu} \quad (\text{I.11})$$

- Nombre de Prandtl

$$Pr = \frac{\mu C_p}{\rho} \quad (\text{I.12})$$

Des expériences sur le transfert de chaleur par convection dans une situation spécifique donnent des résultats exprimés sous forme d'une corrélation mathématique entre les deux types de convection (naturelle ou forcée). Le nombre de Reynolds, quant à lui, caractérise l'état d'écoulement du fluide.

Si $Re < 2000$, l'écoulement est laminaire.

Si $2000 < Re < 3000$, l'écoulement est intermédiaire. Si $Re > 3000$, l'écoulement est turbulent.

Pr : le nombre de Prandtl caractérise les propriétés thermiques du fluide.

Nu : le nombre de Nusselt caractérise l'échange thermique entre le fluide et la paroi.

Exemple : plaque verticale, oblique ou horizontale, Il y a généralement deux arguments dans la littérature :

$$Nu = \frac{3}{2} Re^{0.5} Pr^{1/3} \quad (\text{I.13})$$

où

$$Nu = \frac{0.036 Re^{0.5} Pr}{1 + 0.83 Pr^{1/3} - 1} \quad (\text{I.14})$$

I.2.3. Convection naturelle

Le déplacement du liquide est causé par les variations de densité résultant de l'échange de chaleur entre le liquide et les parois. La force d'Archimède est responsable de la mise en mouvement d'un fluide, car sa densité dépend de sa température. La convection forcée est considérée négligeable lorsque le rapport $Gr/Pr_2 < 100$.

$$Nu = C (Gr Pr)^n \quad (\text{I.15})$$

avec

$$Gr = \frac{\beta g \Delta T \rho^2 L^3}{\mu^2} \quad (\text{I.16})$$

Si la convection est laminaire $Gr Pr < 10^9$ et donc $n = 1/4$

Si la convection est turbulente $Gr Pr > 10^9$ et donc $n = 1/3$

Exemple: plaque plane verticale ou horizontale de longueur L et de température uniforme.

Si la convection est laminaire

$$Nu = 0.53 (Gr Pr)^{1/4} \quad (\text{I.17})$$

Si la convection est turbulente

$$Nu = 0.104 (Gr Pr)^{1/3} \quad (\text{I.18})$$

I.3. Transfert par rayonnement

Les surfaces des objets émettent de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique, surtout lorsqu'ils sont très chauds. Lorsqu'ils sont exposés au rayonnement, ils absorbent une partie de celui-ci et le convertissent en chaleur. Le rayonnement est un processus de transfert de chaleur qui ne nécessite pas de support matériel. Ainsi, lorsque deux corps se font face, l'un chaud et l'autre froid, même s'ils sont séparés par le vide, la chaleur est transférée du corps chaud vers le corps froid par le biais du rayonnement. Le corps chaud émet un flux de chaleur φ_1 et absorbe une partie de l'émission provenant du corps froid, représentée par le flux de chaleur φ_2 . Si $\varphi_1 > \varphi_2$, cela signifie que l'équilibre des flux conduit à un transfert d'énergie du corps chaud vers le corps froid. En revanche, l'équilibre des flux peut se produire dans le cas de corps froids qui émettent moins d'énergie qu'ils n'en absorbent.

On définit le coefficient d'absorption

$$\alpha = \frac{\text{flux absorbé}}{\text{flux incident}} \quad (\text{I.19})$$

Coefficient d'émission

$$\varepsilon = \frac{\text{flux émis}}{\text{flux incident}} \quad (\text{I.20})$$

Coefficient de réflexion

$$\rho = \frac{\text{flux réfléchi}}{\text{flux incident}} \quad (\text{I.21})$$

I.3.1. Puissance échangée entre deux corps

Entre deux corps noirs, l'un chaud (température T_1) et l'autre froid (température T_2), se faisant exactement face (c'est-à-dire que tout le flux émis par l'un est reçu par l'autre),

Le flux net d'échange s'écrit :

$$\Phi = \text{flux émis} - \text{flux absorbé} = S \sigma T_1^4 - T_2^4 \quad (\text{I.22})$$

σ : constante de Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (W.m}^{-2}.\text{k}^{-4}\text{)}$

Si les deux corps ne sont pas en vis-à-vis total, le flux net échangé entre deux corps

S'écrit:

$$\Phi = S_1 F_{12} \sigma T_1^4 - T_2^4 \quad (\text{I.23})$$

T : température de la surface (K).

$F_{1,2}$: facteur de forme entre les surfaces S_1 et S_2 .

S : aire de la surface (m^2)

Φ : flux de rayonnement à grande longueur d'onde entre les surfaces S_1 et S_2 (W).

Où $F_{1,2}$ est un nombre appelé facteur de forme, qui se rapporte à la géométrie considérée et à l'émissivité des deux objets.

Évaluez le facteur de forme ou le facteur d'angle lié au transfert de chaleur radiatif entre deux surfaces. F_{ij} (facteur de forme) est une grandeur purement géométrique qui ne dépend pas de la nature ou de la température des deux surfaces. On peut aussi interpréter F_{ij} comme la

probabilité qu'un rayon issu de S_i soit intercepté par S_j . Pour différentes surfaces, on définit le facteur de forme commun entre deux surfaces S_i et S_j :

$$Q_{ij} = S_i F_{ij} \sigma (T_1^4 - T_2^4) = S_j F_{ji} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{I.24})$$

Q_{ij} : Flux de rayonnement à ondes longues entre les surfaces i et j Si le coefficient d'émission ε pour le corps humain est différent du facteur F_{ij} , on peut supposer :

$$F_{ij} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_i} - 1 + \frac{1}{F_{ji}} + \frac{S_i}{S_j} \frac{1}{\varepsilon_i} - 1} \quad (\text{I.25})$$

L'échange de rayonnement entre deux surfaces quelconques d'un habitat implique deux facteurs distincts, l'angle sous lequel chaque surface est vue par l'autre et leurs propriétés d'émission et d'absorption.

I.3.2. Facteur de forme géométrique, exemples simples

Le facteur de géométrie dépend uniquement de la géométrie et de la disposition relative des surfaces S_i :

$$S_i F_{ij} = S_j F_{ji} \quad (\text{I.26})$$

$$\sum_{j=1}^{i=n} F_{ij} = 1 \quad (\text{I.27})$$

n : le nombre de surfaces entourées par la surface i .

Ces deux rapports peuvent être utilisés pour déterminer le facteur de forme de diverses surfaces. Donc, si les surfaces S_i et S_j sont planes, elles ne peuvent pas rayonner vers elles-mêmes car elles ne sont pas convexes. Le facteur de forme entre deux surfaces planes et parallèles rectangulaires (ou carrées)

Le facteur de forme entre deux surfaces rectangulaires (ou carrées) planes et parallèles, centrées et de même taille $x = x' = y = y'$: rectangles de même taille.

$$F_{12} = \frac{1}{2\pi x^2} [F(2x, 2x) - F(2x, 0) - F(0, 2x)] \quad (\text{I.28})$$

Nous montrons sur la Fig. (1.6) quelques courbes qui donnent les facteurs de forme de deux surfaces rectangulaires égales parallèles et opposées représentant les équations précédentes

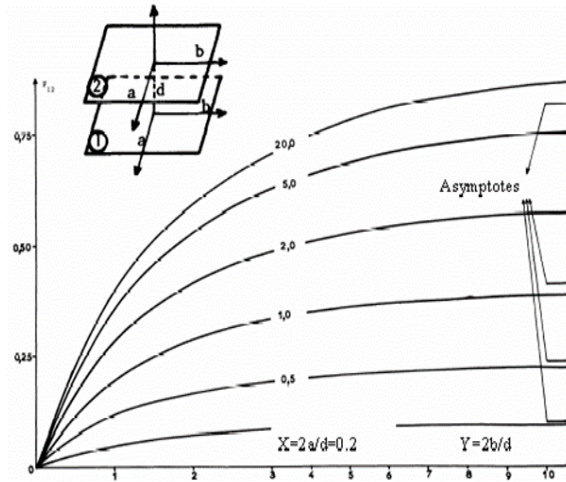


Fig. I.6 Facteurs de forme de deux surfaces rectangulaires et parallèles de mêmes dimensions

Les facteurs de forme de 1 à 2 sont calculés à partir de la figure I.7.

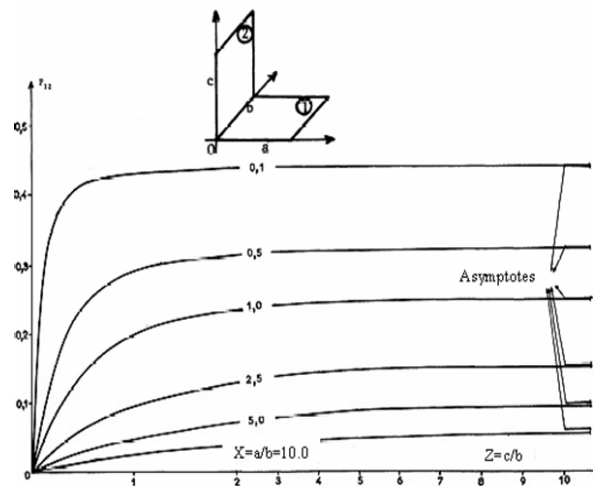


Fig. I.7 Facteurs de forme de surfaces rectangulaires.

Comme nous le soulignons, les solutions proposées ici peuvent répondre aux cas pratiques les plus courants sans approximations [5] [6].

REFERENCE

[1] Chr. Perrin De Brichambaut. «Estimation des ressources solaires en France ». Suppl.Cahiers Afedes n°1, Paris, 1975.

[2] J.A. Duffie and W.A. Beckman, Solar Energy Thermal Processes. Second Edition. Wiley Interscience, New York, 1974.

[3] J.M. Chasseriaux, Convection Thermique et Rayonnement Solaire. Ed. Dunod, 1984.

[4] J.F. Sacadura, Initiation aux Transferts Thermiques, Technique et Documentation, Paris 1978.
Chapitre 4. Transfert de Chaleur par Convection

[5] Y. Jannot, Thermique Solaire. Cours et Exercices. Chapitre: l'Energie Solaire. Chapitre: Bibliographie: Facteurs de Forme Géométrique de Rayonnement, Octobre 2003.

[6] G. Ritoux, Evaluation Numérique des Facteurs de Forme, Revue Phys Appl. 17 (1982) 503-515.

Chapitre II

Capteur solaire thermique plan

Introduction

Le solaire thermique plan est une technologie qui exploite l'énergie solaire afin de générer de la chaleur. Il se compose de capteurs solaires plats, également connus sous le nom de capteurs solaires plats, qui capturent l'énergie solaire et la convertissent en chaleur. Cette chaleur peut ensuite être utilisée pour le chauffage de l'eau, des bâtiments ou même la production d'électricité. Les capteurs solaires plats sont généralement constitués d'un absorbeur métallique qui absorbe la chaleur solaire, d'un isolant thermique pour minimiser les pertes de chaleur, et d'une vitre pour protéger l'ensemble. Un liquide caloporteur circule à travers des tubes situés sous l'absorbeur, transportant ainsi la chaleur produite vers un échangeur thermique qui la transfère à l'eau ou à l'air. Le solaire thermique plan est une technologie fiable et efficace pour la production de chaleur à partir de l'énergie solaire, particulièrement dans les régions à fort ensoleillement. Elle contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la transition vers des sources d'énergie renouvelable.

Un capteur solaire thermique est un dispositif qui utilise l'énergie solaire pour chauffer de l'eau ou un fluide caloporteur. Il est composé d'un absorbeur, d'un isolant, d'une surface transparente, d'un fluide caloporteur et d'une série de tuyaux pour transporter le fluide caloporteur. L'absorbeur, généralement une plaque métallique ou un tube revêtu d'un matériau absorbant la chaleur de couleur noire, capte la chaleur lorsque la lumière solaire le frappe. La surface transparente, souvent en verre, permet le passage de la lumière solaire tout en emprisonnant la chaleur. L'isolant est positionné derrière l'absorbeur pour prévenir la dissipation de chaleur dans l'air ambiant. Lorsque la lumière solaire est absorbée par l'absorbeur, elle est convertie en chaleur qui est transmise au fluide caloporteur circulant à travers les tuyaux. Ce fluide peut être utilisé pour chauffer l'eau domestique ou alimenter un système de chauffage.

II.1. Description capteur solaire

Un capteur solaire thermique, connu également sous le nom de capteur solaire thermique, est conçu pour collecter la chaleur du soleil et la transformer en chaleur utilisable. Contrairement aux capteurs solaires photovoltaïques qui convertissent la lumière en électricité, les capteurs solaires thermiques utilisent des collecteurs solaires pour absorber la chaleur solaire. Ils se composent généralement d'une surface absorbante noire exposée au soleil, recouverte d'un matériau transparent pour minimiser les pertes de chaleur par rayonnement (Fig. II.1).

Sous cette surface, il y a un réseau de tubes ou de canaux contenant un fluide caloporteur tel que de l'eau ou un mélange d'eau et d'antigel. Lorsque la lumière solaire frappe la surface absorbante, elle est convertie en chaleur, chauffant ainsi le fluide caloporteur circulant à travers les tubes. Ce fluide chaud peut ensuite être utilisé pour alimenter un système de chauffage domestique, chauffer l'eau sanitaire ou fournir de la chaleur à des processus industriels. Les capteurs solaires thermiques sont couramment utilisés pour le chauffage de l'eau, qu'il s'agisse d'une utilisation résidentielle ou commerciale. Ils peuvent également être intégrés à des systèmes de chauffage central pour le chauffage des bâtiments. Certains capteurs solaires thermiques sont équipés de systèmes de suivi solaire qui ajustent automatiquement leur position pour maximiser l'exposition au soleil et ainsi améliorer leur efficacité

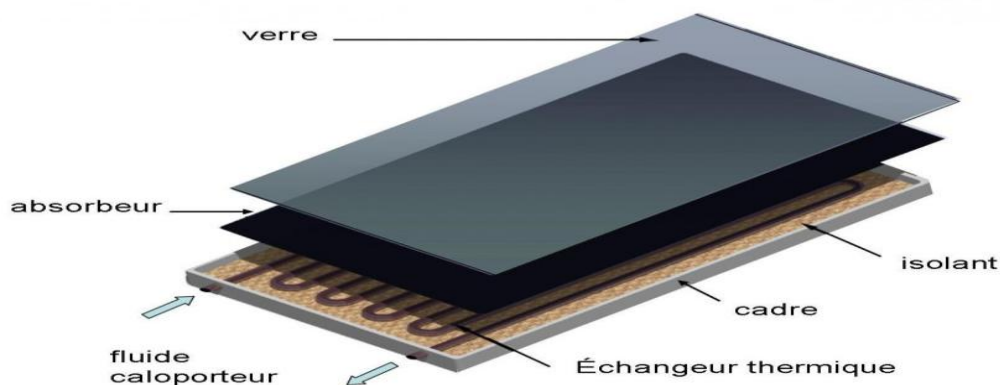


Fig. II.1 Description capteur solaire

En résumé, les capteurs solaires thermiques sont des dispositifs qui utilisent l'énergie thermique du soleil pour chauffer un fluide, qui peut ensuite être utilisé pour le chauffage de l'eau, le chauffage des bâtiments ou d'autres applications de chauffage. Ils fournissent une source d'énergie renouvelable et contribuent à la réduction de la consommation d'énergie conventionnelle et des émissions de gaz à effet de serre

II.2. Type capteur solaire thermique

Il existe plusieurs types de capteurs solaires thermiques, chacun ayant ses propres caractéristiques et applications. Voici quelques-uns des types les plus courants :

II.2.1. Capteurs solaires à plaques planes

Les capteurs solaires thermiques à plaques planes sont les types les plus couramment utilisés (Fig. II.1). Ils se composent d'une plaque plane en métal ou en verre recouverte d'un absorbeur thermique, ainsi que d'un réseau de tubes pour le fluide caloporteur. Ces capteurs à

plaques planes sont principalement utilisés pour des applications de chauffage de l'eau domestique.

II.2.2. Collecteurs solaires à tubes sous vide

Les collecteurs solaires de ce type se composent de tubes en verre sous vide qui renferment un absorbeur thermique.

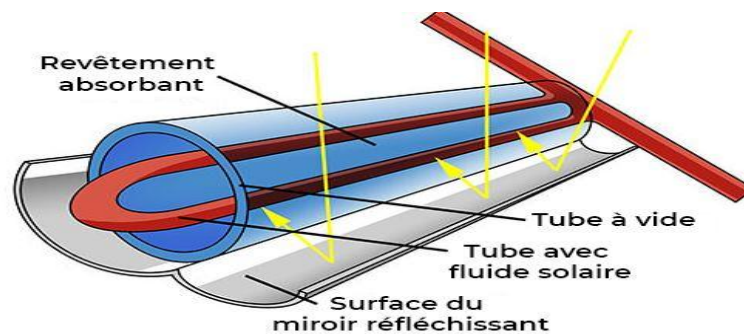


Fig. II.2 Collecteurs solaires à tubes sous vide

Les tubes sous vide permettent de réduire les pertes de chaleur et d'améliorer l'efficacité globale du collecteur. Ces collecteurs conviennent aux climats froids et peuvent être utilisés pour le chauffage de l'eau, le chauffage des bâtiments et diverses autres applications de chauffage (Fig. II.2)

II.2.3. Collecteurs solaires à concentration

Les collecteurs exploitent des réflecteurs pour concentrer la lumière solaire vers un point focal où un absorbeur thermique est positionné. Cette méthode permet d'atteindre des températures plus élevées, ouvrant ainsi la voie à l'utilisation de la chaleur pour des applications industrielles ou la production d'électricité (Fig. II.3).



Fig. II.3 Solaire thermique à concentration

II.2.4. Capteurs solaires à air

Les capteurs solaires à air fonctionnent différemment des capteurs solaires thermiques classiques, car ils n'utilisent pas de fluide caloporteur liquide. Au lieu de cela, ces capteurs utilisent de l'air comme moyen de transfert de chaleur. L'air chauffé par le collecteur solaire est utilisé directement pour le chauffage des bâtiments ou peut être canalisé vers des systèmes de ventilation ou de séchage (Fig. II.4).



Fig. II.4 Capteurs solaires à air

II. 2.5. Capteurs solaires hybrides

Ces systèmes combinent à la fois des capteurs solaires thermiques et photovoltaïques, ce qui permet de produire à la fois de la chaleur et de l'électricité à partir de la même surface. Les capteurs solaires hybrides sont souvent utilisés dans les applications résidentielles et commerciales où la demande d'électricité et de chaleur est élevée (Fig. II.5).



Fig. II.5 Capteurs solaires hybrides

Chaque type de capteur solaire thermique a ses avantages et ses limites, et le choix dépendra des besoins spécifiques de l'application, de la disponibilité de l'espace et des conditions environnementales.

II.3. Constituants du capteur solaire thermique

Un capteur solaire thermique est composé de plusieurs éléments qui permettent de capturer et d'utiliser la chaleur du soleil pour diverses applications. Un capteur solaire thermique plan se compose de (Fig. II.6) :

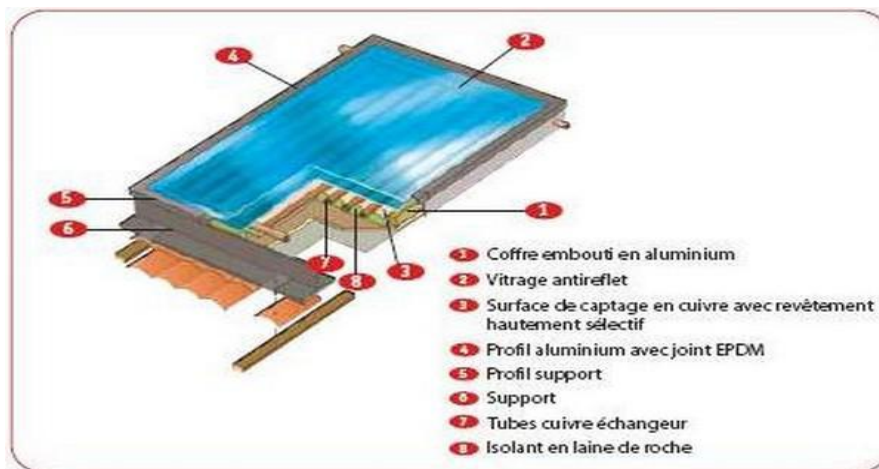


Fig. II.6 Constituants du capteur solaire thermique

a- Collecteur solaire

C'est la partie principale du capteur solaire thermique. Il est généralement constitué d'un matériau absorbant la chaleur, tel qu'un absorbeur en métal ou en céramique, recouvert d'une couche sélective qui favorise l'absorption du rayonnement solaire. Le collecteur solaire est conçu pour maximiser l'absorption de la chaleur du soleil.

b- Tube ou canalisation de fluide

À l'intérieur du collecteur solaire, il y a des tubes ou des canalisations par lesquels circule un fluide caloporteur. Ce fluide peut être de l'eau, un mélange d'eau et d'antigel ou un autre liquide spécialisé. Le fluide absorbe la chaleur du collecteur solaire et la transporte vers le système de stockage ou d'utilisation.

c- Isolation

Les capteurs solaires thermiques sont généralement équipés d'une isolation pour minimiser les pertes de chaleur. L'isolation peut prendre la forme de matériaux isolants autour du collecteur solaire et des tuyaux, tels que la laine minérale ou la mousse d'isolation.

d- Vitre ou couverture transparente

Pour protéger le collecteur solaire et l'isolation, un capteur solaire thermique est généralement équipé d'une vitre ou d'une couverture transparente. Cela permet de réduire les pertes de chaleur par convection et de protéger les composants internes des intempéries.

e- Réflecteur (optionnel)

Certains capteurs solaires thermiques peuvent être équipés d'un réflecteur pour augmenter l'efficacité de la collecte de chaleur. Le réflecteur dirige davantage de rayonnement solaire vers le collecteur solaire, augmentant ainsi la quantité de chaleur capturée.

Il convient de noter que la conception exacte et les composants d'un capteur solaire thermique peuvent varier en fonction de son application spécifique. Par exemple, un capteur solaire thermique utilisé pour le chauffage de l'eau dans une maison peut avoir une configuration légèrement différente de celui utilisé pour le chauffage de l'air ou la production d'électricité à partir de la chaleur solaire.

II.4. Installation d'un capteur solaire thermique

L'installation d'un capteur solaire thermique peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que l'application spécifique du système (chauffage de l'eau, chauffage de l'air, etc.) et les exigences locales. Les étapes générales impliquées dans l'installation d'un capteur solaire thermique sont comme suit (Fig. II.7) :



Fig. II.7 Installation d'un Capteur Solaire thermique

a. Évaluation et conception

Commencez par évaluer l'emplacement où vous souhaitez installer le capteur solaire thermique. Assurez-vous qu'il bénéficie d'une exposition adéquate au soleil et qu'il n'est pas obstrué par des obstacles tels que des arbres ou des bâtiments. Déterminez également la taille et le type de capteur solaire thermique adapté à vos besoins.

b. Préparation du support

Assurez-vous que la structure de support sur laquelle le capteur solaire thermique sera installé est solide, stable et correctement orientée. Cela peut impliquer le renforcement de la toiture ou la construction d'une structure spéciale pour le montage.

c. Installation des composants

Commencez par installer le collecteur solaire sur le support en suivant les instructions du fabricant. Assurez-vous qu'il est correctement fixé et aligné selon les spécifications recommandées. Ensuite, installez les tubes ou les canalisations pour le fluide caloporteur, en les raccordant au collecteur solaire de manière étanche.

d. Raccordement au système

Connectez les tubes ou les canalisations du capteur solaire thermique au système de stockage de chaleur ou d'utilisation. Selon l'application, cela peut impliquer le raccordement à un réservoir d'eau, un échangeur de chaleur ou un système de distribution d'air.

e. Installation du système de contrôle

Installez les composants du système de contrôle, tels que les capteurs de température et les vannes, qui permettent de réguler le flux de fluide caloporteur et d'optimiser les performances du système.

f. Isolation et protection

Assurez-vous d'isoler correctement les tuyaux et les canalisations pour minimiser les pertes de chaleur. Installez également une couverture transparente, comme une vitre, pour protéger le capteur solaire thermique des intempéries tout en permettant le passage du rayonnement solaire.

g. Vérification et mise en service

Une fois l'installation terminée, effectuez des vérifications approfondies pour vous assurer que toutes les connexions sont étanches et que le système fonctionne correctement. Remplissez le système avec le fluide caloporteur approprié et assurez-vous qu'il circule correctement. Il est important de noter que l'installation d'un capteur solaire thermique peut nécessiter des compétences techniques et des connaissances spécifiques. Il est recommandé de faire appel à des professionnels qualifiés pour garantir une installation sûre et efficace.

II.5. Principe de fonctionnement

Le capteur solaire thermique plan est un équipement conçu pour transformer l'énergie solaire en chaleur et la transférer à un fluide. Plusieurs types de capteurs existent, tels que les capteurs solaires plans sans vitre, les capteurs solaires plans avec vitre et les capteurs sous vide (Fig. II.8). Toutefois, le plus courant est le capteur plan solaire vitré, qui peut atteindre une température de sortie du caloporteur allant jusqu'à 100°C.

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan est effectivement relativement simple. Le capteur solaire plan est constitué d'un absorbeur qui est généralement une plaque métallique recouverte d'une couche sélective pour maximiser l'absorption du rayonnement solaire. Lorsque la lumière solaire frappe l'absorbeur, elle est convertie en chaleur, qui est ensuite transmise à un fluide caloporteur circulant à travers le capteur. Le vitrage qui recouvre le capteur est transparent pour le rayonnement solaire entrant, mais opaque pour le rayonnement infrarouge émis par l'absorbeur. Cela permet de créer un effet de serre à l'intérieur du capteur, qui contribue à augmenter la température du fluide caloporteur. L'isolation thermique autour du capteur est importante pour minimiser les pertes de chaleur par conduction, convection et rayonnement. Une bonne isolation permet de maintenir la température du fluide caloporteur à un niveau élevé, ce qui contribue à augmenter le rendement du capteur solaire.

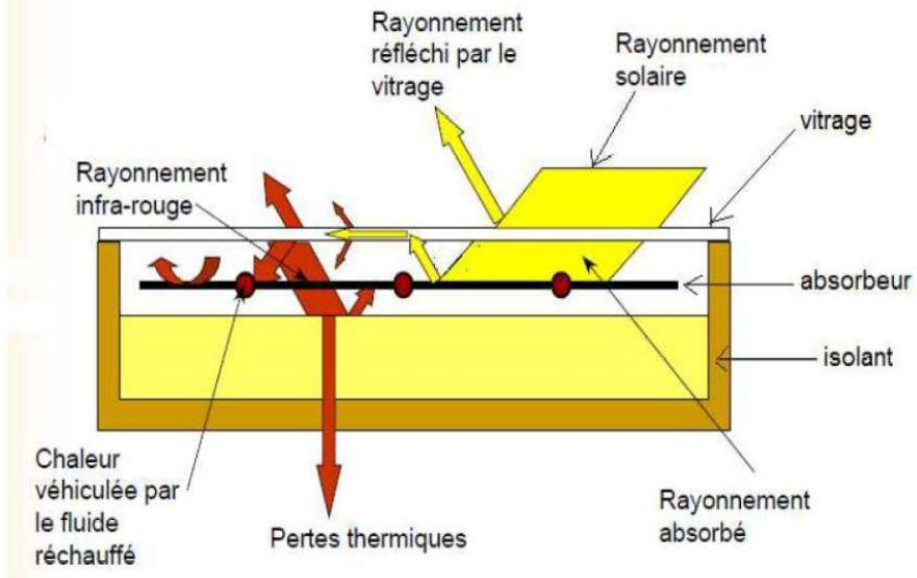


Fig. II.8 Schéma de principe d'un capteur plan vitré

II.6. Le bilan énergétique

Le bilan énergétique d'un capteur solaire (Fig. II.9) par unité de surface s'écrit comme suit:

$$I_a = Q_u + Q_p + Q_s \tag{II.1}$$

I_a : désigne le flux solaire absorbé à la surface de l'absorbeur.

Q_u : la puissance utile récupérée par le fluide caloporteur.

Q_p : la puissance perdue par convection et conduction vers l'arrière du capteur et par convection, conduction et rayonnement vers la face avant du capteur.

Q_s : la puissance stockée sous forme de chaleur vive dans les différents éléments du capteur lorsque le régime thermique est variable.

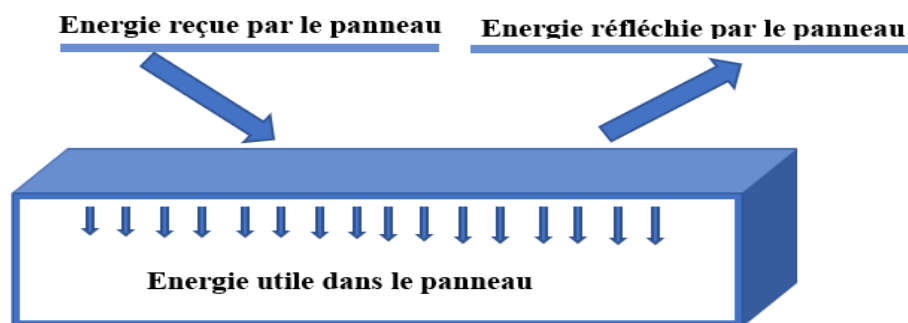


Fig. II.9 Bilan thermique d'un capteur solaire

Le bilan thermique d'un capteur plan s'obtient en considérant que l'énergie absorbée pendant l'intervalle de dt , soit $\phi_{abs} dt$ se répartit en :

- $\phi_u dt$: énergie extraite du capteur par le fluide caloporteur
- $\phi_L dt$: énergie perdue par le capteur dans l'environnement
- $\phi_{st} dt$: énergie stockée dans le capteur

$$\Phi_{abs} = \Phi_L + \Phi_{st} \quad (\text{II.2})$$

Avec:

$$\Phi_{st} = M_e C_{eau} \frac{dt}{dt} \quad (\text{II.3})$$

M_e : masse en eau du capteur définie par $M_e C_e = \sum m_i c_i$; i représente les différents éléments du capteur.

On va établir les bilans énergétiques globaux d'un capteur solaire thermique (plan) pour ces principaux composants :

La vitre reçoit

La puissance P_v rayonnée par le soleil et absorbée par la vitre

$$P_v = \alpha_v \times G \times A_v \quad (\text{II.4})$$

Où :

α_v : absorptivité de la vitre.

A_v : surface de la vitre.

G : rayonnement global incident.

Une quantité d'énergie q_{rav} cédée par l'absorbeur par rayonnement

$$q_{rav} = h_{rav} \times A_v \times (T_{ab} - T_{vi}) \quad (\text{II.5})$$

Une quantité d'énergie q_{cva} cédée par l'absorbeur par convection

$$q_{cva} = h_{cva} \times A_v \times (T_{ab} - T_{vi}) \quad (\text{II.6})$$

La vitre cède

Une quantité d'énergie par convection q_{cva} vers le milieu ambiant

$$q_{cva} = h_{cva} \times A_v \times (T_{ve} - T_a) \quad .. \quad (\text{II.7})$$

Une quantité d'énergie par rayonnement q_{rvc} vers le ciel

$$q_{rvc} = h_{rvc} \times A_v \times (T_{ve} - T_a) \quad (\text{II.8})$$

L'absorbeur reçoit Une puissance rayonnée par le soleil, transmise par la vitre et absorbée par l'absorbeur P_{ab} , donnée par l'équation suivante

$$P_{ab} = \alpha_{ab} \times r_v \times G \times A_{ab} \quad (\text{II.9})$$

Où :

α_{ab} : absorptivité de l'absorbeur.

r_v : transmissivité de la vitre.

A_{ab} : surface de l'absorbeur.

L'absorbeur cède

Une quantité d'énergie par convection au fluide caloporteur q_{caf}

$$q_{caf} = h_{caf} \times A_{fa} \times (T_{ab} - T_f) \quad (\text{II.10})$$

Une quantité d'énergie par convection q_{cav} à la vitre

$$q_{cva} = h_{cva} \times A_v \times (T_{ab} - T_{vi}) \quad (\text{II.11})$$

Une quantité d'énergie par rayonnement q_{rav} à la vitre

$$q_{rav} = h_{rav} \times A_v \times (T_{ab} - T_{vi}) \quad (\text{II.12})$$

Le fluide reçoit

Une quantité d'énergie par convection q_{caf} de l'absorbeur

$$q_{caf} = h_{caf} \times A_{fa} \times (T_{ab} - T_f) \quad (\text{II.13})$$

Le fluide cède

Une quantité d'énergie par convection q_{cfi} à l'isolant

$$q_{cfi} = h_{cfi} \times A_{fi} \times (T_f - T_{ii}) \quad (\text{II.14})$$

L'isolant reçoit

Une quantité d'énergie par convection q_{cfi} cédée par le fluide caloporteur

$$q_{cfi} = h_{cfi} \times A_{fi} \times (T_f - T_{ii}) \quad (\text{II.15})$$

L'isolant cède

Une quantité d'énergie par rayonnement q_{ris} au sol

$$q_{ris} = h_{ris} \times A_i \times (T_{ie} - T_s) \quad (\text{II.16})$$

Une quantité d'énergie par convection q_{cia} au milieu ambiant

$$q_{cia} = h_{cia} \times A_i \times (T_{ie} - T_a) \quad (\text{II.17})$$

REFERENCE

1. Abd Setar SM, El Amine TM. Étude des capteurs solaires photovoltaïques. 2021.
2. Hatraf N. Etude systématique et optimisation des performances d'une chaîne énergétique utilisant un capteur solaire à air et un échangeur enterré pour le chauffage solaire et le rafraîchissement par la géothermie: Université Mohamed Khider–Biskra; 2014.
3. Ahmed-Zaid A, Moulla A, Hantala M, Desmons J. Amélioration des performances des capteurs solaires plans à air: application au séchage de l'oignon jaune et du hareng. Rev Energ Ren. 2001;4:69-78.
4. Maifi L, Kerbache T. Etude et modélisation d'un capteur solaire thermique photovoltaïque: Université Frères Mentouri-Constantine 1; 2018.
5. Grosjean A. Etude, modélisation et optimisation de surfaces fonctionnelles pour les collecteurs solaires thermiques à concentration: Université de Perpignan; 2018.
6. Reddah T. Etude et dimensionnement d'un système solaire combiné Application: Logement individuel type F3 à Batna: Université de Batna 2; 2015.
7. Bagui F, Chafouk H. Etude transitoire du système solaire thermique. Revue des Energies Renouvelables CER.7:99-102.
8. Chabane F. Modélisation des paramètres de la conversion thermique de l'énergie solaire: Université Mohamed Khider-Biskra; 2015.
9. Agagna B. Contribution à l'étude thermique et numérique d'un capteur solaire cylindro-parabolique: Alger, Ecole Nationale Polytechnique; 2012.

Chapitre III

réalisation du capteur solaire

Introduction

Au sein de ce segment, nous allons présenter les divers constituants ou éléments du capteur solaire thermique, ainsi que les étapes de sa réalisation. Dans un premier temps, nous nous attelons à la création de ce capteur solaire plan, puis dans un second temps, nous nous concentrons sur la partie expérimentale. Afin de minimiser les pertes et d'optimiser l'absorption des rayonnements, nous nous appuyons sur les formules mathématiques présentées dans le précédent chapitre. Il est important de souligner que ce travail est le fruit de notre démarche, les tests et la conception ont été réalisés dans la commune de Khatouti Sed El Djer, wilaya de M'silla.

III.1. Principales compositions d'un capteur solaire plan

Le capteur solaire thermique se compose de deux principaux éléments :

- Le capteur plan et ses accessoires.
- Le ballon de stockage.

Les deux composants sont reliés par des conduites. L'énergie solaire réchauffe l'eau dans le collecteur, ce qui entraîne une diminution de sa densité. Grâce à ce changement de densité, le fluide circule par effet thermosiphon, ce qui nécessite que le réservoir de stockage soit positionné au-dessus du collecteur solaire [25]. Le collecteur solaire plat est équipé d'un revêtement en verre (verre ordinaire), qui joue un rôle essentiel dans la capture et la conversion du rayonnement solaire. En outre, il se compose des éléments suivants (Fig. III.1) :

- Une surface en aluminium avec une peinture noire qui absorbe les rayons solaires
- Une échelle en laiton de forme cylindrique fixée sur la plaque absorbante
- Une mousse de polyuréthane utilisée comme isolant à l'arrière.



Fig. III.1 Capteur solaire réalisé

Tous ces composants sont assemblés dans un boîtier métallique pour former le capteur solaire plat

En se basant sur le schéma du plan du capteur solaire thermique présenté dans la figure III.2, nous allons réaliser un prototype de capteur solaire à thermosiphon.

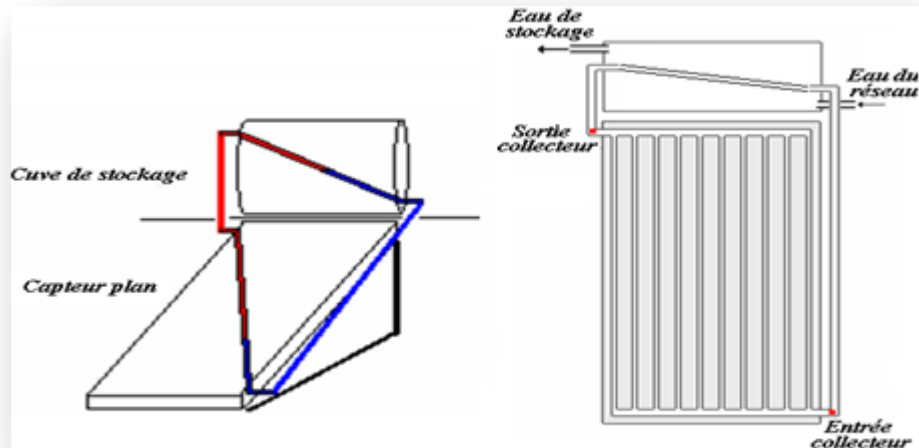


Fig. III.2 Capteur solaire à thermosiphon

III.1.1. Réalisation d'un capteur solaire

Le détecteur thermique solaire employé dans notre expérience est conçu de manière simple. Il a l'avantage d'être facile à ériger.

Les éléments majeurs sont les suivants :

1. Bac absorbant.
2. Vitre.
3. Isolation thermique.
4. Serpentine

III.1.1.1 Couverture verrière (verre)

Le verre utilisé est un verre ordinaire qui permet la transmission maximale des rayonnements solaires vers l'absorbeur (voir Fig. III.3). Les dimensions de la vitre sont les suivantes : [Tableau III.1].



Fig. III.3 Verre du capteur solaire

Tableau III.1 Dimensions du capteur

	Le verre 1	Le verre 2	Le verre 3
Longueur	0.92 m	0.92 m	0.92 m
Largeur	0.52 m	0.52 m	0.52 m
Epaisseur	0,003 m	0,004 m	0,006 m
Superficie	0.95m ²	0.95m ²	0.95m ²

III.1.1.2. L'absorbeur

L'absorbeur joue un rôle essentiel en assurant une absorption optimale du rayonnement solaire global et en transférant la chaleur résultante vers le serpentin. À cet effet, il est revêtu d'une peinture noire et fabriqué principalement en aluminium texturé, comme illustré dans la Figure III.4.

Les dimensions de l'absorbeur:

- Longueur 0.90 m
- Largeur 0.50 m
- La surface totale de l'absorbeur est de 0.9625m²



Fig. III.4 L'absorbeur de CST

L'absorbeur occupe une place primordiale dans le système de concentration solaire thermique (CST), car il est responsable de la conversion du rayonnement solaire en chaleur. Le choix du matériau et la sélection d'un temps adéquat sont des facteurs essentiels à prendre en compte. En effet, cela a nécessité un mois entier de travail pour faire ces sélections importantes. Toutes les quantités de chaleur stockées, échangées, générées et perdues à l'intérieur du CST ne sont pas prises en compte dans le bilan thermique. Par exemple, la chaleur perdue à travers le verre et la chaleur perdue par l'air entre le verre et l'absorbeur peuvent être considérées comme des pertes par rapport à l'absorbeur. De plus, toutes les quantités de chaleur mentionnées précédemment sont perdues par rapport au serpentin, y compris la quantité de chaleur de l'absorbeur. Ainsi, nous pouvons conclure que la seule quantité de chaleur bénéfique est celle perdue à partir de la paroi du tube.

III.1.1.3. Serpentine

Le circuit hydraulique, connu également sous le nom de serpentine, joue un rôle crucial dans la récupération de la chaleur produite par l'absorbeur et sa transmission au fluide caloporteur qui circule à travers ladite serpentine. Afin d'optimiser cette opération, il est primordial d'établir un contact efficace entre la plaque absorbante et notre circuit hydraulique, de manière à réduire au minimum toute résistance thermique supplémentaire. La figure III.5 permet d'identifier quatre types de contacts entre la plaque absorbante et le circuit hydraulique.

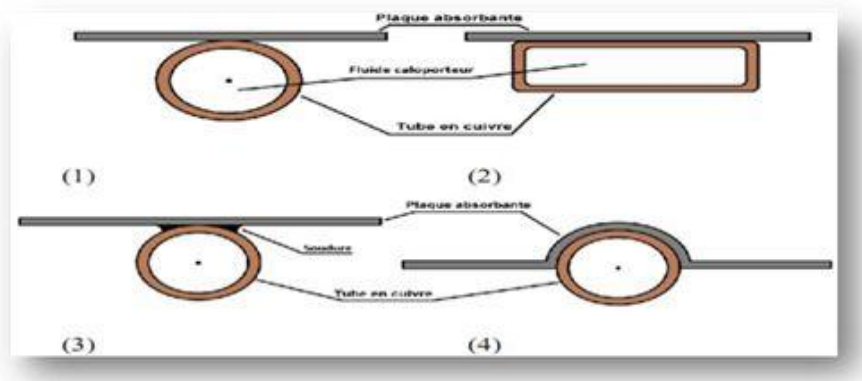


Fig. III.5 Type de collage absorbeur serpentine

- 1 – contacte plaque-tube cylindrique.
- 2 – contacte plaque-tube rectangulaire.
- 3 – soudure plaque-tube.
- 4 – forme convexe de la laque absorbante

La serpentine est l'un des éléments les plus importants du CST après l'absorbeur. Elle est fabriquée en cuivre sous la forme d'un tube serpent (voir Fig. III.6). Le rôle de la serpentine est de transporter l'eau le long du tube situé directement sous l'absorbeur, afin de transmettre la chaleur de l'absorbeur au tube et finalement à l'eau.



Fig. III.6 Serpentine du capteur solaire plan

Les dimensions de la serpentine sont les suivantes :

- Longueur $(1.23 \times 9) + (0.11 \times 8) = 11.95 \text{ m}$
- Diamètre 0,07

III.1.1.4. L'isolation thermique

En général, l'isolation thermique du capteur CST est réalisée avec du polystyrène expansé, dont l'épaisseur varie de 0,03 à 0,06 mètres. Les matériaux utilisés sont résistants aux températures de fonctionnement, comme illustré dans la Figure III.7. Les dimensions de l'isolant thermique sont les suivantes :

- Longueur: 0.86 m
- Largeur: 0.46 m
- Epaisseur: 0.05 m
- Superficie de la base: 0.395 m²









Fig. III.7 Isolant thermique en polystyrène utilisé.

III.1.1.5. Composants standards

Ces composants ont été sélectionnés de manière à être compatibles avec la conception du système en termes de dimensions (proportionnelles à la taille du système) et de disponibilité sur le marché. Les détails de ces composants sont décrits dans le tableau III.2

Tableau III.2 Matières Utilisées dans la réalisation

Matière	Dimension	Quantité	Matière reel
Peinture anti-oxydation.	///	1	
Aluminium	90cm ×50 cm	1	

Verre ordinaire	92cm× 52cm	3	
Robinet	//	1	
Absorbeur	0.9m×0.5 m		
Cadre en bois	1m×0.6m	1	
Cader	//1m×0.6m	2	

Enfin, nous avons réussi à concevoir un capteur solaire thermique plat, tel que représenté dans la figure III.8.



Fig. III.8 Capteur solaire plan réalisé

La figure III.9 représente, par analogie électrique, les différentes pertes thermiques vers

l'ambiance.

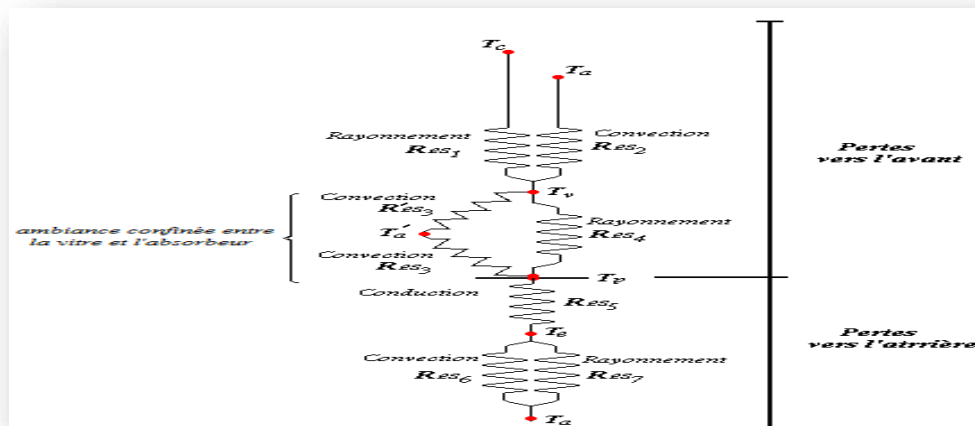


Fig. III.9 L'analogie électrique illustre les échanges thermiques entre le capteur et l'environnement.

III.2. Le concentrateur

Nous abordons maintenant la deuxième partie de notre travail, qui porte sur le principe du capteur solaire à concentration. Ce type de capteur se base sur la concentration du rayonnement solaire en un seul endroit. Il existe deux types de capteurs solaires à concentration.

III.2.1. Concentrateur cylindro-parabolique

Il dépend principalement de la concentration du rayonnement le long d'une ligne. Cette ligne est constituée d'un tube d'eau (Fig. III.10). Le principal inconvénient de ce type de capteur est la distance.



Fig. III.10 Concentrateurs solaire à ébullition directe

Ce type de capteur ne fonctionne pas dans les zones urbaines. Par exemple, lorsque nous installons ce type de capteur d'une longueur de 11 mètres, cela nécessite 77 mètres pour un bâtiment composé uniquement de 7 familles. Même si nous le plaçons en dehors de la ville, les pertes augmentent.

III.2.2 Concentrateur parabolique

Ce type de capteur concentre les rayonnements en un point précis (Fig. III.11). Cependant, en raison de deux raisons, à savoir l'espace occupé et la complexité de sa fabrication, ce type de concentrateur ne peut pas être installé sur les toits des maisons. Son emplacement privilégié se trouve plutôt dans des endroits dégagés.



Fig. III.11 Capteur parabolique avec moteur Stirling

Les capteurs paraboliques fonctionnent de manière autonome. Ils suivent le soleil sur deux axes afin de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante. Le rapport de concentration est souvent supérieur à 2000, avec une température de 750°C. Parmi toutes les technologies solaires, les capteurs paraboliques ont démontré les meilleurs rendements solaire-électricité, atteignant 29,4%.

III.2.3. Le troisième type de concentrateur proposé

Ce type de capteur concentre les rayonnements solaires, comme dans les deux types précédents, mais de manière asymétrique. Le premier miroir, placé à côté du concentrateur, concentre les rayons sur une surface de forme rectangulaire inclinée, tandis que le deuxième miroir réfléchit directement les rayons sur la face arrière du CSCS (Concentrateur Solaire à Canalisation Simple). Ce processus permet l'absorption du rayonnement provenant de l'absorbeur, permettant ainsi à la serpentine d'absorber une quantité de rayonnement. Le côté arrière absorbe également une quantité de rayonnements (Fig. III.12).

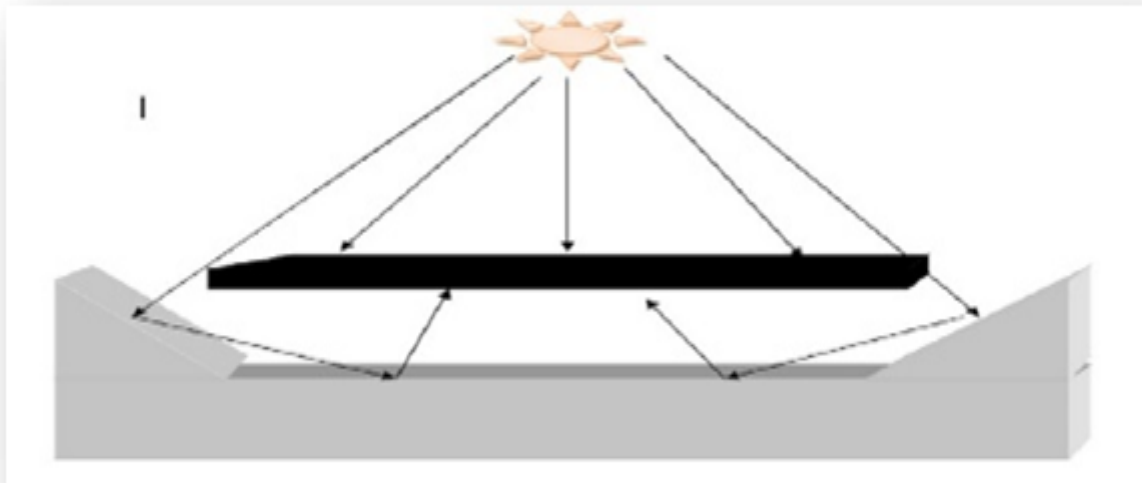


Fig. III.12 Schémas explicatif de la CSCS troisième type Pour élaborer le concentrateur surfacique

III.2.3.1. Lois de SNEL-DESCRATES

Prenons l'exemple d'une expérience où un faisceau de lumière de longueur d'onde spécifique (lumière monochromatique) est dirigé vers la surface d'une cuve contenant de la fluorescéine. Cela permet de rendre les trajectoires lumineuses visibles. Lors de cette expérience (Fig. III.13), nous observons ce qui suit :

A- Un faisceau cylindrique réfléchi par la surface de l'eau.

B- Un faisceau cylindrique réfracté à travers la surface de l'eau.

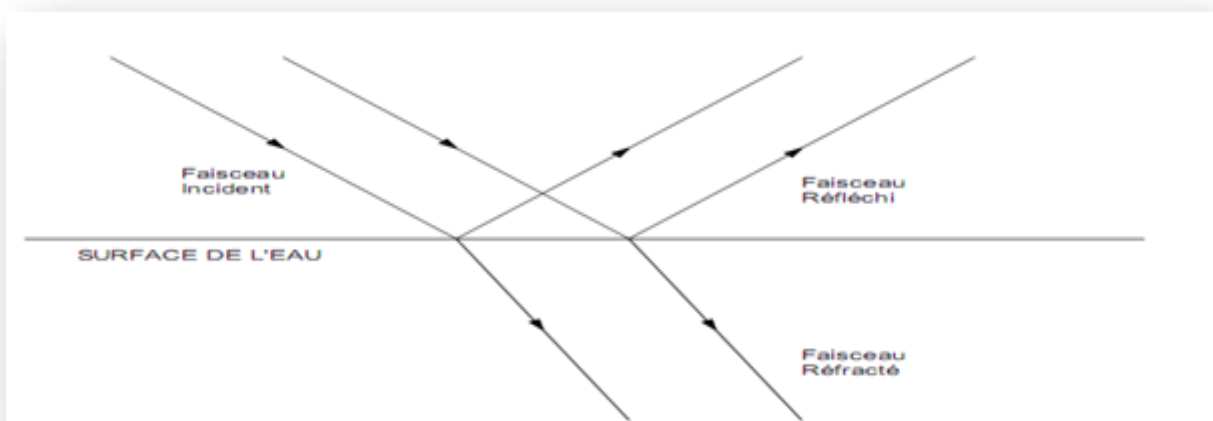


Fig. III.13 Réflexion et réfraction

Les principes régissant ces deux phénomènes - la réflexion et la réfraction - qui décrivent le comportement des rayons lumineux lorsqu'ils passent d'un milieu à un autre, sont connus sous le nom des lois de Snell-Descartes .

III.2.3.2. Réflexion

Considérons un rayon lumineux incident qui atteint la surface de séparation S entre deux milieux. À ce rayon incident correspond un rayon réfléchi IR . Traçons la ligne droite normale IN à la surface S en I , où cet angle (i) est situé du même côté que le rayon incident AI . Le plan formé par le rayon incident AI et la normale IN est appelé plan d'incidence, et l'angle $NIR = r$ est l'angle de réflexion (Fig. III.14) [22]

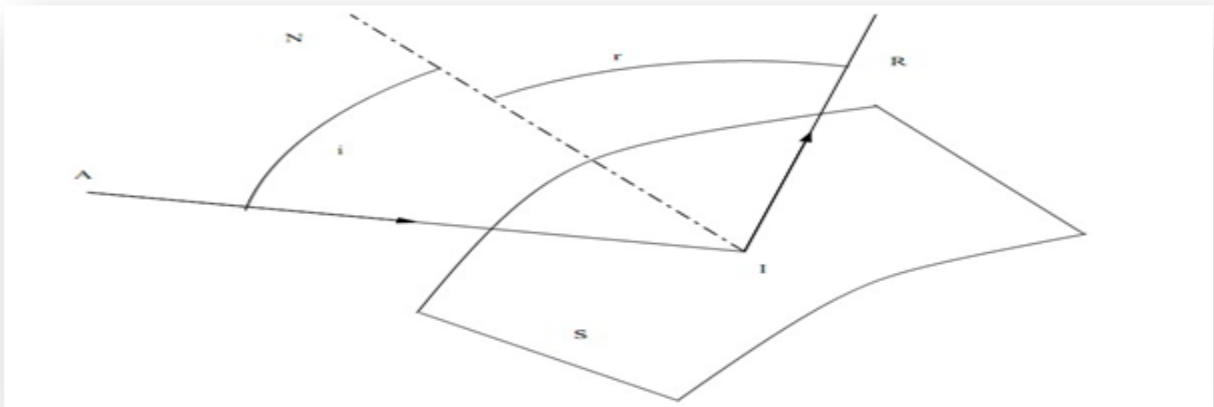


Fig. III 14 Lois de la réflexion

1. Le rayon réfléchi se situe dans le plan d'incidence.
2. L'angle de réflexion r est égal à l'angle d'incidence i .

III.3. Appareillages

III.3.1. Le thermomètre

Pour mesurer la température d'un milieu fluide tel que l'eau, on prend en compte la température à l'entrée et à la sortie de la serpentine, la température du vide entre le verre et l'absorbeur, ainsi que la température ambiante.







Fig. III.15 Thermomètre électronique

III.3.2. Le prix global de capteur solaire

Dans le tableau III.2 ci-dessous, nous vous présentons les prix des matériaux que nous avons utilisés pour la construction de ce capteur solaire plan

Tableau III.2 Le prix global du capteur réalisé

Outils utilisés dans la fabrication de capture solaire		Prix d'outils
Nom d'outils	Image d'outils	
Cadre		8500.00 DA
Absorbeur		500.00 DA
Tube		4500.00 DA
Isolation thermique		1000.00 DA

Colle à bois		200.00 DA
Peinture noire		400.00 DA

Chapitre IV

Résultats et discussions

Introduction

Dans le quatrième chapitre, nous avons réalisé des calculs pour déterminer la température d'entrée, la température de sortie et la quantité de chaleur absorbée par l'eau du capteur solaire. Lors de nos expériences, nous avons mesuré ces valeurs en maintenant un paramètre constant tout en variant l'autre paramètre, puis nous avons inversé cette approche.

IV.1. Condition d'essai

Les essais sont réalisés dans les conditions suivantes :

1. Les données initiales de calcul : M'sila, Latitude : 35.21 N
Longitude : 4.18 E Altitude : 553 m
2. Les heures d'essai (de 09h15min jusqu'à 16h00min)
3. L'effet du vent est 14Km/h
4. Humidité 70 %.
5. Les jours considérés sont : 29/05, 30/05, 01/06, 05/06, 06/06, 08/06, 09/06, 10/06, 11/06/2023
6. Le pouvoir absorbant du matériau de cuivre $A_{ab}=0.95$
7. Le pouvoir absorbant du verre utilisé (verre ordinaire 3mm/ 4mm/ 6mm)
8. l'émissivité de l'absorbeur $\varepsilon_{ab}=0.85$.
9. l'émissivité du verre $\varepsilon_v=0.93$.
10. le débit du fluide caloporteur $\dot{m} = 0,0032$ litres/s
11. la chaleur spécifique d'eau. $C_p=4180$ J/Kg.K, et $C_v=4186$ J/Kg.K

IV.2. Résultats obtenus

Avec les mêmes dimensions, nous avons calculé la température T_{in} et la T_{ex} , ainsi que la quantité de la chaleur reçue par le fluide avec un débit constant de $\dot{m}=0.0032$ l/s. Les mesures ont été prises à chaque 15min sur la période de 9 jours, avec l'épaisseur du vitrage ; 3mm, 4mm et 6mm, la hauteur H du capteur thermique ; 4cm, 4 cm et 7 cm.

IV.2.1. Résultats obtenus de capteur solaire plan vitré

Les premières mesures sont effectuées le 09, 10, et 11/06/2023, les températures ambiantes respectives $T_1=22$ °C, $T_2=19$ °C et $T_3=22$ °C, en variant l'épaisseur du vitrage solaire successifs ; $E_1=3$ mm, $E_2=4$ mm et $E_3=6$ mm. Pour une hauteur du capteur maintenue constante à $H=4$ cm, à

chaque 15min, les résultats obtenus de la température de sortie et la quantité de chaleur absorbée par le capteur solaire sont présentées dans les figures IV.1, IV.2, IV.3, IV.4, IV.5 et IV.6

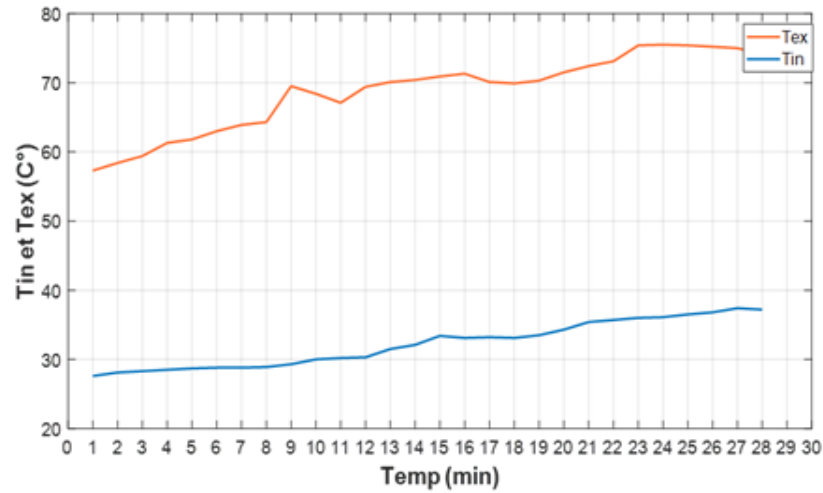


Fig. IV.1 Température de sortie du capteur le 09/06/2023 (e=3 mm)

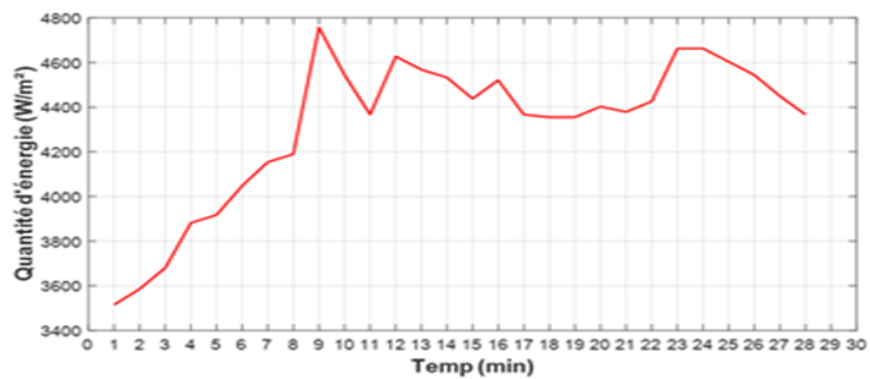


Fig. IV.2 Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 09/06/2023 (e=3 mm)

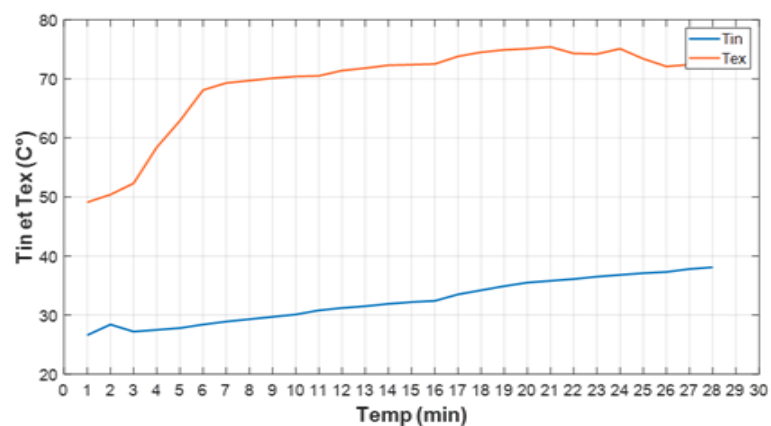


Fig. IV.3 Température de sortie du capteur le 10/06/2023 (e=4 mm)

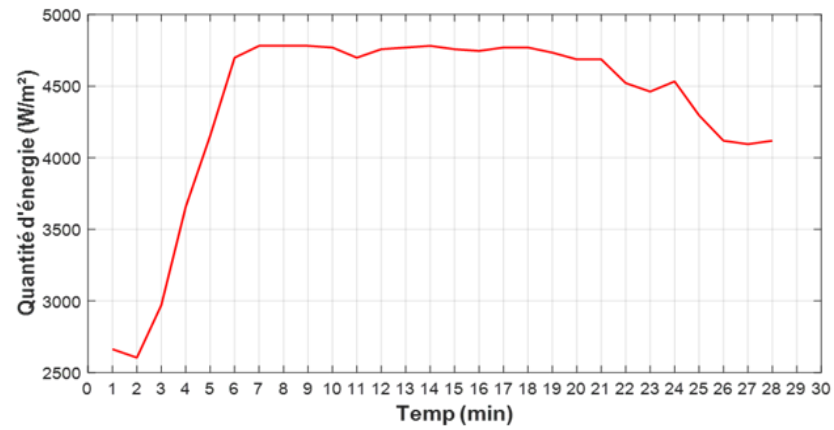


Fig. IV.4 Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 10/06/2023 (e=4 mm)

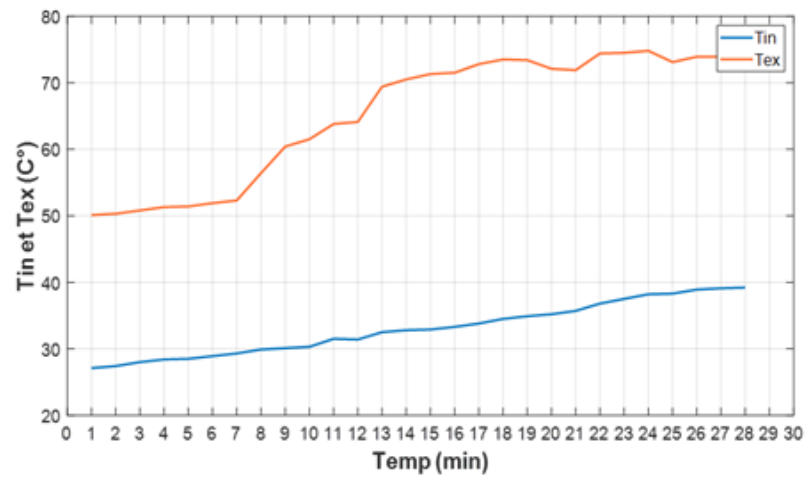


Fig. IV.5 Température de sortie du capteur le 11/06/2023 (e=6 mm)

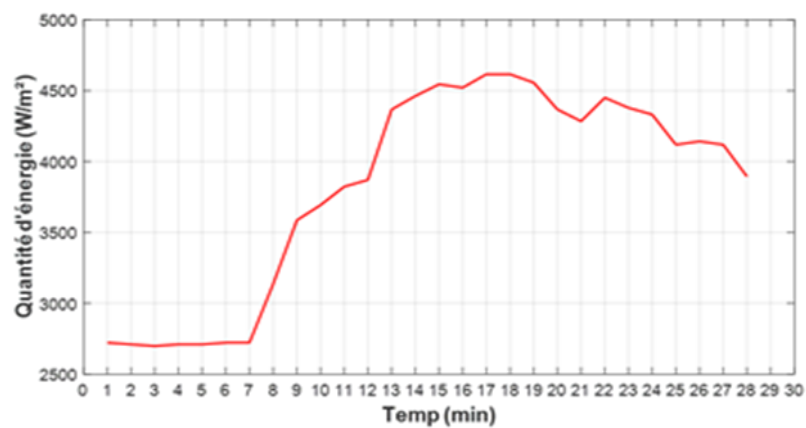


Fig. IV.6 Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 11/06/2023 (e=6 mm)

Comme il est illustré dans les figures IV.1, IV.3 et IV.5, nous pouvons remarquer que la température de sortie augmente de façon considérable avec le temps, elle atteint le maximum durant la période de 11h jusqu'à 17h. Egalement, la quantité d'énergie par le capteur thermique, elle se comporte de la même façon que la température de sortie.

La deuxième série de mesures sont effectuées le 29, 30 et 1/06/2023 avec les températures ambiantes $T_1=20$ °C, $T_2=19$ °C, $T_3=22$ °C et l'hauteur du capteur solaire $H=5$ cm. Les résultats sont présentés dans les figures IV.7, IV.8, IV.9, IV.10, IV.11 et IV.12.

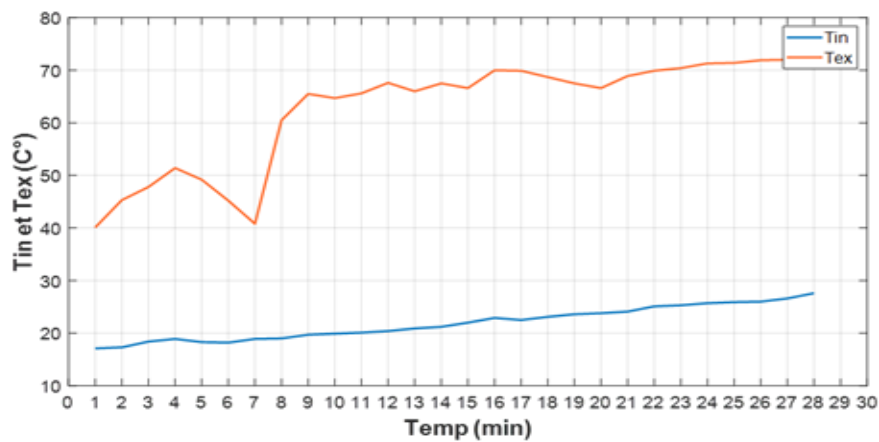


Fig. IV.7 Température de sortie du capteur le 29/05/2023 ($e=3$ mm)

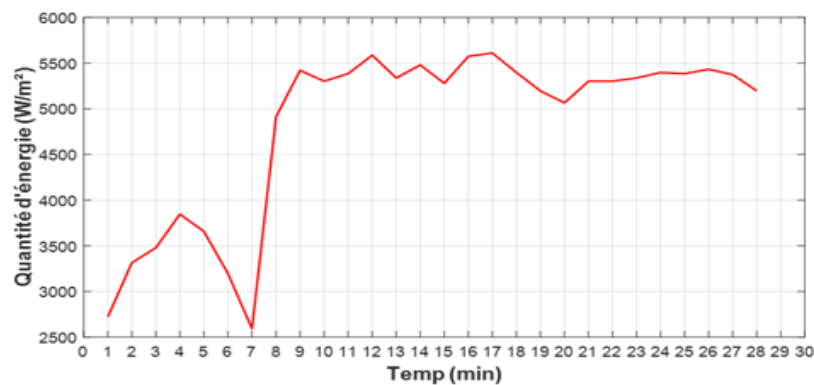


Fig. IV. 8 Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 29/05/2023 ($e=3$ mm)

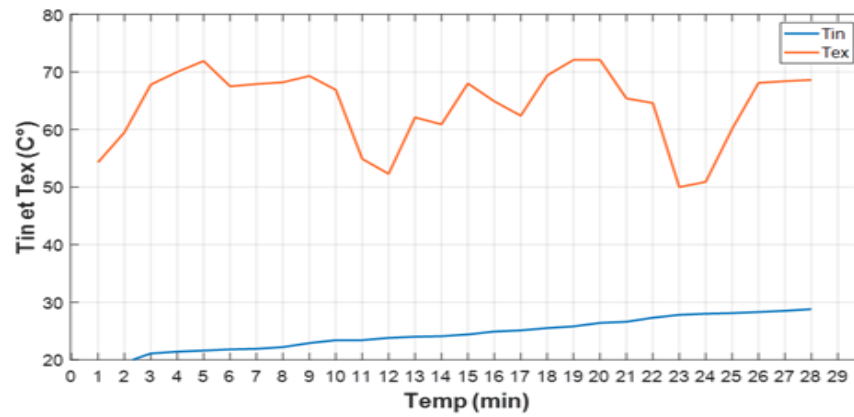


Fig. IV.9 Température de sortie du capteur le 30/05/2023 (e=4 mm)

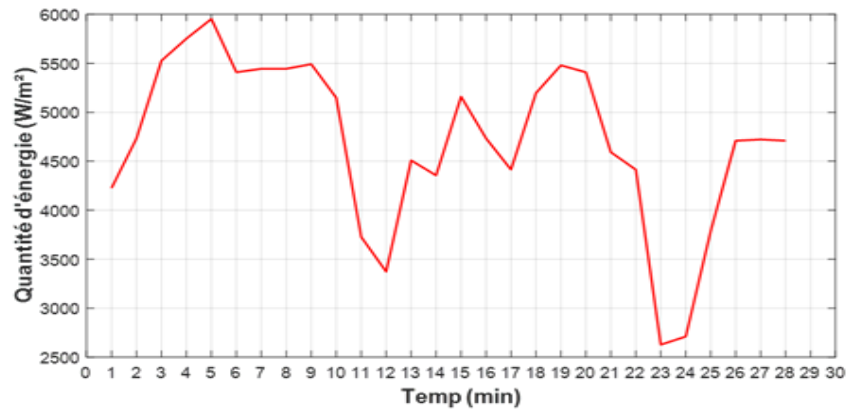


Fig. IV. 10 Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 30/05/2023 (e=4 mm)

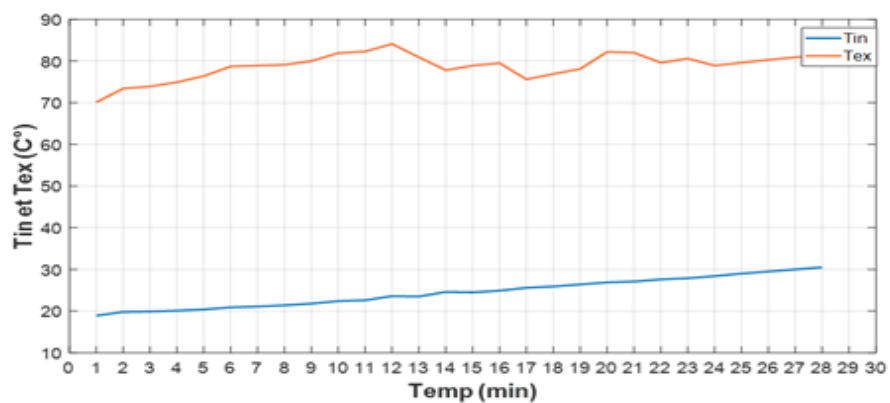


Fig. IV.11 Température de sortie du capteur le 01/06/2023 (e=6 mm)

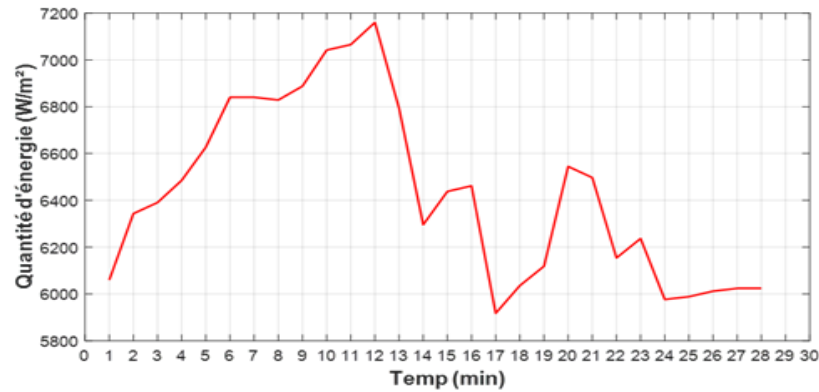


Fig. IV. 12 Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 01/06/2023 ($e=6$ mm)

Dans la figure IV. 11, nous remarquons une augmentation de la température d'entrée et une fluctuation de la température de sortie. Dans la figure 12, nous observons une fluctuation de la quantité d'énergie absorbée où nous avons enregistré la valeur maximale à $Q = 5953,005$ W/m².

Nous avons fixé la hauteur à une épaisseur de $H=5$ cm. En regardant les figures IV. 7, IV. 9 et IV. 11, il est possible de remarquer que la hauteur et l'épaisseur de la vitre a un impact important sur la quantité d'énergie absorbée. Il semble que l'épaisseur de la vitre $E=4$ mm est le meilleur choix, car elle permet d'obtenir la valeur la plus élevée de l'énergie absorbée.

La troisième série de mesures sont effectuées le 5, 8 et 6/06/2023 avec les températures ambiantes $T_1=22$ °C, $T_2=20$ °C, $T_3=28$ °C et l'hauteur du capteur solaire $H=7$ cm. Les résultats sont présentés dans les figures IV. 13, IV. 14, IV. 15, IV. 16, IV. 17 et IV. 18.

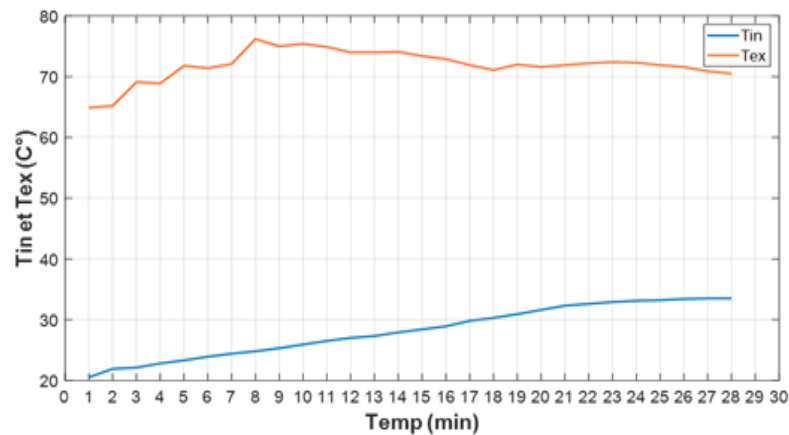


Fig. IV.13 Température de sortie du capteur le 5/06/2023 ($e=3$ mm)

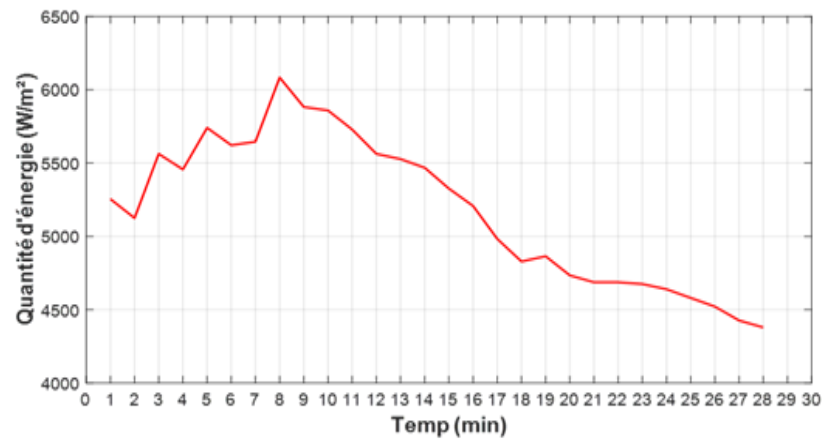


Fig. IV. 14 Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 5/06/2023 ($e=3$ mm)

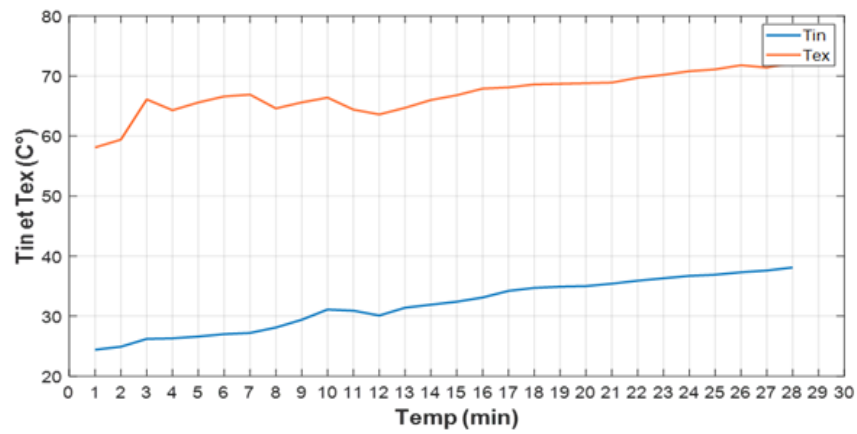


Fig. IV.15 Température de sortie du capteur le 8/06/2023 ($e=4$ mm)

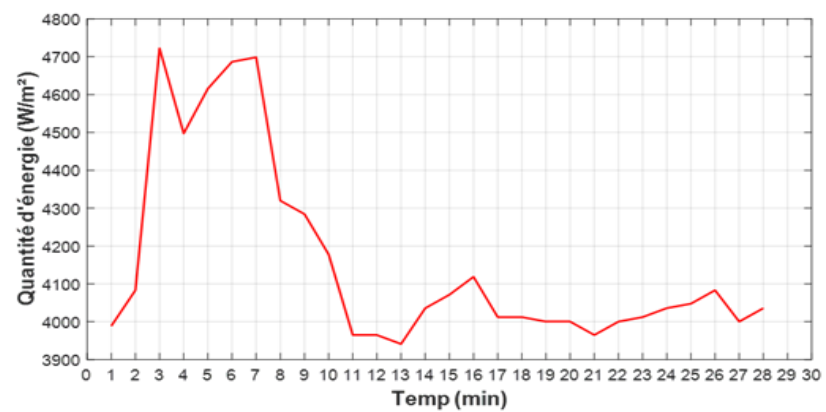


Fig. IV. 16 Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 8/06/2023 ($e=4$ mm)

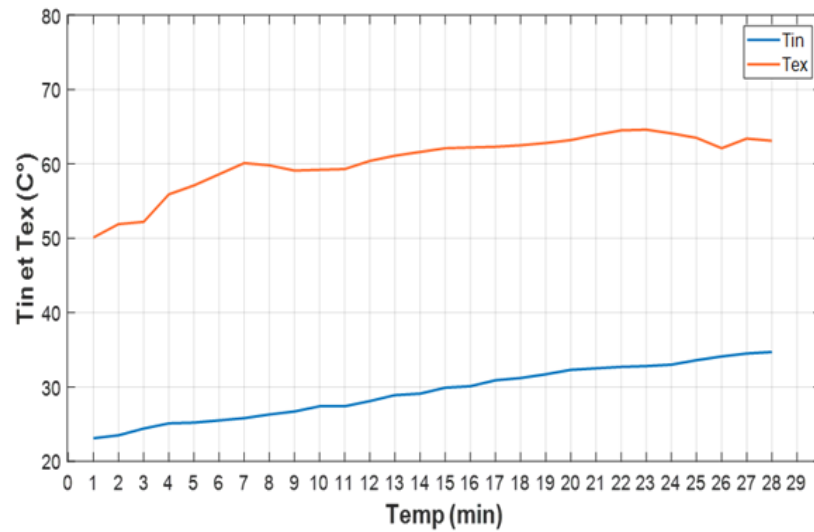


Fig. IV.17 Température de sortie du capteur le 6/06/2023 ($e=6$ mm)

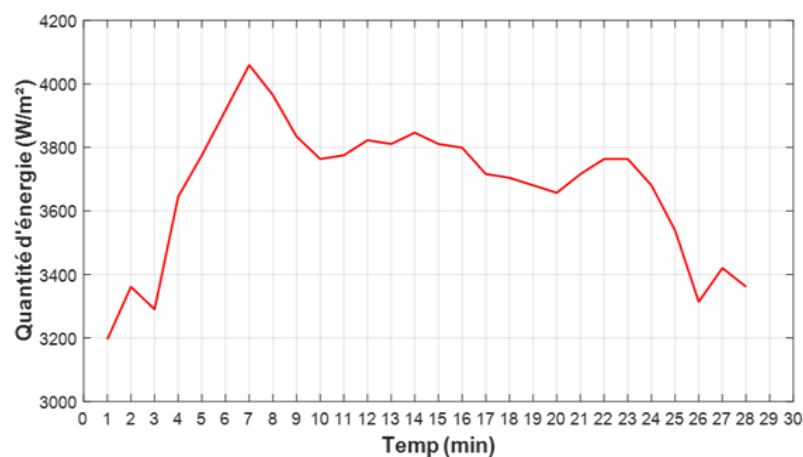


Fig. IV. 18 Quantité d'énergie absorbée par le capteur le 6/06/2023 ($e=6$ mm)

Dans la figure IV. 17, nous observons une corrélation directe entre la température d'entrée et de sortie de l'eau, qui ont toutes deux continué à augmenter de manière constante.

Dans la figure IV. 18, la courbe de la quantité d'énergie absorbée montre une augmentation au début de la mesure, culminant à une valeur maximale de $Q=4055,405$ W/m², puis diminue jusqu'à la fin de la période de mesure.

Dans les résultats que nous avons obtenus en fixant $H=7$ cm, nous observons que l'épaisseur de la bouteille $E=3$ mm absorbe plus d'énergie que les autres épaisseurs.

IV.3. Comparaison

Lorsque nous avons fixé la hauteur du capteur thermique avec les modifications de l'épaisseur du verre, ces résultats peuvent être pris comme signifiant que le verre d'une épaisseur de 4 mm permet le passage d'une quantité plus importante de rayonnement solaire, ce qui entraîne l'absorption d'une plus grande quantité d'énergie par le liquide. En revanche, la diminution de la transmission thermique avec l'augmentation de l'épaisseur du verre peut être expliquée par le fait que la chaleur est plus difficile à transférer rapidement aux matériaux épais.

Ces résultats peuvent aussi être signifiés scientifiquement de la manière suivante :

- Nous savons que la quantité de rayonnement solaire qui traverse le verre dépend de ses propriétés ; telles que la qualité de l'objet optique et son épaisseur. Sur la base de ces mesures, nous avons découvert que l'épaisseur appropriée pour une vitre de fenêtre est de 4 mm car elle permet le passage d'une plus grande quantité de rayonnement solaire.

- En revanche, nous savons que la transmission thermique à travers une substance ralentit avec l'augmentation de son épaisseur, ce qui explique la correspondance des résultats en matière de transmission thermique avec l'épaisseur du verre. Alors qu'elle est inverse pour la quantité de rayonnement solaire, ce qui signifie que la quantité de rayonnement solaire augmente avec la diminution de l'épaisseur du verre, contrairement à la transmission thermique qui ralentit avec une augmentation de l'épaisseur de la substance.

En cas de fixation et de changement de la hauteur de l'épaisseur du verre Les résultats obtenus dans l'image 8 indiquent que la température est nettement plus élevée après $H=5$ que pour les hauteurs $H=4$ et $H=7$. Cela signifie que cette hauteur permet de capter plus de chaleur qu'une hauteur très proche ou très éloignée. Nous avons remarqué que plus la hauteur est supérieure à $H=5$, moins la chaleur est captée. Nous pouvons en déduire qu'il existe une relation inverse entre l'épaisseur de la bouteille et la hauteur du cadre. Plus précisément, si l'épaisseur de la bouteille augmente (tout en maintenant les autres variables identiques), l'espace entre la bouteille et le cadre sera plus petit. Par conséquent, l'air se déplacera plus lentement à travers cet espace, ce qui retardera le transfert de chaleur de la bouteille vers l'extérieur et vice versa. En revanche, si la hauteur du cadre augmente, l'espace entre la bouteille et le cadre sera plus grand, ce qui signifie que l'air circulera plus rapidement. Par conséquent, la chaleur sera transférée plus efficacement vers l'extérieur, ce qui refroidira la bouteille plus rapidement. Ainsi, la relation entre l'épaisseur de la bouteille et la hauteur du cadre est inversement proportionnelle.

Résumé

Un dispositif de collecte thermique de l'eau a été conçu de manière novatrice et originale afin d'optimiser son rendement et obtenir des résultats exceptionnels. Malgré les défis posés par les changements climatiques et technologiques, ce dispositif a été fabriqué manuellement à l'Université de M'sila. Nous avons réussi à mener ce projet de la manière la plus optimale possible, et les résultats obtenus étaient extrêmement satisfaisants. Grâce à l'utilisation de l'énergie perdue et à une amélioration de l'efficacité énergétique, les performances du dispositif ont été significativement améliorées, le rendant plus efficace qu'auparavant.

الملخص

تم تصميم جهاز تجميع المياه الحرارية بطريقة مبتكرة ومبتكرة لتحسين أدائه والحصول على نتائج استثنائية. على الرغم من التحديات التي تفرضها التغيرات المناخية والتكنولوجية، تم تصنيع هذا الجهاز يدويًا في جامعة المسيلة. تمكنا من تنفيذ هذا المشروع بأفضل طريقة ممكنة، وكانت النتائج التي تم الحصول عليها مرضية للغاية. بفضل استخدام الطاقة المهدرة وتحسين كفاءة الطاقة، تم تحسين أداء الجهاز بشكل كبير، مما يجعله أكثر كفاءة من ذي قبل.

Abstract

A thermal water collection device has been designed in an innovative and original way to optimize its performance and obtain exceptional results. Despite the challenges posed by climatic and technological changes, this device was manufactured manually at the University of M'sila. We managed to carry out this project in the most optimal way possible, and the results obtained were extremely satisfactory. Thanks to the use of wasted energy and an improvement in energy efficiency, the performance of the device has been significantly improved, making it more efficient than before.