

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : DES SCIENCES

DEPARTEMENT : PHYSIQUE

N° :...../2018.....



DOMAINE : Sciences des matériaux

FILIERE : physique

OPTION : physique énergétique
et énergie renouvelable

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: SAOUDI Sarra

Intitulé

**Effet de vitrage sur le fonctionnement du
capteur thermique – Etude expérimentale-**

Soutenu le 24/ 06 /2018 devant le jury composé de:

BOURAS Abdelkarim	Université M ^{ed} BOUDIAF M'sila	Président
TALOUB Djedid	Université M ^{ed} BOUDIAF M'sila	Rapporteur
HADDAD Zakaria	Université M ^{ed} BOUDIAF M'sila	Examineur

Année universitaire : 2017/2018



Remerciements

Je remercie tout d'abord Allah le tout puissant, pour m'avoir donnée la force et la patience, la santé et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Je remercie mes chers parents qui m'ont aidé à être ce que je suis et qui m'ont entouré avec leur amour et affection. Je remercie leur dévouement, leur consacre de temps et leur présence constante au cours de toutes ces années d' « études ». Je ne saurais jamais les remercier assez pour leur bien. « Merci, ce travail est la vôtre ». Je vous aime...

Je témoigne une immense reconnaissance à Monsieur Djedid TALOUB mon encadreur au département de physique de l'Université Mohamed BOUDIAF pour m'avoir assisté et orienté tout au long de mon parcours étudiant et surtout dans l'établissement de ce rapport de mémoire.

Je le remercie également d'avoir cru en moi ainsi qu'en mes capacités de mener à bien ce travail.

Je tiens à remercier Monsieur Abdelkarim BOURAS qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury.

J'exprime mes vifs remerciements à Monsieur Zakaria HADDAD d'avoir accepté de participer au jury.

Un grand merci particulier à mes collègues et mes amies pour les sympathiques moments qu'on a passés ensemble, je les remercie pour leur confiance, leur disponibilité et leur fidélité.

Finalement, je suis profondément reconnaissante à toute personne qui m'a aidé de près ou de loin, directement ou indirectement durant ce passage.



Dédécace

Avant toute chose, Je remercie dieu tout puissant de m'avoir
donné santé, courage et patience tout au long de mes études

*C'est avec un grand honneur que je dédie ce modeste travail aux deux
personnes qui se sont sacrifiées pour que je grandisse avec un savoir-faire et qui
m'ont appris à ne jamais baissé les bras....*

À ma mère la7biba **Houria**, *la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de
ma vie, qui ma apporté son appui durant toutes mes
années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné
confiance, courage et sécurité*

A Baba Habibi **A'mhamed** pour son soutien moral pour tout ce qu'il a fait durant mes
années d'étude que j'honneur ce succès.

Je dédie ce travail également

A l'âme de ma cher grande mère

*A mes chers frères : **haythem, saïf el dine***

*a ma chère sœur : **roukia***

A mes chers amies

*(Fawzia,Ahlam,Yasmine,Souad,Gamra,Fatiha,Amel,Wassila,Somia,Naoual,Samira,
Lamia*

*Fraiha, Saida, Nesrine, Djahida, Fatima, Marwa, Nadjet, Sara, Rima, saliha,
Abd El Kader, Ishaq, Youssef, zine el Abdiddine...)*

A tous ceux qui me sont chers de la spécialité physique énergétique (2017 /2018)

A toutes les personnes qui ont contribué de près
ou de loin à accomplir ce modeste mémoire.

Que dieu les protège tous

Résumé

En raison des préoccupations environnementales croissantes, un fort accent est mis sur les sources d'énergies renouvelables.

Les capteurs solaires thermiques permettent aux utilisateurs de générer l'eau chaude de façon économique (ou pas cher) et de réduire la quantité d'énergie nécessaire pour le chauffage domestique. Etant donné que l'utilisation des capteurs solaire thermique augmente, les producteurs sont confrontés à une demande constante d'amélioration de la qualité, de la performance, de la productivité et des prix compétitifs. Et c'est là que le vitrage joue un rôle important.

Le vitrage est nécessaire dans les capteurs solaires thermiques pour transférer l'énergie du soleil vers l'absorbeur, et réduit les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur. En effet, l'utilisation de la couverture transparente évite le refroidissement de l'absorbeur par le vent.

En évitant les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur, le vitrage va permettre d'optimiser son efficacité et de recueillir le maximum de chaleur qui sera ensuite transférée à l'absorbeur. Cependant, plusieurs vitres ont été installées (utilisées) pour mesurer les données relatives à la performance thermique. Dans ce travail, nous avons traité l'effet de des vitres sur les performances thermiques de ce capteur, et analyser les analysées.

Mots clés: Energie solaire, Capteur plan, Transfert thermique, chauffe – eau solaire, performance, double vitrage, simple vitrage, sans vitrage, vitrage.

Abstract

Due to increasing environmental concerns, a strong focus is placed on the renewable energies sources.

Solar thermal collectors allow users to generate hot water in way economic (or cheap) and reduce the amount of energy needed for home heating. Since the increasing use of solar thermal collectors producers are facing a constant demand for improvement of quality, performance, productivity and competitive prices. And that's where glazing plays an important role.

Glazing is necessary in solar thermal collectors for transfer energy from sun to the absorber, and reduces of heat losses in the front of the absorber. Indeed, the use of a transparent cover prevents the cooling of the absorber by wind.

By avoiding thermal losses towards the front of the absorber, the glazing will make it possible to optimize its efficiency and collect the maximum of heat that will be then transferred to the absorber. However, several glazing was installed (used) to measure thermal performance data. In this works, we treated the effect of glazing on the thermal performance of this sensor, and analyzed the results.

Key words: Solar energy, Flat sensor, Thermal transfer, solar water, heater, performance, double glazing, single glazing, no glazing, glazing.

ملخص :

بسبب تزايد المخاوف البيئية، يتم التركيز بشدة على مصادر الطاقات المتجددة. اللاقط الحراري الشمسي يسمح للمستخدمين بتسخين الماء بطريقة اقتصادية (أو غير مكلفة) كما يسمح بتقليل كمية الطاقة اللازمة لتدفئة المنزل. بما أن استخدام اللاقط الحراري الشمسي في ازدياد، فإن المنتجين يواجهون الطلب المستمر لتحسين الجودة والأداء والإنتاجية والأسعار القادرة على المنافسة. ولهذا فإن الغطاء يلعب دوراً مهماً في ذلك. غطاء اللاقط الحراري الشمسي يلعب دور مهم في نقل الطاقة الشمسية إلى داخل اللاقط الحراري ، ويقلل من ضياع الطاقة ، كما أن الغطاء يمنع تبريد الصفيحة المعدنية الماصة للحرارة بواسطة الرياح. من خلال تجنب الضياع الحراري أعلى الصفيحة المعدنية، فالغطاء من الممكن أن يزيد من كفاءة وأداء اللاقط الحراري وزيادة استقبال الحرارة المحولة إلى الممتص. غير ان العديد من الغطاءات ركبت (استعملت) لقياس الأداءات الحرارية. في هذا العمل قمنا بدراسة تأثير الأغشية الزجاجية على الأداء الحراري لهذا اللاقط، و تحليل نتائجها.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية ، اللاقط الحراري ، انتقال الحراري ، تسخين الماء بالطاقة الشمسية ، الأداء ، زجاج مزدوج، زجاج مفرد، بدون زجاج، زجاج.

Table des Matières

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Table des Matières.....	i
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux.....	vi
Nomenclature.....	x
Introduction générale	1
Chapitre 1 Généralité	4
1.1. Soleil	4
1.1.1. Présentation générale	4
1.1.2. Evolution	6
1.2. Energie solaire.....	7
1.2.1. Origine.....	7
1.2.2. Caractères particuliers.....	7
1.2.3. Captation.....	8
1.3. Position du soleil.....	9
1.3. a. Coordonnées géographiques.....	9
1.3. b. Coordonnées horizontales.....	9
1.3.c. Coordonnées célestes horaires.....	10
1.4. Rayonnement solaire.....	11
1.4.1. Rayonnement solaire direct	11
1.4.2. Rayonnement diffus D.....	12
1.4.2.1. Rayonnement diffus provenant de la voute céleste.....	12
1.4.2.2. Rayonnement diffusé par le sol	13
1.4.3. Rayonnement global G.....	13
1.5. Paramètre de tempes	13
1.6. Conclusion	14
Référence.....	14
Chapitre 2 Etude théorique du capteur plan thermique et bilan énergétique.....	16
2.1. Définition de Capteur solaire	16
2.2. Déférents types des capteurs solaires	16
2.2.1. Capteurs solaires photovoltaïques	16
2.2.2. Capteurs solaires thermiques.....	17
2.2.2.a. Capteurs à concentration	17
2.2.2.b. Capteurs non concentration.....	19
2.3. Eléments de construction d'un capteur solaire	23
2.4. Principe de Fonctionnement d'un capteur solaire plan	23
2.5. Paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire.....	24
2.5.1. Paramètres internes.....	24
2.5.2. Paramètres externes.....	25
2.6. Différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire.....	26
2.6.1. Conduction.....	26
2.6.2. Convection	27
2.6.3. Rayonnement.....	27

2.7. Hypothèses simplification	28
2.8. Transmission du rayonnement dans la vitre.....	29
2.9. Puissances absorbées par un capteur solaire plan avec simple vitrage.....	30
2.9.1. Puissance absorbée par la vitre.....	30
2.9.2. Puissance absorbée par l'absorbeur.....	31
2.10. Bilan énergétique du capteur.....	31
2.11. Perte énergétique dans un capteur solaire (thermique).....	31
2.11.1. Perte par convection.....	31
2.11.2. Perte par conduction	32
2.11.3. Perte par rayonnement.....	33
2.11.4. Perte globale d'énergie	33
2.12. Rendements	34
2.12.1. Rendement optique	34
2.12.2. Rendement Thermique (Ou Instantané)	35
2.13. Conclusion.....	35
Référence	36
Chapitre 3 Etat de l'art sur les verres thermiques d'un capteur solaire plan	39
3.1. Histoire du matériau verre.....	39
3.2. Différents types des verres.....	40
3.2.1. Verre naturel	40
3.2.2. Verre artificiel.....	40
3.2.2.1. Verre d'oxyde.....	40
3.2.2.1.A. Verre de silice.....	41
3.2.2.1.B. Verre sodocalcique.....	41
3.2.2.1.C. Verres de borates.....	41
3.2.2.1.D. Verre de phosphate	42
3.2.2.1.E. Verres de Germinâtes	42
3.2.2.2. Verre d'oxydes lourds.....	42
3.2.2.3. Verre de Chalcogénures.....	43
3.2.2.4. Verre d'Halogénures.....	43
3.2.2.5. Verres de Fluorures.....	43
3.2.2.6. Verre Organiques.....	44
3.2.2.7. Verre métallique.....	44
3.3. Propriétés thermiques des verres.....	44
3.3.1. Transmission, réflexion et absorption	45
3.3.2. Coefficient de dilatation thermique.....	46
3.3.3. Conductivité thermique	46
3.3.4. Chaleur spécifique	46
3.3.5. Masse volumique.....	46
3.4. Techniques d'optimisation des performances thermiques et optiques du verre.....	47
3.5. Production nationale	49
3.6. Différents types de couverture.....	49
3.6.1. Doubles vitrages	49
3.6.2. Triples vitrages.....	50
3.7. Conclusion.....	50
Référence	51

Chapitre 4 L'effet des vitrages sur les performances du capteur solaire plan	
Etude expérimentale.....	52
4.1. Présentation du banc d'essais.....	52
4.1.1. Élément constitue du capteur plan	54
4.1.2. Description des essais expérimentaux font sur le capteur plan thermique.....	55
4.2. Analyse théorique	55
4.3. Conception et expérimentation	57
4.4. Résultats et discussions.....	58
4.4.1 Effet de l'épaisseur de vitrage simple transparent	59
4.4.1.1 Evolution des températures	59
4.4.1.1.1 Variation temporelles des températures des différentes parties du capteur.....	59
4.4.1.1.2 Variation temporelle de température de la vitre pour différentes épaisseurs	59
4.4.1.1.3 Evolution de température de sortie fluide	60
4.4.1.1.4 Évolution de la température de réservoir.....	60
4.4.1.1.5 Evolution de l'écart de température de sortie et d'entrée.....	61
4.4.1.1.6 Evolution du rendement en fonction de la température de vitre.....	62
4.4.2 Evolution de la puissance utile.....	62
4.4.3 Evolution de rendement.....	63
4.4.2 Effet de la colore de vitrage	64
4.4.2.1 Evolution temporelle de température de la vitre pour différentes vitres	64
4.4.2.1 Evolution de l'écart de température de sortie et d'entrée.....	64
4.4.2.2 Evolution de rendement.....	65
4.4.3 Comparaison entre capteur simple, sans, et double vitrage.....	65
4.5 Conclusion	66
Référence	67
Conclusion générale	68
Résumé	

Liste des figures

Figure 1.1.	Structure du soleil	6
Figure 1.2.	Cycle de vie du soleil	7
Figure 1.3.	Coordonnées géographiques	9
Figure 1.4.	Coordonnées horizontales.....	10
Figure 1.5.	Coordonnées horaires.....	10
Figure 2.1.	Capteur solaire thermique	17
Figure 2.2.	Capteurs cylindro-parabolique.....	18
Figure 2.3.	Capteur parabolique	18
Figure 2.4.	Centrales à tour.....	19
Figure 2.5.	Capteur à concentration à lentille de Fresnel	19
Figure 2.6.	Capteur plan vitre	20
Figure 2.7.	Capteurs plans sans vitrage	21
Figure 2.8.	Capteur sous vide.....	21
Figure 2.9.	Capteur plan double vitrage	22
Figure 2.10.	Capteur plan à air	22
Figure 2.11.	Composants d'un capteur solaire plan vitre.....	23
Figure 2.12.	Principe de fonctionnement du capteur solaire plan	24
Figure 2.13.	Schéma du transfert de chaleur par conduction.....	26
Figure 2.14.	Schéma du transfert de chaleur par convection	27
Figure 2.15.	Schéma du transfert de chaleur par rayonnement	28
Figure 2.16.	Transmission du rayonnement	29
Figure 3.1.	Verre naturelle.....	40
Figure 3.2.	Verre silice	41
Figure 3.3.	Transmission, réflexion et absorption.....	45
Figure 3.4.	Double vitrage.....	50
Figure 3.5.	Triple vitrage	50
Figure 4.1.	Schéma de l'installation du capteur plan.....	53
Figure 4.2.	Vue globale de l'installation	54
Figure 4.3.	Coupe d'un capteur solaire plan à eau.....	56
Figure 4.4.	Evolution temporelles des températures des différentes parties du capteur pour chaque épaisseurs.....	59
Figure 4.5.	Evolution temporelle de température de la vitre pour différentes épaisseurs	60
Figure 4.6.	Evolution de la température sortie fluide en fonction de temps pour les vitres testés.	60
Figure 4.7.	Evolution de température d'eau dans le réservoir en fonction de temps pour les différents épaisseurs testés.....	61
Figure 4.8.	Evolution de l'écart de la température entrée sortie eau en fonction de temps pour les différents épaisseurs testés.....	61
Figure 4.9.	Evolution du rendement de capteur en fonction de la température de vitre	62
Figure 4.10.	Evolution de la puissance utile en fonction de temps pour les différentes épaisseurs testées.....	63
Figure 4.11.	Evolution de rendement en fonction de temps pour les 3 épaisseurs	63
Figure 4.12.	Evolution temporelle de température de la vitre pour différentes vitres	64
Figure 4.13.	Evolution de l'écart de température de sortie et d'entrée.....	65
Figure 4.14.	Evolution de rendement en fonction de temps pour les 3 vitres.....	65
Figure 4.15.	Evolution du rendement des capteurs en fonction de temps.....	66



Liste des tableaux

Tableau 1.1	Caractéristiques principales du soleil	5
Tableau 1.2.	Répartition spectrale du rayonnement thermique	11
Tableau 1.3.	Coefficient de trouble de ciel.....	12
Tableau 3.1.	Résumé des principales caractéristiques thermique de la vitre.....	47
Tableau 4.1.	Paramètre caractéristiques du capteur solaire	55
Tableau 4.2.	Caractéristiques des éléments du capteur à eau.....	57

Nomenclature

Symboles latins

I	Constante solaire.	$[\text{w}/\text{m}^2]$
λ	Longitude.	$[\text{°}]$
Φ	Latitude.	$[\text{°}]$
A	L'altitude.	$[\text{°}]$
h	hauteur du soleil.	$[\text{°}]$
a	Azimut.	$[\text{°}]$
N	Le numéro du jour dans l'année.	$[\text{jours}]$
TSV	L'heure solaire.	$[\text{heures}]$
P_{ab}	Puissance absorbée par l'absorbeur.	$[\text{W}/\text{m}^2]$
Q_u	L'énergie utile.	$[\text{W}]$
P_v	Puissance absorbée par la vitre.	$[\text{W}/\text{m}^2]$
Q_{ab}	L'énergie absorbée par le capteur.	$[\text{W}]$
P_u	La puissance utile récupérée par le fluide caloporteur.	$[\text{W}/\text{m}^2]$
Q_p	L'énergie perdue	$[\text{W}]$
Q_{st}	L'énergie stockée sous forme de chaleur vive dans les Différents éléments du capteur.	$[\text{W}]$
G	Flux solaire global incident.	$[\text{W}]$
q	Densité de flux de chaleur émis par le corps.	$[\text{W}/\text{m}^2]$
q_{abi}	Quantité de chaleur échangée par conduction entre. L'absorbeur et l'isolant.	$[\text{W}/\text{m}^2]$
T_{sf}	Température de sortie du fluide.	$[\text{°C}]$
T_{ef}	Température d'entrée du fluide.	$[\text{°C}]$
T_{sf}	Température de la paroi solide.	$[\text{°C}]$
T_{ab}	Température de l'absorbeur.	$[\text{°C}]$
T_{il}	Température de l'isolant latéral.	$[\text{°C}]$
T_f	Température du fluide.	$[\text{°C}]$
T_c	Température du ciel.	
A_v	Surface de vitre.	$[\text{m}^2]$
A_{fi}	Surface de tube.	$[\text{m}^2]$
A_i	Surface d'isolante.	$[\text{m}^2]$
h_{cva}	Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre et l'ambient.	$[\text{W}/\text{m}^2]$
h_{cfi}	Coefficient d'échange thermique par convection entre le fluide et isolante.	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
h_{cia}	Coefficient d'échange thermique par convection entre le isolante et l'ambient.	$[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$
T_{va}	Température externe de vitre.	$[\text{C}]$

T_a	Température ambiante.	[C]
T_f	Température de fluide.	[C]
T_{ii}	Température interne d'isolante.	[C]
T_{ie}	Température externe d'isolante.	[C]
S_{abi}	Surface de contact entre l'absorbeur et l'isolant horizontal.	[m ²]
S_{abil}	Surface de contact entre l'absorbeur et l'isolant latéral.	[m ²]
k_i	Coefficient de conductivité thermique d'isolant.	[W/m ² K]
k_{ab}	Coefficient de conductivité thermique d'absorbeur.	[W/m ² K]
k_{il}	Coefficient de conductivité thermique d'isolant latéral.	[W/m ² K]
e_{ab}	Épaisseur d'absorbeur.	[m]
e_i	Épaisseur d'isolante horizontal.	[m]
e_{il}	Épaisseur d'isolante latéral.	[m]
h_{cfi}	Coefficient d'échange par rayonnement entre le vitre et le ciel.	[W/m ² K]
h_{rav}	Coefficient d'échange par rayonnement entre l'absorbeur et le vitre.	[W/m ² K]
h_{ris}	Coefficient d'échange par rayonnement entre l'isolant et le sol.	[W/m ² K]
A_v	Surface de vitre.	[m ²]
A_i	Surface d'isolant.	[m ²]
T_{ve}	Température externe de vitre.	[K]
T_c	Température de ciel.	[K]
T_{vi}	Température interne de vitre.	[K]
T_{ie}	Température externe d'isolant.	[K]
T_s	Température de sol.	
A_v	Surface de la vitre.	[m ²]
A	Surface d'échange.	[m ²]
A_{ab}	Surface de l'absorbeur.	[m ²]
e_{ab}	Surface de la paroi solide en contact avec le fluide.	[m ²]
S_{abi}	Surface de contact entre l'absorbeur et l'isolant horizontal.	[m ²]
h	Coefficient de convection.	[W/m. °C]
A_{lat}	Surface latérale du capteur.	[m ²]
A_c	Surface du capteur.	[m ²]
k	Coefficient de conductivité thermique.	[]
\dot{m}	Débit massique du fluide caloporteur.	[kg/s]
C_p	Chaleur spécifique.	[J/kg .K]
$e_{,f}$	Coefficient de trouble du ciel.	[]
K_{isol}	Coefficient de conductivité thermique de l'isolant	[W/m ² °K]

E_{isol}	Épaisseur de l'isolant.	[m]
-------------------	-------------------------	-----

Symboles grecs

ω	Angle horaire du soleil.	
δ	Angle d'inclinaison.	[°]
β	L'inclinaison du capteur plan par rapport à l'horizontal.	[°]
β_2	Angle forme par la projection de la normal du capteur et la direction sud.	[°]
ρ	Albédo du sol.	
σ	Constante de Stefan-Boltzmann évaluée à $5,6.10^{-8}$.	[W/m ² .K ⁴]
τ_v	Transmissivité de la vitre.	[]
α_v	Absorptivité de la vitre.	[]
α_{ab}	Absorptivité de l'absorbeur.	[]
α_p	Facteur d'absorption du capteur.	[]
η	Rendement instantané du capteur.	

Indices et exposants

H	Horizontal
G	Global
ab	Absorbeur
sa	Absorbé
u	Utile
p	Pert
f_s	Fluide sorte
f_e	Fluide entré
p	Paroi
ii	Isolant Interne
il	Isolant latéral
f	Fluide
c	Ciel
i	Instantané
m	Massique
am	Ambiant
c	Capture

Introduction générale

Depuis la révolution industrielle du XIX^{ème} siècle, l'utilisation de l'énergie d'origine fossile a pris de l'ampleur, et l'exploitation de nouvelles énergies est devenue nécessaire pour subvenir aux besoins actuels de l'humanité.

En effet, le besoin en énergie à multiplier par 10 avec un accroissement à partir des années 40 du siècle dernier, ce qui a pour conséquence l'épuisement des ressources habituelles en matière d'énergie. Les énergies renouvelables notamment le gisement solaire (Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée) ont connu une première phase de développement à l'occasion des chocs pétroliers de 1973 et 1978, puis une période de repli après le contrechoc de 1986, avant de retrouver un second souffle en 1998 après la signature du protocole de Kyoto qui prévoit une baisse de 5.2% des émissions des gaz à effet de serre des pays riches sur la période de 2002-2012 par rapport à 1990.

L'énergie renouvelable la plus dominante est l'énergie solaire qui assure la vie sur terre, et qui a été exploitée par l'homme depuis très longtemps, sous diverses formes.

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. Il est la plus simple et la plus directe il se trouve dans des plusieurs applications thermiques de l'énergie solaire, telles que le dessalement, le séchage des produits agro-alimentaires et le chauffage des habitations ou de l'eau sanitaire.

Un des outils utilisés pour exploiter l'énergie solaire est le capteur solaire thermique, le capteur solaire joue un rôle de convertisseur du rayonnement solaire incident en chaleur.

Les capteurs solaires thermiques permettent aux utilisateurs de générer de l'eau chaude de façon économique (ou pas cher) et de réduire la quantité d'énergie nécessaire pour le chauffage domestique. Etant donné que l'utilisation des capteurs solaire thermique augmente, les producteurs sont confrontés à une demande constante d'amélioration de la qualité, de la performance, de la productivité et des prix compétitifs.

Les couvertures transparentes (vitrage) habituelles sont pour la plupart en verre simple ou traité qui laisse passer jusqu'à 95% de la lumière grâce à leur faible teneur en oxyde de fer. L'utilisation de la couverture transparente du capteur permet d'accroître son rendement et d'assurer des températures de plus de 70°C, en créant un effet de serre qui réduit les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur, en effet, l'utilisation de la couverture transparente évite le refroidissement de l'absorbeur par le vent.

En général, le capteur solaire thermique est constitué d'un couvert transparent, absorbeur, d'une ou plusieurs vitres et isolant sur la partie non réceptrice. L'évacuation de la chaleur reçue par l'absorbeur se fait par utilisation de divers fluides caloporteurs. Il y a plusieurs types des capteurs utilisés : les capteurs à concentration, les capteurs sous vide, les capteurs non vitrés, les capteurs vitrés.

Les performances de l'installation à laquelle appartient ce convertisseur dépendent essentiellement du rendement de ce dernier. En pratique, ce rendement est fonction de l'énergie utile qu'on cherche toujours à augmenter :

- par augmentation de la chaleur reçue par l'absorbeur en augmentant la part du rayonnement absorbé (revêtement de l'absorbeur d'une teinture noire mate)
- par diminution des pertes par conduction de chaleur vers les zones non réceptrices conduction (nécessité d'une bonne isolation) perte par convection et vers l'avant du capteur (nécessité d'un doublage des vitres).

Pour réaliser un bon vitrage en doit utiliser les vitres ayant des bonnes propriétés thermiques.

Dans le cadre de ce travail, nous allons intéresser à l'exploitation du différent vitrage thermique et on va faire une comparaison entre eux pour déterminer la bonne vitre de but d'optimiser la performance des capteurs solaires plans et d'améliorer leurs rendements. Dans ce sens, plusieurs travaux ont été consacrés à l'étude des capteurs solaires plans et ayant surtout pour but l'amélioration de son rendement qui est la performance la plus significative. [1]

Le rendement du capteur varie avec la géométrie du capteur, l'ensoleillement, les conditions extérieures, et les matériaux isolants.

L'objectif de ce travail, est d'étudier et analyser l'influence de vitrage (épaisseur, colore, avec simple vitrage et double vitrage, ou sans vitrage) sur l'efficacité d'un capteur solaire. Pour ce faire, une étude expérimentale a été réalisée pour déterminer l'influence du vitrage sur le rendement de capteurs solaires plans.

Le présent mémoire se répartit en quatre chapitres. Le premier chapitre consiste à une généralité sur l'énergie solaire thermique. Puis dans le deuxième chapitre on présente une étude théorique et bilan énergétique d'un capteur thermique plan. Le troisième chapitre contient une synthèse bibliographique sur les verres et ces propriétés thermiques. Le dernier chapitre présente une étude expérimentale sur l'effet des vitrages sur le rendement d'un capteur thermique plan. Quel est le meilleur vitrage (épaisseur, colore, simple, ou double vitrage, ou sans vitrage). Les profils des températures de chaque composante de capteur, la différence de température entrée sortie, la puissance utile, et le rendement sont représentés pour différents types de vitrage.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale sur les résultats obtenus au cours de cette étude et par l'énoncé des perspectives à venir.

Référence

- [1] R. Kharchi, N. Aït Messaoudène, M. Belhamelet A. Hamid, „Etude Expérimentale du Comportement Thermique d'un Plancher Solaire Direct, Rev. Energ. Ren. : Journées de Thermique, pp 115-119. (2001).

Chapitre

1

Généralités

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [1].

1.1. Soleil

Le soleil est la seule étoile du système solaire et la plus proche de la terre, sa lumière prend environ 8 min pour nous atteindre. La deuxième étoile la plus proche est Proxima de centaure située à 4.23 années lumières du soleil mais la grande distance qui nous sépare de cette étoile fait que le soleil soit la seule étoile qui assure la vie sur terre [2,3].

Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est l'origine de la vie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie, qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques [4].

1.1.1. Présentation générale

Le soleil est une étoile naine de forme pseudo-sphérique comparable à une immense boule de gaz très chaud qui se compose de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus [2,5]. Bien que le soleil soit une étoile de taille

moyenne , il représente à lui seul 99.9% de la masse du système solaire qui est dominé par les effets gravitationnels de l'importante masse du soleil [2,5].

Tableau 1.1. Caractéristiques principales du soleil

Diamètre (km)	1392000
Masse (kg)	2.10^{30}
Surface (km ²)	$6.09.10^{12}$
Volume (km ³)	$1.41.10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m ³)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2.5.10^{17}$

Le soleil n'est pas une sphère homogène, il est constitué de :

- Le noyau contient 40% de la masse du soleil, c'est là où se crée 90% de son énergie sous forme de rayons gamma et X, tout le rayonnement émis dans cette région est totalement absorbé par les couches supérieures, cette zone s'étend sur une épaisseur de 25.10^4 km, elle présente les caractéristiques suivantes [4,6]:
 - Une température de 15.10^6 °C.
 - Une densité est de 1015 kg/m³.
 - Une pression de 10^9 atm.
- La zone radiative où la chaleur produite se propage par une diffusion radiative, elle présente les propriétés suivantes [6,7]:
 - Une épaisseur de 244160 km.
 - Une température variant de 10.10^6 °C à 50.10^4 °C.
- La zone de convection où la chaleur produite se propage par une convection turbulente, elle présente les propriétés suivantes [4] :
 - Une température comprise entre 50.10^4 °C à 6400 °C.
 - Une épaisseur de l'ordre 199758 km.
- La photosphère est une couche opaque, les gaz qui la constituent sont fortement ionisés et capables d'absorber et d'émettre un spectre continu de radiations, elle émet 99% du rayonnement total principalement dans le visible et c'est elle que l'œil humain perçoit. Elle présente les caractéristiques suivantes [8] :

- La température de surface décroît de 6400 °C à 4500 °C.
- Une épaisseur de 500 km.
- Une pression de 1/100 atm.
- La chromosphère constitue avec la couronne l'atmosphère du soleil, cette couche présente les caractéristiques suivantes [7,8]:
 - Une épaisseur 2000 km.
 - Une température augmentant de 4200 °C à 10^4 °C.
- La couronne est la dernière couche du soleil, ses caractéristiques sont [6] :
 - Elle est sans limite précise.
 - La température augmente de 10^6 °C à 2.10^6 °C.

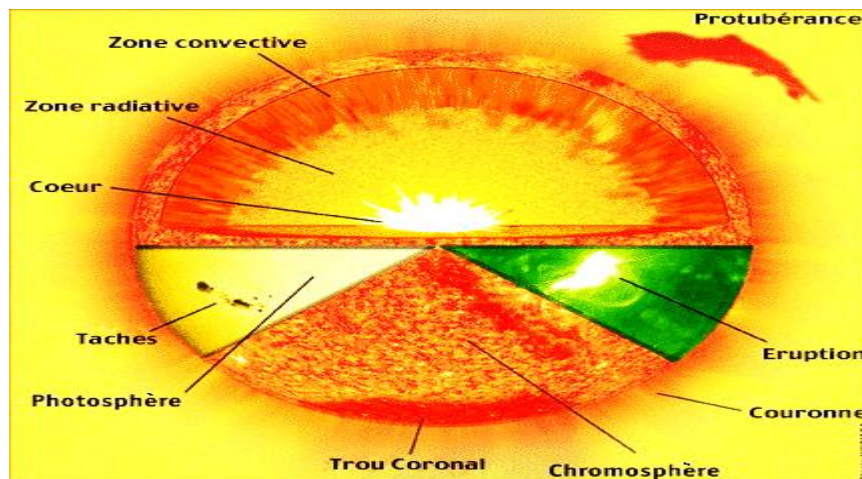


Figure 1.1. Structure du soleil [6]

1.1.2. Evolution

Pendant les cinquante premiers millions d'années de son existence, le soleil s'est contracté, jusqu'à atteindre approximativement sa taille actuelle. L'énergie gravitationnelle libérée par ce mouvement a chauffé l'intérieur de l'astre et, lorsque le noyau s'est révélé suffisamment chaud, la contraction a cessé pour laisser place à la réaction de fusion thermonucléaire [5].

La durée de vie du soleil dépend de la quantité d'hydrogène qui reste à consommer, on estime qu'il existe depuis environ 4.5 milliards d'années, et subsistera, tel qu'il est, pendant au moins encore 5 milliards d'années [5].

Lorsque le soleil aura épuisé ses réserves d'hydrogène, il changera de structure. Sa surface externe s'étendra au-delà de l'orbite actuelle de la terre ou il se transformera en une géante rouge, légèrement plus froide en surface qu'actuellement, mais 10 000 fois plus brillante en raison de sa taille gigantesque. Le soleil demeurera une géante

rouge, brûlant l'hélium dans son noyau, pendant un demi-milliard d'années seulement, après ce stade, le noyau résiduel du soleil s'effondrera pour former une étoile naine blanche petite de la taille de la terre environ, il se refroidira alors lentement pendant plusieurs milliards d'années [5].

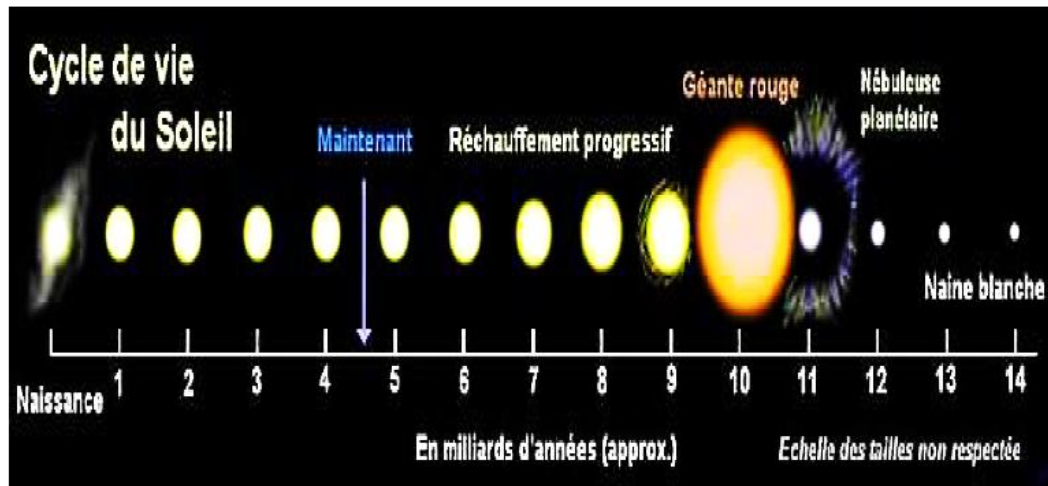


Figure 1.2. Cycle de vie du soleil [5]

1.2. Energie solaire

1.2.1. Origine

Les conditions résidantes au cœur du soleil favorisent l'interaction des différents atomes d'hydrogène qui subissent une réaction de fusion thermonucléaire. Le résultat de ce processus, lorsqu'il se répète est la fusion de quatre noyaux d'hydrogène en un noyau d'hélium avec émission d'énergie sous forme de rayonnements gamma et X. Chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène se transforment en 560 millions de tonnes d'hélium, cette différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à la différence d'énergie de liaison entre les protons d'hydrogène et ceux d'hélium donnant une énergie sous forme de rayonnement, estimée à $3.7 \cdot 10^{26}$ J/s.

1.2.2. Caractères particuliers

L'énergie solaire est la seule source d'énergie externe de la terre, elle présente les propriétés suivantes [9]:

- Elle est universelle, sa densité de puissance maximale est de 1 kW/m^2 à midi par ciel bleu sur toute la planète.
- La densité de puissance maximale reçue au niveau du sol (1 kW/m^2) est peu dense on parle alors d'énergie diffuse.

- Elle est abondante, notre planète reçoit plus de 10^4 fois l'énergie que l'humanité consomme.
- Elle est intermittente et variable à cause de l'alternance du jour et de la nuit, des variations saisonnières et quotidiennes de l'ensoleillement.
- L'énergie reçue par une surface donnée n'est pas récupérable en totalité ceci est dû aux pertes d'énergie sous formes conductrice, convective ou rayonnante.
- Elle est propre.

1.2.3. Captation

Il existe différentes techniques pour capter une partie de cette énergie à savoir:

- **Energie solaire thermique**

Le thermique solaire est un procédé de transformation de l'énergie solaire en une forme thermique, qu'on peut utiliser :

- En usage direct de la chaleur : chauffe-eau solaire, chauffage solaire, cuisinière et séchoir solaire.
- En usage indirect où la chaleur sert pour un autre usage : centrales solaires thermodynamiques, froid solaire.

- **Energie solaire thermodynamique**

Le solaire thermodynamique utilise le solaire thermique pour produire de l'électricité selon le même principe qu'une centrale électrique classique mais en utilisant des centrales hélio thermoélectriques [9,10].

Trois types principaux de centrales sont utilisés [9]:

- Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques pour atteindre des températures entre 300 et 350 °C.
- Les centrales à capteurs paraboliques pour atteindre des températures de 1000°C ou plus.
- Les centrales à tour pour atteindre 1000 °C.

- **Energie solaire photovoltaïque**

Elle permet de produire de l'électricité produite par transformation d'une partie rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque [9]. Les photopiles utilisent l'effet photovoltaïque, elles sont formées d'une couche d'un matériau semi-conducteur et d'une jonction semi-conductrice. Le silicium est le plus employé; cependant,

l'arséniure de gallium offre des meilleures performances, mais reste beaucoup plus onéreux [9].

1.3. Position du soleil

1.3. a. Coordonnées géographiques

Tout point de la surface de la terre est repéré par ses coordonnées géographiques [7, 8, 11]:

- **Longitude (λ)** : est l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu avec la méridienne origine de Greenwich, elle varie de -180° à $+180^\circ$ de l'ouest à l'est.
- **Latitude (φ)** : est l'angle avec le plan équatorial que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu, elle varie entre $+90^\circ$ au pôle Nord et -90° au pôle Sud.
- **L'altitude (A)** : est l'altitude d'un point correspondant à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (le niveau de la mer = 0), elle est exprimée en mètre.

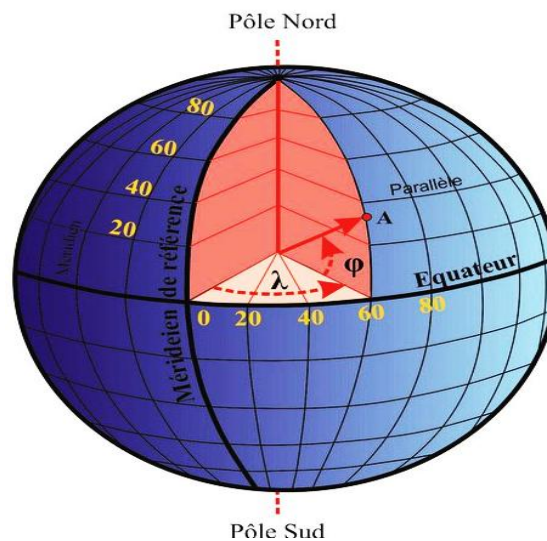


Figure 1.3. Coordonnées géographiques

1.3. b. Coordonnées horizontales

- **hauteur du soleil (h)** : est l'angle entre la direction du soleil et sa projection. Elle est comptée positivement de 0 à $+90^\circ$ vers le zénith et négativement de 0 à -90° vers le nadir.
- **Azimut (a)** : est l'angle entre la direction de soleil et la direction de sud. On peut le compter positivement de 0 à $+180^\circ$ vers l'ouest et négativement de 0 à -180° vers l'est.

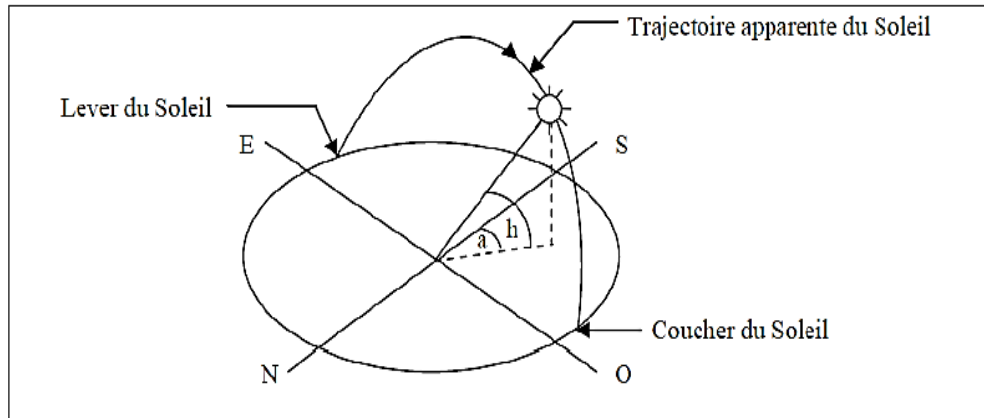


Figure 1.4. Coordonnées horizontales. [12]

1.3.c. Coordonnées célestes horaires

- **Angle horaire (ω)** : est déterminé par la rotation régulière de la terre au tour de son axe. Elle est comptée positivement dans le sens rétrograde de 0 à +360°, une heure sidérale vaut donc 15° d'angle et $\omega=0^\circ$ (12h:00) au méridien de Greenwich. [12]
- **Déclinaison (δ)** : est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle est variée au cours de l'année de +23°27' à -23°27' et détermine l'inégalité des durées des jours.

δ : est donnée par la relation suivante :

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360}{365}(N + 284)\right) \quad (1.1)$$

N : Le numéro du jour dans l'année compté à partir des 1^{ères} janvier (1 à 366).

Elle est comptée positivement de 0 à +90° de (E) vers P (pole boréal), et négativement de 0 à -90° de (E) vers P' (pole austral).

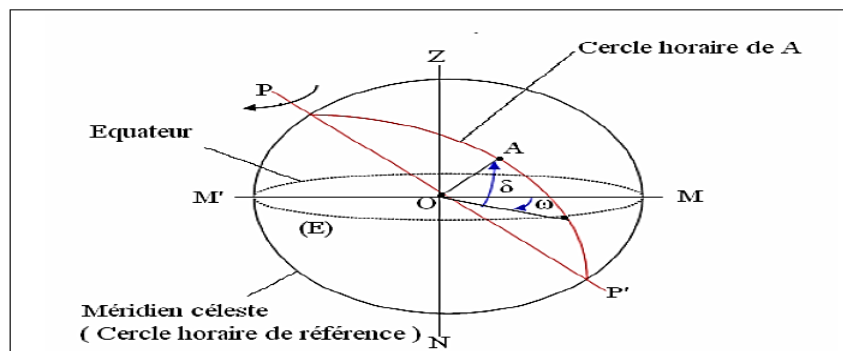


Figure 1.5. Coordonnées horaires.

1.4. Rayonnement solaire

Les réactions thermonucléaires produites au cœur du soleil génèrent des rayonnements corpusculaires et électromagnétiques se propageant dans toutes les directions du vide intersidéral avec une vitesse de 3.10^8 m/s couvrant toutes les longueurs d'ondes depuis les rayons X et gamma jusqu'à l'I.R lointain. Cependant 99.9% de l'énergie se situe entre 0.2 et $8\mu\text{m}$ [7].

On pourra supposer avec une approximation acceptable que le soleil rayonne comme un corps noir porté à une température de 5762 K dit température apparente du soleil ne correspondant pas à la réalité physique [8].

La répartition de l'énergie solaire dans les bandes du spectre du rayonnement thermique est donnée dans le tableau 1.2 :

Tableau 1.2. Répartition spectrale du rayonnement thermique [6]

Longueur d'onde (μm)	0-0.38	0.38-0.78	0.78
Pourcentage (%)	6.4	48	45.6
Energie (W/m^2)	87	656	623

❖ Constante solaire

La constante solaire est le flux énergétique reçu par une surface unité, située à la limite de l'atmosphère. Dans notre cas, la valeur a été retenue en 1980 est: $I_0 = 1367$ W/m^2 ; I_0 est variable autour de l'année puisque la distance terre soleil est elle-même variable (Trajectoire elliptique). La correction terre soleil est donnée par :

$$C = 1 + 0.034 \cos(360/365(J - 2)) \quad (1.2)$$

Le constant solaire corrigé est :

$$I = I_0 C \quad (1.3)$$

1.4.1. Rayonnement solaire direct

Le rayonnement direct est le rayonnement incident sur un plan donné en provenance d'un petit angle solide centré sur le disque solaire, il parvient en ligne droite et par temps clair [12]. L'état du ciel est défini par deux coefficients, e et f qui symbolisent le trouble atmosphérique du lieu où se trouve le capteur solaire (tableau 1.3).

La transmissivité totale de l'atmosphère pour le flux solaire incident direct est donnée par [13]:

$$\tau_{dir} = e \exp(-f / \sin(h)) \quad (1.4)$$

Où:

e, f coefficient de trouble du ciel

h : hauteur du soleil

Tableau 1.3. Coefficient de trouble de ciel

	Ciel dégagé très pur	Conditions normales	Zone industrielle
e	0.78	0.88	0.91
f	0.17	0.26	0.43

- Dans le cas horizontal :

Le rayonnement mesuré sur un plan horizontal est donné par la relation suivante

$$E_1 = I_0 C \tau_{dir} \sin(h) \quad (1.5)$$

Dans le cas d'un plan incliné

- L'éclairement énergétique reçu sur un plan incliné est donné par [13]:

$$E_2 = I_0 \tau_{dir} \cos(\theta) \quad (1.6)$$

Avec

θ : angle d'incidence des rayons solaires

$$\cos(\theta) = \cos(\beta) \sin(h) + \cos(h) \cos(a - \beta_2) \quad (1.7)$$

β : L'inclinaison du capteur plan par rapport à l'horizontal

a : azimut de soleil

β_2 : Angle forme par la projection de la normal du capteur et la direction sud.

1.4.2. Rayonnement diffus D

C'est le rayonnement global à l'exception du rayonnement direct, il comprend la plus grande partie du rayonnement réfléchi par le sol suivant l'inclinaison de la surface réceptrice, il se compose en deux composantes.

1.4.2.1. Rayonnement diffus provenant de la voute céleste

- Dans le cas d'un plan horizontal

L'irradiation diffuse provenant de la voute céleste reçue sur un plan horizontal s'écrit suivant la formule suivante [10] :

$$dih = I_0 c \sin(h) \left[0.2710 - 0.2939 e \exp\left(\frac{-f}{\sin(h)}\right) \right] \quad (1.8)$$

- Dans le cas d'un plan incline

$$difc = difh \left[1 + \frac{\cos(\beta)}{2} \right] \quad (1.9)$$

1.4.2.2. Rayonnement diffusé par le sol

- Dans le cas d'un plan horizontal :

$$dif2h = \rho(E_1 + difh) \quad (1.10)$$

ρ : Albédo de la fraction de l'énergie incidente diffusée par un corps lumineux

- Dans le cas d'un plan incliné :

$$difs = dif2h(1 - \cos(\beta) / 2) \quad (1.11)$$

Le flux diffus reçu sur un plan incliné est défini par [10]:

$$dif = difc + difs \quad (1.12)$$

1.4.3. Rayonnement global G

C'est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus, donc on peut l'exprimer par

$$G = dif + E_2 \quad (1.13)$$

1.5. Paramètre de tempes

On distingue:

- Le temps solaire vrai (TSV) est l'angle horaire entre le plan méridien passant par le centre du soleil et le méridien du lieu considéré, il est donné par l'expression:

$$TSV = 12 + \lambda/15 \quad (1.14)$$

- Le temps solaire moyen (TSM) est donné par [1]:

$$TSV - TSM = ET \quad (1.15)$$

La terre sur sa trajectoire autour du soleil introduit un terme correctif appel équation de temps.

$$E.T = -[0.0002 - 0.4797 \cos(\omega'j) + 3.2265 \cos(2\omega'j) + 0.903 \cos(3\omega'j) + 7.3509 \sin(\omega'j) + 9.3912 \sin(2\omega'j) + 0.3361 \sin(3\omega'j)] \quad (1.16)$$

$$\omega' = 0.984$$

j : nombre du jour de l'année

- Le temps universel (TU) est le temps moyen de Greenwich :

$$TU = TSM \pm \lambda/15 \quad (1.17)$$

(+) pour longitudes EST, (-) pour longitude OUEST.

- Le temps légal (TL) est le temps officiel d'un état, il est donné par :

$$TL = TU + \Delta H \quad (1.18)$$

ΔH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré (égale à 1 pour l'Algérie). Le temps solaire vrai est égal au temps légal corrigé par un décalage dû à l'écart entre la longitude du lieu et la longitude référence.

$$TSV = TL + (ET + 4\lambda)/6026 \quad (1.19)$$

Cette équation du temps (ET) indique la correction qui permet de passer du temps solaire vrai au temps solaire moyen cette correction varie de -14 à +16 minutes au cours de l'année.

Cela veut dire que le soleil peut passer au méridien de 16minutes d'avance ou 14 minutes de retard par rapport au temps moyen.

1.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié brièvement le soleil, son énergie et son rayonnement reçus au niveau de la terre. Nous définirons quelques données astronomiques nécessaires pour cette étude.

Référence

- [1] M. Capderou. Atlas solaire de l'Algérie, O.P.U, Alger. (1985).
- [2] J. Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [12] C. Younes. Étude de l'utilisation d'un bassin d'eau comme capteur solaire, mémoire Magister en génie climatique , option thermique du Bâtiment et Réfrigération , université M'entouré Constantine, décembre 2005.
- [3] A. H. Khedim. Energie solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire. (2003).
- [4] R. Bernard, G. menguy, M. Schwartz. Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications, Technique et Documentation. (1979).
- [5] Z. Sen. Solar energy fundamentals and modeling techniques, Springer. (2008).
- [6] J. A. Duffie, W. A. Beckman. Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons. (1980).

-
- [7] A. Sfeir, G. Guarracino. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981).
- [8] Ch. Perrin de Brichambaut, C. Vauge. Le gisement solaire , Technique et Documentation, Paris. (1982).
- [9] J. Bonal, P. Rossetti. Les énergies alternatives, Omniscience . (2007).
- [10] D. K. Edwards. Capteurs solaires, Edition SCM, paris. (1979).
- [11] A. Mefti, M. Y. bouroubi, H. Mimouni. Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, p 12, décembre. (2002).
- [12] C. Younes. Étude de l'utilisation d'un bassin d'eau comme capteur solaire, mémoire Magister en génie climatique, option thermique du Bâtiment et Réfrigération, Université M'entouré Constantine, décembre 2005.
- [13] S. A. Hakem, N. Kasbadji-Merzouk, M. Merzouk. Performances journalières d'un chauffe-eau solaire, Revue des Energies Renouvelables, pp. 153-162. (2008).
- [14] U. Eiker. Solar technologies for buildings , John Wiley sans Sons , England . (2001).

Chapitre

2

Etude théorique du capteur plan thermique et bilan énergétique

Le capteur solaire est un échangeur de chaleur qui fonctionne entre une source radiante le soleil par exemple et un fluide. Son rôle est la conversion de l'énergie apportée par le rayonnement solaire en énergie calorifique. La chaleur collectée par l'absorbeur est cédée au fluide caloporteur qui circule dans des canalisations qui servent à transporter la chaleur du capteur vers le point d'utilisation.

2.1. Définition de Capteur solaire

Le capteur solaire est un système thermique qui permet la conversion de l'énergie solaire en énergie calorifique. Son principe de fonctionnement est basé sur l'effet de serre qui consiste à piéger le rayonnement solaire.

2.2. Différents types des capteurs solaires

Selon la conversion d'énergie on distingue deux catégories de capteurs solaires :

2.2.1. Capteurs solaires photovoltaïques

Il s'agit des appareils transformant l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique.

2.2.2. Capteurs solaires thermiques

Un capteur solaire thermique est un dispositif convertissant l'énergie de la lumière solaire en énergie thermique (chaleur). L'énergie thermique est ensuite absorbée par un fluide caloporteur, par exemple l'eau ou l'air. Le fluide circule dans un serpentin, peint en noir, éventuellement recouvert d'une surface vitrée et protégé sur les autres

faces par un isolant. Les capteurs thermiques à eau peuvent servir pour chauffer l'eau sanitaire ou comme chauffage d'appoint. On peut également utiliser le solaire thermique pour chauffer une maison par l'intermédiaire d'un plancher chauffant. Le transfert thermique se fait alors directement avec l'air. Lorsque l'ensoleillement n'est pas suffisant pour amener l'eau à bonne température, le chauffe-eau est aussi relié à une chaudière d'appoint pour suppléer le capteur [1]. Deux catégories de capteurs solaires thermiques :

a- Capteurs à concentration.

b- Capteurs non concentration.

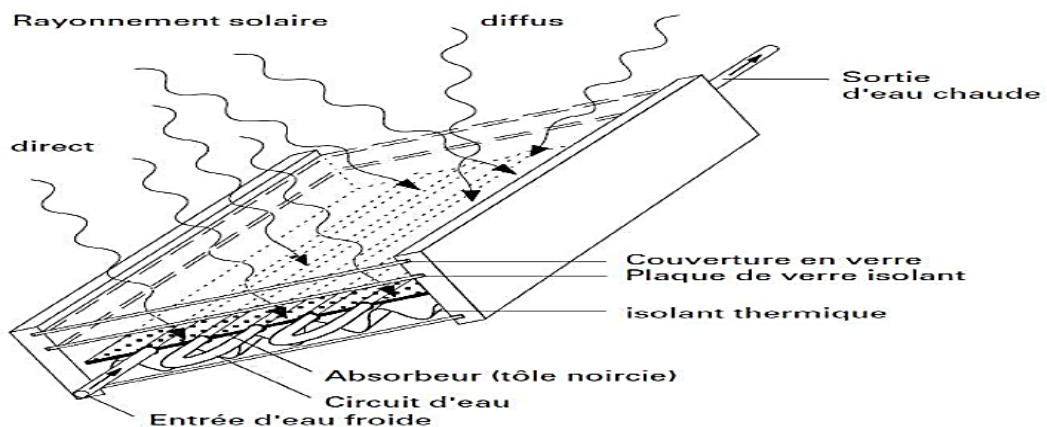


Figure 2.1. Capteur solaire thermique

2.2.2. a. Capteurs à concentration

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil. [2]

- **Capteur cylindro-parabolique**

C'est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section parabolique. Les miroirs cylindro-paraboliques alignés concentrent la chaleur. Le circuit du fluide caloporteur passe au centre de chaque miroir et traverse l'ensemble du champ de capteurs [3].

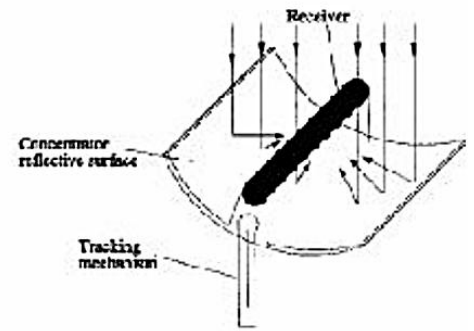


Figure 2.2. Capteurs cylindro-parabolique [3]

- **Capteur parabolique**

Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils suivent le soleil sur 2 axes afin de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante [3].

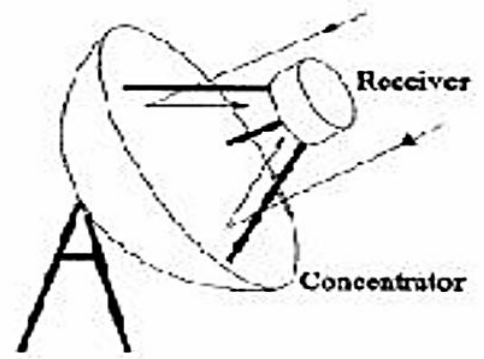


Figure 2.3. Capteur parabolique [3]

- **Centrales à tour**

Les installations de ce type concentrent la lumière sur un absorbeur ponctuel, à l'aide de miroirs (appelé "héliostats") qui suivent le soleil selon deux directions, sur une chaudière située au sommet d'une tour. De ce fait, le facteur de concentration est plus important, ainsi que les températures atteintes. Compte tenu du grand nombre de miroirs, les puissances peuvent atteindre plusieurs MW. Ces systèmes permettent d'atteindre des températures de 400 à 800 °C.

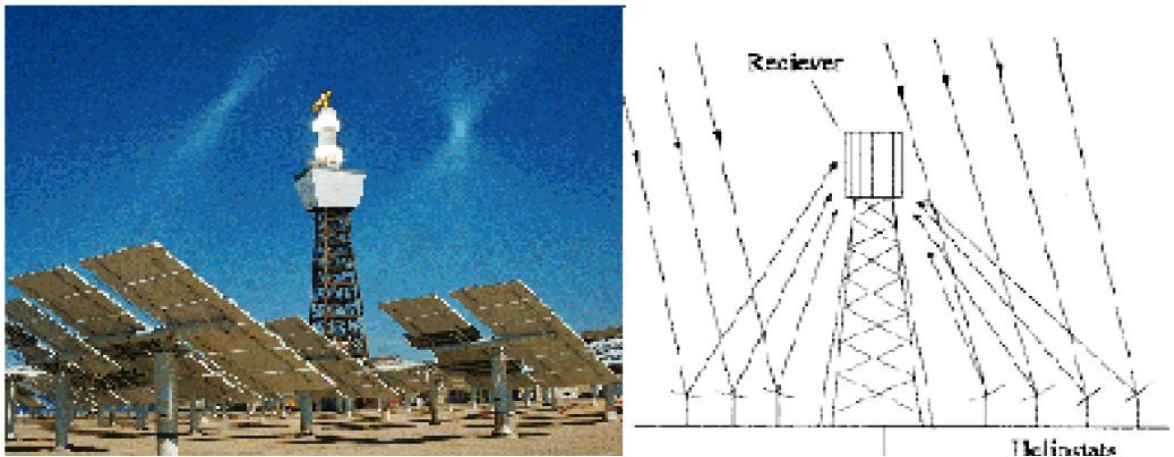


Figure 2.4. Centrales à tour

- **Capteurs à lentille de Fresnel**

Les collecteurs à miroirs de Fresnel offrent une solution alternative aux capteurs cylindro-paraboliques. Ce système utilise des miroirs plans disposés en lamelles parallèles qui s'inclinent de manière à suivre le soleil et à concentrer les rayons sur l'absorbeur tubulaire placé au-dessus (Figure 2-5). Le fluide caloporteur (eau, huile, vapeur) circulant dans l'absorbeur peut être chauffé jusqu'à 400-450°C [4].

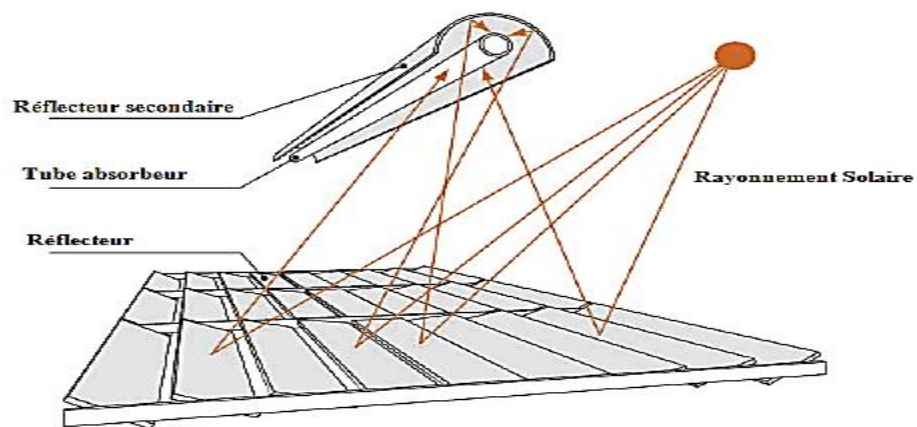


Figure 2. 5. Capteur à concentration à lentille de Fresnel [4]

2.2.2. b. Capteur non concentration

- **Capteur solaire plan**

Le capteur solaire plan est un système thermique qui permet la conversion de l'énergie solaire en énergie calorifique. La chaleur reçue de cette conversion est utilisée soit directement (cas de chauffage), soit elle-même convertie en énergie

mécanique par l'intermédiaire des cycles thermodynamiques. Son principe de fonctionnement est basé sur l'effet de serre qui consiste à piéger le rayonnement solaire, où ce dernier arrive au niveau du couvert et le traverse pour atteindre une surface revêtue d'une peinture noire, appelée absorbeur [5].

L'absorbeur va absorber une grande partie du rayonnement solaire entraînant une augmentation de sa température. Le rayonnement réfléchi par l'absorbeur arrive sur la vitre et comme celle-ci est opaque aux rayonnements infrarouges, le rayonnement est ainsi piégé [5].

- **Capteurs plan vitrés**

C'est un élément très simple, comportant un absorbeur métallique qui transforme le rayonnement solaire en chaleur, transmet cette chaleur à un liquide caloporteur, cet absorbeur est monté dans un boîtier isolé recouvert d'un verre ou feuille en matière synthétique hautement transparente. L'absorbeur comporte une couche noire souvent sélective qui absorbe efficacement le rayonnement solaire et réduit les pertes par rayonnement. [6]

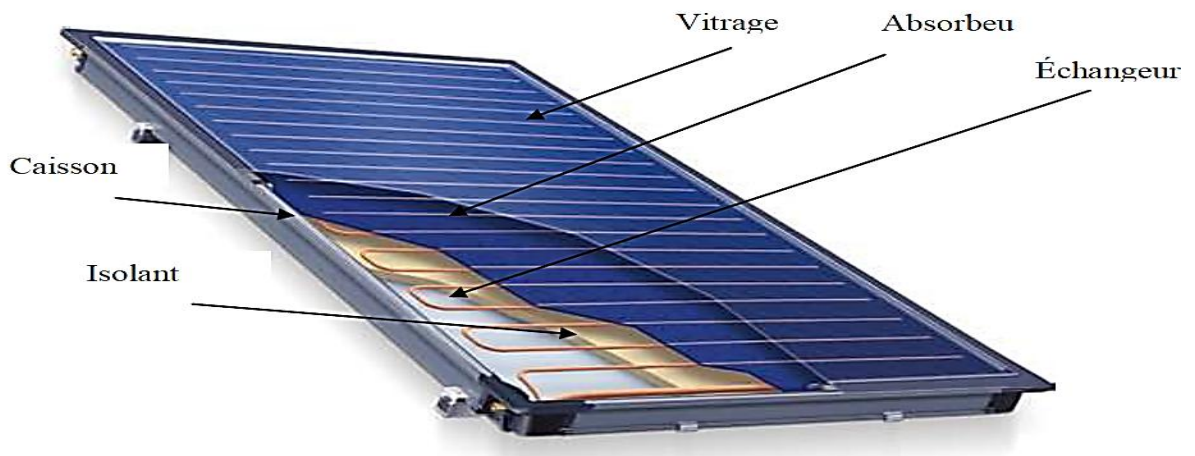


Figure 2.6. Capteur plan vitré [6]

- **Capteur plan non vitrés**

Ce capteur est le plus simple que l'on puisse imaginer, son application usuelle est le chauffage de piscine en plein air, il ne permet pas la production sauf dans les pays chauds. Il s'agit d'un seul absorbeur en matière synthétique pour les applications à basse températures en métal revêtu d'une couche sélective, se compose d'un réseau de tubes noirs accolés les uns aux autres.[6]



Figure 2.7. Capteurs plans sans vitrage [6]

- **Capteurs plans sous vide**

Les capteurs sous vide permettent d'atteindre des températures plus élevées (jusqu'à 120°C). Ils sont constitués de tubes en verre dans lesquels se trouve un absorbeur sélectif. Le vide réalisé dans les tubes permet de diminuer fortement les pertes thermiques du capteur, l'autre avantage de ce capteur est de pouvoir être disposé suivant n'importe quelle inclinaison ce qui facilite son intégration.



Figure 2.8. Capteur sous vide

- **Capteur plan à double vitrage [7]**

Nous utilisons double vitres pour améliorer encore les propriétés des capteurs dans la mesure où constructeurs utilisent parfois deux vitres.

- La vitre intermédiaire : Elle utilise comme piège-le, rayonnement calorifique pour vérifier le phénomène de l'effet de serre.

- La vitre de protection (vitre extérieure) : Ce second verre a très peu d'incidences sur l'effet de serre. Son intérêt consiste surtout en une meilleure isolation thermique de la face avant du capteur. Sa qualité est aussi importante que celle de l'isolation.

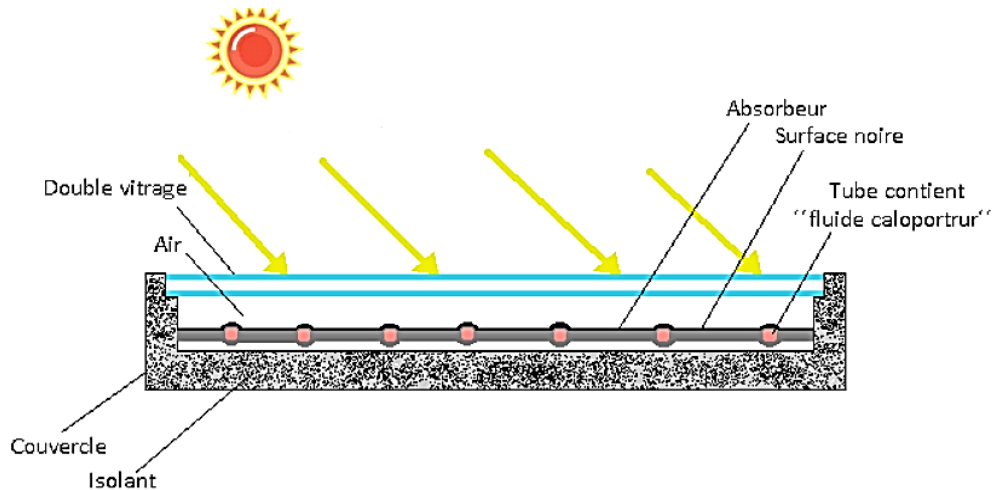


Figure 2.9. Capteur plan double vitrage [7]

- **Capteurs à air**

Comme leur nom l'indique, produisant de l'air chaud, ces capteurs sont indiqués dans certaines installations de ventilation, d'aération douce, de chauffage des locaux et dans le cas du chauffage à air, on peut directement faire passer l'air à réchauffer à travers le capteur.

Une application particulière de ces capteurs est le séchage du foin, ils sont légers et n'ont pas de problème de refroidissement ni d'ébullition, c'est l'avantage par rapport aux capteurs liquide.

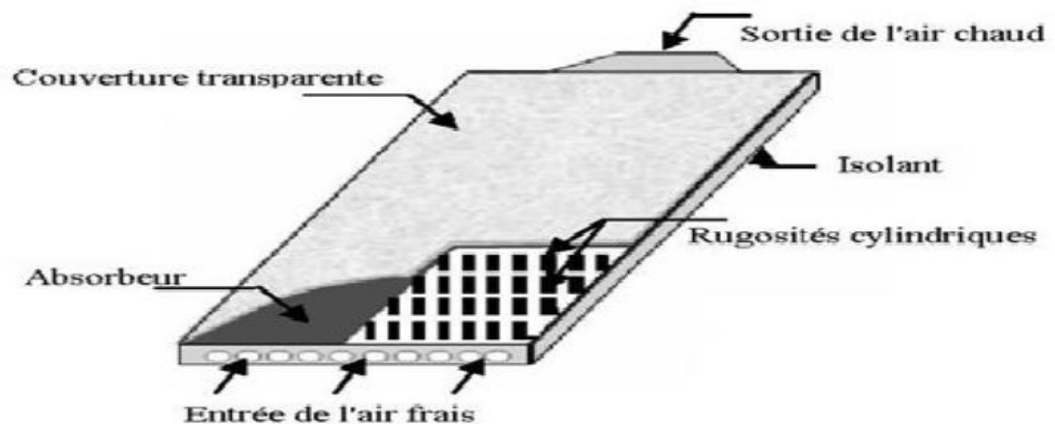


Figure 2.10. Capteur plan à air

2.3. Eléments de construction d'un capteur solaire plan

Un capteur plan est constitué essentiellement figure 2.11 :

- Absorbeur
- Fluide caloporteur
- Couverture transparente
- Isolation thermique
- Coffre ou la cadre

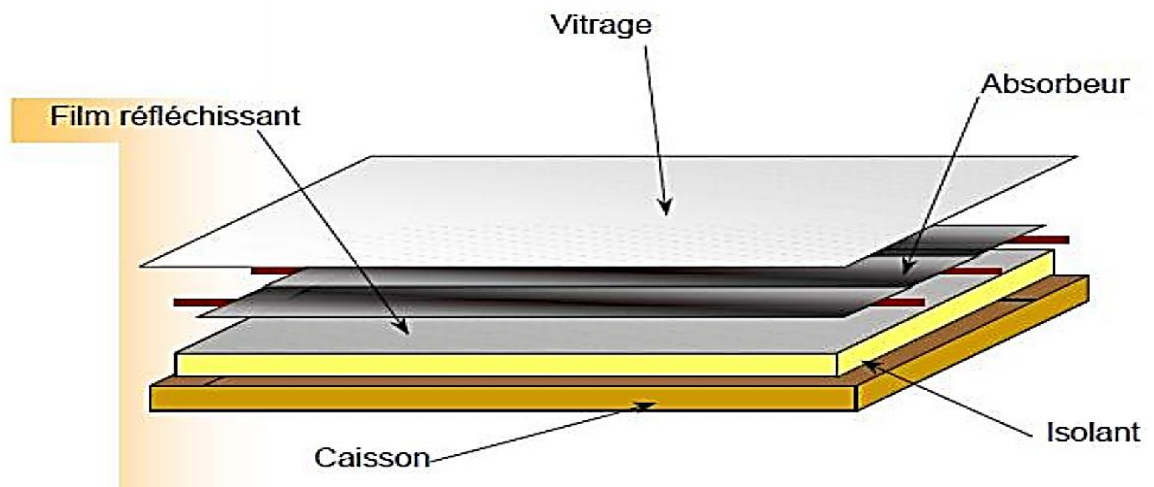


Figure 2.11. Composants d'un capteur solaire plan vitré

2.4. Principe de Fonctionnement d'un capteur solaire plan

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan est très simple [8]. le rayonnement solaire traverse la vitre et arrive sur l'absorbeur muni d'une surface sélective où il est converti en chaleur à sa surface (figure 2.12). Le fluide caloporteur qui circule dans l'absorbeur conduit la chaleur captée vers un échangeur de chaleur, à partir duquel elle est transmise au consommateur.

Le vitrage est transparent pour le rayonnement visible et le proche I.R mais opaque pour le rayonnement I.R lointain émis par l'absorbeur , ainsi , la couverture transparente crée un effet de serre.

L'isolation thermique en dessous et autour du capteur diminue les déperditions thermiques et augmente ainsi son rendement.

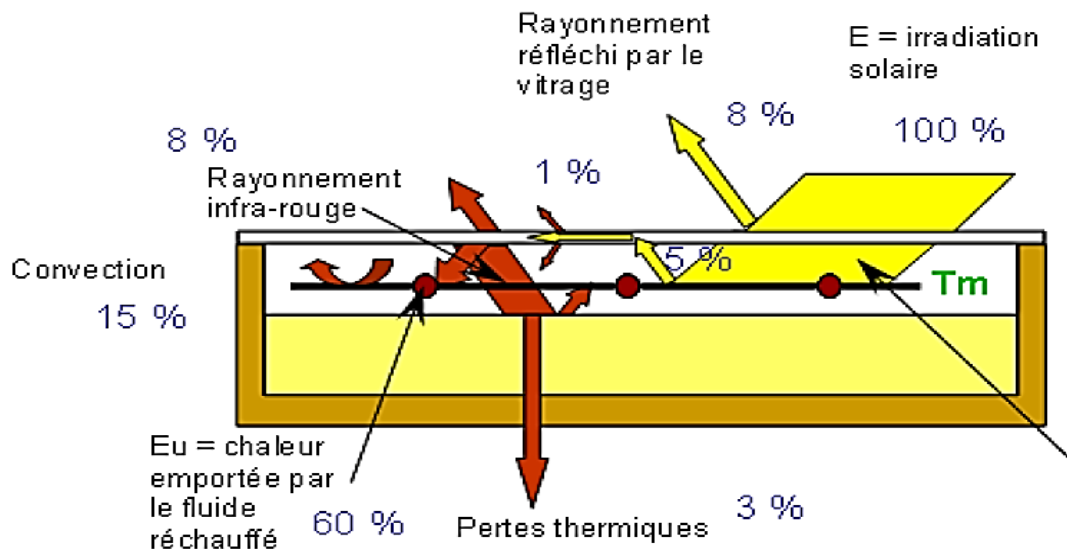


Figure 2.12. Principe de fonctionnement du capteur solaire plan [8]

2.5. Paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire

L'efficacité thermique du capteur solaire dépend fortement du matériel, de la forme, des dimensions, de la disposition du capteur et des conditions environnantes. Tous ces facteurs peuvent être classés en deux catégories principales :

2.5.1. Paramètres internes

- vitre

La plus part des capteurs solaires couverts utilisés sont à couverture simple, à double ou triple. S.Y. Ali [9] a montré dans une étude expérimentale que la couverture triple donne des performances plus importantes que celle à double vitre grâce à la minimisation des pertes vers l'extérieur. T. Koyuncu [10], a aussi étudié expérimentalement l'influence du nombre de couvertures et il a trouvé que ce facteur influe fortement sur l'efficacité du capteur. Le verre est tout à fait intéressant comme couverture pour les dispositifs solaires, puisque il absorbe presque tout le rayonnement infrarouge réémis par l'absorbeur ayant pour résultats une amélioration de l'efficacité thermique du capteur. Mais son utilisation possède aussi des inconvénients qui sont, son coût élevé et sa fragilité pendant le transport et en service. C'est la raison pour laquelle, pendant plusieurs années, des couvertures en plastique transparent ont été appliquées largement pour construire des capteurs solaires de coût modéré et rigides.

- **Absorbeur**

L'augmentation de la surface du capteur accroît le taux du rayonnement solaire intercepté et la surface de contact entre l'absorbeur et le fluide caloporteur (augmentation de la surface d'échange), mais aussi elle augmente le coefficient des pertes thermiques entre la couverture et l'extérieur [11]. L'allongement du capteur solaire influe fortement sur son efficacité [12].

- **Isolation**

Les pertes de chaleur principales du capteur sont de la couverture, puisque les cotées et le dos peuvent être isolés, alors que la face avant doit être exposée au rayonnement solaire et à la température ambiante. C'est pour cela l'air est utilisé fréquemment comme une isolation contre les pertes de chaleur conductrices et convectives de l'absorbeur vers la vitre. Selon [14]. On peut réduire ces pertes en utilisant de l'isolation transparente (ici un film de bulles d'air). Aussi F. Benyelles et al. [15] ont montré qu'on peut utiliser l'aérogel (matériau poreux de faible conductivité thermique) comme une superbe isolant de la face avant du capteur solaire plan.

2.5.2. Paramètres externes

- **Rayonnement solaire**

Selon F. Moukhtari et D. Semmar [16], l'efficacité du capteur solaire est influée considérablement par le rayonnement solaire, et l'élévation de la température varie presque linéairement avec le rayonnement solaire incident [12].

- **Vitesse du vent**

La vitesse du vent apparaît dans le coefficient de convection entre la vitre et l'extérieur qui agit sur la valeur des pertes, c'est pourquoi la connaissance des données météorologiques est important. Lorsque le coefficient de transfert thermique dû au vent est à son maximum (pour une longueur de 1 m d'absorbeur noir installé horizontalement) la réduction maximum de l'efficacité s'avère au plus bas niveau comme souligné par R. Karwa, et al. [17].

- **Orientation et inclinaison du capteur**

L'influence de l'orientation d'un capteur et de son inclinaison avec l'horizontal est due au fait que ces deux dernières changent, le rayonnement solaire atteignant la surface du

capteur. La meilleure orientation du capteur solaire est de l'orienter directement au sud [18].

L'angle optimum d'inclinaison est appliqué à une variété de systèmes, tels que, les capteurs plans ou paraboliques, les panneaux photovoltaïques, maisons solaires et serres installées dans une position fixe. Cet angle joue un rôle important en augmentant la collection d'énergie par les capteurs solaires.

- **Albédo**

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable...).

Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lieu appelé Albédo (ξ) :

$$0 \leq \xi \leq 1$$

$$\xi = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie reçue}} \quad (2.1)$$

2.6. Différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire

Un capteur solaire met en jeu simultanément les trois modes de transfert thermique, conduction, convection et rayonnement.

2.6.1. Conduction

La conduction est le mode de transfert de chaleur caractérisé par la propagation de l'énergie thermique dans un milieu matériel sans déplacement de la matière [19]. La loi correspondant à ce processus de diffusion thermique est la loi de Fourier donnée par la relation [19]:

$$Q_{cd} = -K.S.gradT \quad (2.2)$$

Q_{cd} : Flux de chaleur.

K : Coefficient de conductivité thermique. ($W/m^2 K$) ; S : Surface d'échange (m^2)

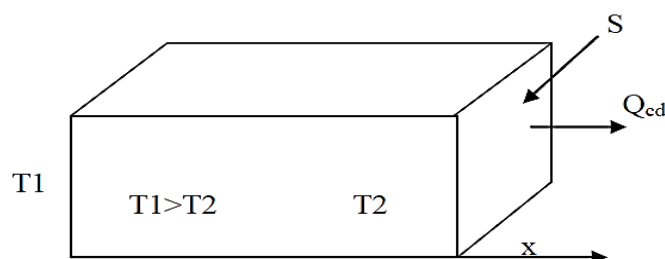


Figure 2.13. Schéma du transfert de chaleur par conduction

2.6. 2. Convection

La convection est un transport d'énergie dû à des mouvements macroscopiques, on distingue deux types de convection [19] :

Convection forcée : le mouvement du milieu est engendré par un dispositif externe (le vent, une pompe, un ventilateur... etc). [19]

Convection naturelle : le mouvement du fluide est engendré par les variations de densité causées par des variations de température au sein du fluide.

Le transfert thermique convectif est régi par la loi de Newton [19]:

$$Q_{cv} = h_c S (T_p - T_\infty) \quad (2.3)$$

Q_{cv} : Flux de chaleur par convection (W).

S : Surface de transmission de chaleur (m^2).

T_p : Température de surface de solide (K).

T_∞ : Température du fluide avant son contact avec le solide (K).

h_c : Coefficient de transmission thermique par convection ($W/m^2 \cdot K$).

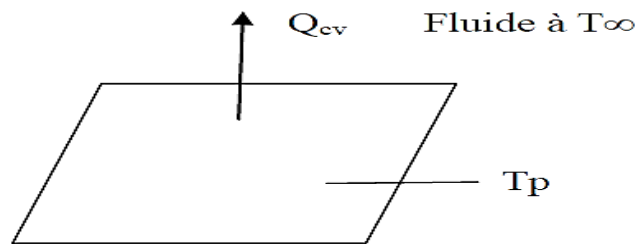


Figure 2.14. Schéma du transfert de chaleur par convection

2.6.3. Rayonnement

Le transfert de chaleur par rayonnement a lieu lorsque l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques est émise par une surface et absorbée par une autre. Cet échange peut avoir lieu lorsque les corps sont séparés par le vide ou par n'importe quel milieu intermédiaire suffisamment transparent pour les ondes électromagnétiques.

La loi fondamentale du rayonnement est celle de Stefan-Boltzmann :

$$Q_r = S \cdot \varepsilon \cdot \sigma (T_p^4 - T_\infty^4) \quad (2.4)$$

Q_r : Densité de flux de chaleur émis par le corps.

ε : Emissivité thermique du matériau.

σ : Constante de Stefan-Boltzmann évaluée à $5,6 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^{-4}$.

T_p : Température de la surface.

T_∞ : Température du milieu environnant la surface ; S : Surface d'aire (m^2).

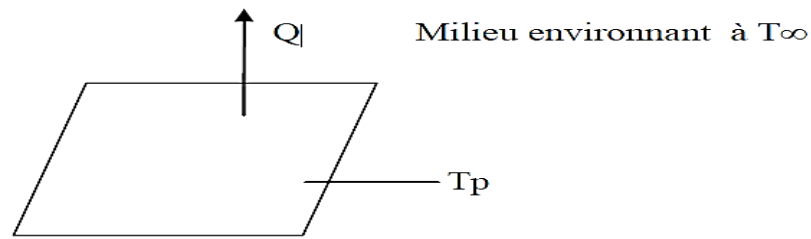


Figure 2.15. Schéma du transfert de chaleur par rayonnement

- **Emittance (totale)**

C'est le flux total émis par unité de surface de la source. On considère globalement la puissance $d\Phi$ émis par un élément de surface dS dans l'ensemble des directions où il peut rayonner (hémisphère limitée par le plan tangent à dS en son centre), et on divise ce flux par l'aire de dS . L'émittance est notée par M .

$$M = d\Phi/dS \quad (2.5)$$

- **Corps noir**

C'est un corps idéal vis-à-vis du rayonnement qui, par définition, absorbe tout le rayonnement qu'il reçoit quelles que soient la fréquence et la direction. A l'équilibre thermique, il émet autant de rayonnement qu'il en absorbe de sorte qu'un corps noir rayonne le maximum d'énergie de façon uniforme dans toutes les directions.

2.7. Hypothèses simplification

La formulation de certaines hypothèses est nécessaire, pour une simulation approchée du système :

- 1) les propriétés des matériaux sont considérées constantes.
- 2) La température du sol est prise égale à la température de l'ambient.
- 3) Le ciel est considéré comme un corps noir.
- 4) Les surfaces d'échanges de chaleur par rayonnement sont supposées grises et diffusantes.
- 5) Les flux de chaleur sont unidimensionnels.
- 6) La direction du vent est parallèle à la surface de la vitre.

2.8. Transmission du rayonnement dans la vitre

Si: n_1 et n_2 désignent les indices de réfraction de deux milieux, un rayon frappant l'interface à une incidence i sera partiellement réfléchi et partiellement réfracté

Le rayon réfracté aura une incidence θ

Tel que :

$$\frac{\sin i}{\sin \theta} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.6)$$

Ou encore :

$$\theta = \arcsin\left(\frac{\sin i}{n}\right) \quad (2.7)$$

n : désigne l'indice de réfraction du milieu (2) par rapport au milieu (1)

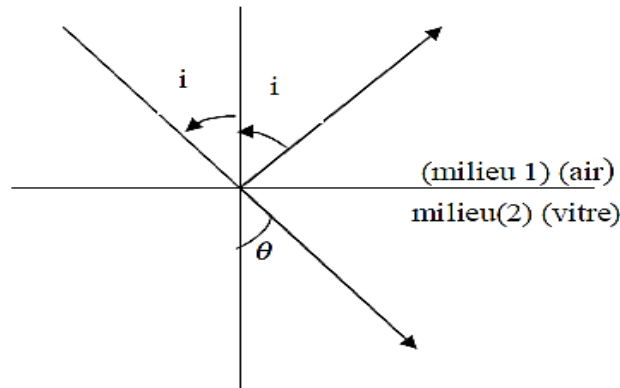


Figure 2. 16. Transmission du rayonnement

On caractérise la réflectivité de l'interface par deux coefficients ρ_n et ρ_p , correspondant aux deux directions de polarisation du rayon incident dans la direction perpendiculaire et parallèle au plan d'incidence ces coefficients sont donnés par :

$$\rho_n = \frac{\sin^2(i - \theta)}{\sin^2(i + \theta)} \quad (2.8)$$

$$\rho_p = \frac{\text{tg}^2(i - \theta)}{\text{tg}^2(i + \theta)} \quad (2.9)$$

On définit le coefficient de transmission correspondant θ la longueur d'onde λ

$$\tau_\lambda^l = e^{-K_\lambda x} \quad (2.10)$$

K_λ : Coefficient d'extinction correspondant à la longueur d'onde

x : distance parcourue par le rayon réfracté

Lorsque K_λ : est constant ou que l'on s'intéresse à une marge assez limitée de λ l'équation précédente devient :

$$\tau' = e^{-K x} \quad (2.11)$$

Pour une lame de verre d'épaisseur, les coefficients de réflexion, de transmission et d'absorption seront donnés par les relations suivantes :

$$\rho(\rho', \tau') = \rho' \left(1 + \frac{\tau'^2 (1 - \tau')^2}{1 - \rho'^2 \tau'^2} \right) \quad (2.12)$$

$$\tau(\rho', \tau') = \tau' \frac{(1 - \tau')^2}{1 - \rho'^2 \tau'^2} \quad (2.13-a)$$

Avec :

$$\tau' = e^{-k \frac{e}{\cos \theta}} \quad (2.13-b)$$

Pour déterminer ρ , et τ en fonction d'un angle d'incidence (i) on utilise les relations Suivants :

$$\rho = \frac{1}{2} (\rho(\rho_n, \tau') + \rho(\rho_p, \tau')) \quad (2.14)$$

$$\tau = \frac{1}{2} (\tau(\rho_n, \tau') + \tau(\rho_p, \tau')) \quad (2.15)$$

Et $\alpha = 1 - \rho - \tau \quad (2.16)$

2.9. Puissances absorbées par un capteur solaire plan avec simple vitrage

2.9.1. Puissance absorbée par la vitre

$$P_V = \alpha_V \times G \times A_V \quad (2.17)$$

P_V : Puissance absorbée par la vitre.

α_V : Absorptivité de la vitre.

A_V : Surface de la vitre.

2.9.2. Puissance absorbée par l'absorbeur

$$P_{ab} = A_{ab} \cdot \tau_v \cdot \alpha_{ab} \cdot G \quad (2.18)$$

Où :

P_{ab} : Puissance absorbée par l'absorbeur.

A_{ab} : Surface de l'absorbeur.

α_{ab} : Absorptivité de l'absorbeur.

τ_v : Transmissivité de la vitre.

2.10. Bilan énergétique du capteur

Soit Q_{sa} l'énergie solaire absorbée par un capteur, une partie de celle-ci est récupérée par le fluide caloporteur c'est l'énergie utile Q_u . Cette énergie peut être directement utilisée ou bien transférée vers un système de stockage (ballon d'eau chaude par exemple). Un capteur solaire est aussi sujet à des pertes thermiques. Une partie de l'énergie absorbée est transférée vers l'environnement sous forme d'énergie thermique principalement par convection et rayonnement. Ces pertes seront notées Q_p . Enfin si on s'intéresse à une période de mise en température du système (au démarrage par exemple) il faudra tenir compte de l'énergie absorbée par le capteur nécessaire à cette montée en température. Cette énergie notée Q_{st} , dépend de l'inertie thermique de l'installation. Ainsi le bilan thermique global s'écrit [20] :

$$Q_{sa} = Q_u + Q_p + Q_{st} \quad (2.19)$$

$Q_{st} = 0$, et donc l'équation du bilan devient :

$$Q_{sa} = Q_u + Q_p \quad (2.20)$$

2.11. Perte énergétique dans un capteur solaire (thermique)

Les pertes thermiques au niveau du capteur solaire peuvent avoir lieu par l'intervention des trois modes de transfert thermique: convection, conduction et rayonnement.

2.11.1. Perte par convection

- Quantité d'énergie perdue par convection q_{cva} de la vitre vers le milieu ambiant [21] :

$$q_{cva} = h_{cva} \cdot A_v \cdot (T_{ve} - T_a) \quad (2.21)$$

- Quantité d'énergie perdue par convection q_{cfi} du fluide caloporteur vers l'isolant [21]:

$$q_{cfi} = h_{cfi} \cdot A_{fi} \cdot (T_f - T_{ii}) \quad (2.22)$$

- Quantité d'énergie perdue par convection q_{cia} de l'isolant vers le milieu ambiant [21]:

$$q_{cia} = h_{cia} \cdot A_i \cdot (T_{ie} - T_a) \quad (2.23)$$

A_v : Surface de vitre (m^2)

A_{fi} : Surface de tube (m^2)

A_i : Surface d'isolante (m^2)

h_{cva} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre et l'ambient ($W/m^2 K$).

h_{cfi} : Coefficient d'échange thermique par convection entre le fluide et isolante ($W/m^2 K$).

h_{cia} : Coefficient d'échange thermique par convection entre le isolante et l'ambient ($W/m^2 K$).

T_{va} : Température externe de vitre (K)

T_a : Température ambiant (K)

T_f : Température de fluide (K)

T_{ii} : Température interne d'isolante ($^{\circ}K$)

T_{ie} : Température externe d'isolante (K)

2.11.2. Perte par conduction

- Quantité d'énergie perdue par conduction q_{icda} entre l'absorbeur et l'isolant:[21]

$$q_{icda} = \frac{T_{ab} - T_{ii}}{Q_1} + \frac{T_{ab} - T_{il}}{Q_2} \quad (2.24)$$

Q_1 et Q_2 sont exprimés par :

$$Q_1 = \frac{e_{ab}}{s_{abi} \times k_i} + \frac{e_i}{s_{abi} \times k_{ab}} \quad (2.25)$$

$$Q_2 = \frac{e_{ab}}{s_{abil} \times k_{il}} + \frac{e_{il}}{s_{abil} \times k_{ab}} \quad (2.26)$$

T_{ab} : Température de l'absorbeur (K).

T_{ii} : Température de la face intérieure de l'isolant (K).

T_{il} : Température de l'isolant latéral (K)

s_{abi} : Surface de contact entre l'absorbeur et l'isolant horizontal (m^2)

s_{abil} : Surface de contact entre l'absorbeur et l'isolant latéral (m^2)

k_i : Coefficient de conductivité thermique d'isolant ($W/m^2 K$)

k_{ab} : Coefficient de conductivité thermique d'absorbeur ($\text{W/m}^2 \text{K}$)

k_{il} : Coefficient de conductivité thermique d'isolant latéral ($\text{W/m}^2 \text{K}$)

e_{ab} : Épaisseur d'absorbeur (m)

e_i : Épaisseur d'isolante horizontal (m)

e_{il} : Épaisseur d'isolante latéral (m)

2.11.3. Perte par rayonnement

- Quantité d'énergie perdue par rayonnement q_{rvc} de vitre vers le ciel [21] :

$$q_{rvc} = h_{cfi} \cdot A_v \cdot (T_{ve} - T_c) \quad (2.27)$$

- Quantité d'énergie perdue par rayonnement q_{rav} de l'absorbeur vers la vitre [21] :

$$q_{rav} = h_{rav} \cdot A_v \cdot (T_{ab} - T_{vi}) \quad (2.28)$$

- Une quantité d'énergie perdue par rayonnement q_{ris} de l'isolant vers le sol [21]:

$$q_{ris} = h_{ris} \cdot A_i \cdot (T_{ie} - T_s) \quad (2.29)$$

h_{cfi} : Coefficient 'échange par rayonnement entre le vitre et le ciel ($\text{W/m}^2 \text{K}$).

h_{rav} : Coefficient 'échange par rayonnement entre l'absorbeur et le vitre ($\text{W/m}^2 \text{K}$).

h_{ris} : Coefficient 'échange par rayonnement entre l'isolant et le sol ($\text{W/m}^2 \text{K}$).

A_v : Surface de vitre (m^2).

A_i : Surface d'isolant (m^2).

T_{ve} : Température externe de vitre (K).

T_c : Température de ciel (K).

T_{ab} : Température d'absorbeur (K).

T_{vi} : Température interne de vitre (K).

T_{ie} : Température externe d'isolant (K).

T_s : Température de sol (K).

2.11.4. Perte globale d'énergie

Les pertes thermiques sont dues à la différence de température entre l'absorbeur et le milieu ambiant. Elles se manifestent selon les trois modes de transfert de chaleur. Elles se divisent en trois catégories: les pertes vers l'avant, les pertes vers l'arrière et les pertes latérales [22].

- **Coefficient de pertes thermiques vers l'avant du capteur**

Le coefficient de pertes thermiques global vers l'avant du capteur sera donné par la relation

suivante:

$$U_{av} = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_{rvc} + h_{cvam}}\right) \left(\frac{1}{h_{cabv} + h_{rabv}}\right)} \quad (2.30)$$

- **Coefficient de pertes thermiques vers l'arrière du capteur**

Ce coefficient est peu important que celui d'avant, vu le capteur est très bien isolé à l'arrière. L'expression évaluant ce coefficient est donné par:

$$U_{arr} = \frac{K_{isol}}{E_{isol}} \quad (2.31)$$

K_{isol} : Coefficient de conductivité thermique de l'isolant ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$).

E_{isol} : épaisseur de l'isolant (m).

- **Coefficient de pertes thermiques latérales**

La valeur de ce coefficient est inférieure à celle du coefficient de pertes arrière, vu que la surface latérale du capteur est peu importante.

$$U_{lat} = \left(\frac{K_{isol}}{E_{isol}}\right) \cdot \left(\frac{A_{lat}}{A_c}\right) \quad (2.32)$$

A_{lat} : Surface latérale du capteur (m^2).

A_c : Surface du capteur (m^2).

Le coefficient de pertes thermiques global vers l'extérieur est la somme des trois coefficients.

$$U_l = U_{av} + U_{arr} + U_{lat} \quad (2.33)$$

2.12. Rendements

Ils sont au nombre de deux :

- Rendement optique
- Rendement instantané (ou thermique).

2.12.1. Rendement optique

Le rendement optique quantifie les capacités du duo vitre-absorbeur à capter l'énergie vis à vis de l'énergie incidente. Il est défini par :

$$\eta_0 = \frac{\text{flux absorbé par la surface du capteur}}{\text{flux incident sur le capteur}} \quad (2.34)$$

$$\text{Soit : } \eta_0 = \frac{\tau_v \cdot \alpha_p \cdot G}{G} = \tau_v \cdot \alpha_p \quad (2.35)$$

Avec :

τ_v : Facteur de transmission de la couverture transparente (vitrage) chargée de créer l'effet de serre.

α_p : Facteur d'absorption du capteur.

G : Flux solaire incident ; reçu par le capteur en $[\frac{W}{m^2}]$

Le rendement optique pour différents types de capteurs [23] :

- ✓ capteur plan 70-85 %
- ✓ tube sous vide à absorbeur sur cuivre 75-85 %
- ✓ capteur non vitré 80-95 %
- ✓ tube sous vide à absorbeur sur verre 50-75 %

2.12.2. Rendement Thermique (Ou Instantané)

Le rendement instantané mesure le rapport de la puissance utile extraite par m^2 à la puissance incidente sur le capteur à chaque instant; soit [24] :

$$\eta = \frac{P_u}{A_c G} \quad (2.36)$$

P_u : Puissance utile récupérée par le fluide caloporteur ($W \cdot m^2$)

A_c : Surface du capteur (m^2)

G : Flux solaire global incident (W).

Le rendement instantané du capteur en fonction du débit massique est donné par [25]:

$$\eta = \dot{m} \cdot C_p \cdot \frac{(T_{fs} - T_{fe})}{A_c G} \quad (2.37)$$

Avec :

η : Rendement instantané du capteur.

\dot{m} : Débit massique du fluide caloporteur plan (kg/s)

C_p : Chaleur spécifique de l'eau (j/kg k)

T_{fs} : Température de sortie du fluide (k)

T_{fe} : Température d'entrée du fluide (k)

2.13. Conclusions

Dans ce chapitre une étude descriptive est présentée sur les capteurs solaires plans, ses composants, les caractéristiques et les paramètres de fonctionnement influant sur leurs efficacités. Et en fin, nous avons présenté le bilan énergétique d'un capteur plan thermique.

Références

- [1] J.M.Chassériau. Conversion thermique du rayonnement solaire, bordas Paris (1984).
- [2] Les Centrales Solaires à Concentration Université de Liège Faculté des sciences Appliquées Mai 2007 Quoilin Sylvain Ingénieur Civil Electromécanicien/Energéticien.
- [3] M. L. Guehza. Impact de l'espace entre la vitre de protection et la vitre intermédiaire sur le rendement du capteur plan à double vitrage, mémoire magister Université d'Ouargla.
- [4] Stephen White. State of the art in solar cooling, CSIRO Energy Technology, October 2009.
- [5] M. Bouzaffa. Les Capteurs Solaires Plans, mémoire magister, option énergétique université d'Ouargla.
- [6] <http://www.ines.solaire.com>
- [7] B. P. Axcell. A simple equation for the effect of multiple reflections on the solar radiation absorbed by a collector with a double glazed cover plate. Division of Mechanical Engineering, The Manchester School of Engineering, University of Manchester, Oxford Road, Manchester M 13 9PL, U.K.(1997).
- [8] N, Bellel. Etude des transferts thermiques le long d'un tube cylindrique appliquée à deux géométries ; thèse de doctorat, Université de Constantine. (2004).
- [9] S. Youcef-Ali. Study and optimization of the thermal performances of the offset rectangular plate fin absorber plates, with various glazing. Renewable Energy, 30, pp. 271–280. (2005).
- [10] T. Koyuncu. "Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications". Renewable Energy, 31, pp. 1073–1088. (2006).
- [11] H.M. Yeh et T.T. Lin. The effect of collectors aspect ratio on the collectors efficiency of flat-plate solar air. Energy, 20, pp. 1041-1047. (1995).

- [12] S. Karsli. Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications. *Renewable Energy*, 32, pp. 1645–1660. (2007).
- [13] M. Leon, S. Kumar. Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglazed transpired solar collectors. *Solar Energy*, 81, pp. 62–75. (2007).
- [14] N.T. Ahmad. Agricultural solar air collector made from low cost plastic packing film. *Renewable Energy*, 23, pp. 663–671. (2001).
- [15] F. Benyelles, B. Benabadji, B. Benyoucef, Z. Ziani. Comparaison entre un capteur a aérogel de silice et d'autres capteurs plans. 13^{èmes} Journées Internationales de Thermique Albi, France du 28 au 30 Août 2007.
- [16] F. Mokhtari et D. Semmar. Etude Expérimentale d'un Capteur Solaire à Air. *Rev. Energ. Ren*, pp. 243-246. (1999).
- [17] R. Karwaa, N. Karwab, R. Misrac, P. C. Agarwal. Effect of flow mal distribution on thermal performance of a solar air heater array with sub collectors in parallel. *Energy* 32, pp. 1260–1270. (2007).
- [18] H. Gunerhan, A. Hepbasli. Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications. *Building and Environment*, 42, pp. 779–783. (2007).
- [19] S. Mohamed el bar. étude théorique d'un capteur cylindro-parabolique, mémoire d'ingénieur d'état Université de Ouargla, juin 2008.
- [20] J. Bernard. *Energie solaire calculs et optimisation*, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [21] Office National de Météorologie. Données climatiques de Ouargla, de l'année 2003 jusqu'à 2013.
- [23] S. BEKKOUCHE. Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires. Option « Electronique et Modélisation ». Thèse doctorat. L'université Abou-bakr- Belkaid – Tlemcen. (2008).
- [24] S. Their, *L'énergie solaire et ces applications –EPF*. (2010).

-
- [25] A. Sfeir, G. Guarracino. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981).

Chapitre

3

Etat de l'art sur les verres thermiques d'un capteur solaire plan

Le mot verre peut prendre des significations variées. Si dans le langage courant ce terme sert à désigner un matériau fragile et transparent. Dans le langage scientifique, Le terme verre a une portée très vaste, alors qu'il est très difficile de le définir, on peut définir le verre avec deux façons :

* Une définition classique énoncée par R. Haas [1] s'énonce ainsi « On désigne par verre un liquide surfondu figé ». Si l'on tient compte de cette définition, on arrive à ignorer toute une classe de verres qui n'ont jamais été obtenus à partir d'un liquide.

* L'ASTM (American Society for Testing Materials) [2], définit le verre en tant que : « produit non organique, qui a été refroidi après la fusion en conditions sévères, tout en évitant la cristallisation ». Ceci exprime essentiellement la même chose que la définition précédente, puisqu'elle exclut les verres polymères.

3.1. Histoire du matériau verre

L'origine du verre élaboré par l'homme se situe dans la région du Moyen Orient (Phénicie, Assyrie, Mésopotamie, Egypte).

Selon l'histoire de Plin l'Ancien le verre aurait été découvert sur une plage, près de l'embouchure du fleuve Bleu. Des caravaniers (Phéniciens) auraient introduit du natre (carbonate de soude, employé pour la conservation des momies) de leur cargaison dans le brasier. Le sable et le natre auraient formé des perles de verre retrouvées, le lendemain, dans les centres du feu. La découverte du verre est probablement liée à d'autres activités comme la métallurgie (résidus vitrifiés apparaissant lors de l'élaboration des métaux) et la poterie (vitrification des poteries en surface).

Les premiers objets en verre sont des perles, des colliers ou de petites statuettes en pâte de verre et ils datent environ de 3000 avant J.C. Les plus anciens documents relatifs au verre sont des tablettes mésopotamiennes à écriture cunéiforme qui donnent des recettes de fabrication de verre (ou d'émail) coloré (7^{ème} siècle avant J.C.) [Du sable, un fondant (nitre ou natron d'Egypte) et des additifs pour la coloration].

3.2. Différents types des verres

3.2.1. Verre naturel

Des substances à l'état vitreux existent rarement dans la nature ce sont essentiellement les verres volcaniques ou la vitrification survient lorsque la lave fondu arrive à la surface de la croûte terrestre et y subit une brusque refroidissement. [3]



Figure 3.1. Verre naturelle

3.2.2. Verre artificiel

Bien que des substances très variées puissent former des verres, seul un nombre restreint de ceux-ci ont acquis une importance pratique. Dans ce qui suit, nous citons les principaux types de verres, leurs caractérisations principales et leurs domaines d'utilisation.

3.2.2.1. Verre d'oxyde

Les verres d'oxyde sont historiquement les plus anciens et industriellement les plus exploités. La plupart de verres sont constitués par des oxydes ou des mélanges d'oxydes tel que: SiO_2 , B_2O_3 , GeO_2 , P_2O_5 .

3.2.2.1.A. Verre de silice

Les verres de silice sont le plus important et représentent plus de 9.5% de tonnage des verres produits industriellement. Ils sont des matériaux transparents compose de sable de silice (SiO_2) fondant à une température très élevée (1750-2000° C), constitué par un assemblage désordonné de tétraèdre (SiO_4). Ce matériau possède une excellente transparence dans le domaine ultraviolet. De ce fait, il est très utilisé dans les lampes à vapeur de mercure. En revanche, dans le domaine d'IR, il absorbe certaines bandes puis est totalement opaque à partir de 5.10^{-6} m. Les verres de silices possèdent aussi une bonne isolation thermique. Ainsi le coefficient de dilatation est de l'ordre de $10^{-7}(\text{K}^{-1})$ qui lui confère une très bonne tenue au choc thermique.



Figure 3.2. Verre silice

3.2.2.1.B. Verre sodo-calcique

C'est un des matériaux de base de l'industrie moderne, il se compose de 70%mol de SiO_2 , 20% mol de Na_2O et de 10% mol de CaO . Il possède une bonne stabilité chimique et un coefficient de dilatation très élevé. Il est utilisé comme un verre plat et roux (des ampoules électrique et en bouteillerie).

3.2.2.1.C. Verres de borates

Les verres de borate sont constitués de l'anhydride borique B_2O_3 qu'il est passant systématiquement à l'état vitreux au refroidissement. A cause de son hygroscopicité (le verre de B_2O_3 est très soluble dans l'eau), le verre de borate n'est jamais utilisé seul dans la pratique mais entre la composition de nombreuse verre industriels . Les verres de borates ont fait l'objet de nombreux travaux à cause de leur température d'élaboration moins élevée que celle des silicates. Les boro aluminates du système $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ possèdent une isolation électrique élevée qu'ils trouvent lieu dans les applications électrotechnique . La famille de borosilicate

du système $80\text{SiO}_2\text{-}15\text{B}_2\text{O}_3\text{-}5\text{Na}_2\text{O}$ est la plus adoptée dans les verres de Pyrex, Simax ou Vycor. Ces verres sont utilisés essentiellement en chimie pour la verrerie de laboratoires à cause de leur faible coefficient de dilatation thermique (voisin de 3.10^{-6} k^{-1}) et leur bonne résistance chimique.

3.2.2.1.D. Verre de phosphate

Les verres phosphatés se singularisent des silicates par leur faible température de fusion, leur grande transparence dans l'UV et leur faible transparence dans l'IR. Les verres phosphates sont très performants surtout lorsqu'ils sont dopés aux ions de terres rares tels que l' Er^{3+} . Ils s'avèrent être d'excellents candidats pour les applications à gain élevé (amplificateurs optiques compacts) [4].

Cependant, les verres phosphates s'accompagnent d'une faible durabilité chimique. Pour pallier cet inconvénient, il est possible de stabiliser la matrice phosphatée en modifiant sa composition. De séries de verre phosphaté ont été développées tel que le verre boro-phosphaté qui se trouve dans des applications majeures (scellement, revêtement) ainsi que le verre silico-phosphaté qui a été développé pour la technologie de conducteurs optiques (photonique).

3.2.2.1.E. Verres de Germinâtes

L'oxyde de germanium GeO_2 forme un verre iso-structural de la silice à base de tétraèdres GeO_4 . Du fait de son prix qui est très élevé, sa faible réfractivité et sa moindre résistance aux agents corrosifs, il est rarement utilisé dans les compositions verrières [5].

Cependant son importance est surtout d'ordre fondamental lorsqu'on l'ajoute comme dopant dans le verre de silice pour augmenter l'indice de réfraction, ce qui en fait un élément de choix pour la réalisation du cœur des fibres optiques pour la télécommunication à longue distance.

3.2.2.2. Verre d'oxydes lourds

Les verres d'oxydes lourds se composent essentiellement des oxydes : PbO , WO_3 , Sb_2O_3 , As_2O_3 , GeO_2 , TeO_3 . Ils forment des verres avec des indices de réfractifs plus élevés et une transmission dans l'infrarouge plus étendue jusqu'à $8\mu\text{m}$. Ils sont utilisés dans la mise en œuvre des instruments optiques de précision (lentilles objectives), ils jouent aussi le rôle de filtre (verre de protection) ou guide d'onde pour la transmission des signaux.

3.2.2.3 Verre de Chalcogénures

On appelle un calogène les éléments S, Se, Te. Ils peuvent former de verre eux-mêmes à eux tout seul ou avec l'association d'autres éléments du groupe IV (Ge, Si, Sn) et le groupe V (Sb,As) [6]. Ils forment des verres binaires tel que As_2S_3 , As_2Se_3 , GeS_2 ou ternaires tel que $As_2S_3-Ag_2S$, Sb_2S-Ag_2S , $B_2S_3-Li_2S$ [7]. Dans un domaine de vitrification plus étendu.

La plupart des verres chalcogénures sont opaques dans le domaine de visible et transparents dans l'infrarouge (jusqu'à $30\mu m$). Ils possèdent également une température de ramollissement entre $100-300C^\circ$ et une faible résistance chimique. De ce fait ils sont utilisés principalement au domaine d'optique infrarouge (lentilles, capteurs infrarouge, xérographie,...).

3.2.2.4 .Verre d'Halogénures

C'est une grande famille de verres composée essentiellement des éléments halogènes tels que le chlore, le bromure, l'iodure ou le fluor. On connaît les verres chlorés comme: $ZnCl_2$, $BiCl_3$, $CdCl_3$, ou d'autres verres halogénés comme : $ZnBr_2$, PbI_2 . Tous ces verres sont transparents dans l'infrarouge alors que leur application reste hypothétique.

3.2.2.5 .Verres de Fluorures

Les fluorures comme les oxydes peuvent former des verres en raison de leur rayon ionique de l'ion F-très voisin de l'ion O^{-2} ($RF=1,285$; $RO^{-2}=1,35$). Les verres de BeF_2 et les fluoroberyllates forment des verres iso-structuraux de silicates. Par la suite les verres dits ABF (Aluminium Béryllium Fluor) issu du système $BaF_2-CaF_2-AlF_3-BeF_2$ ont été proposés. La révolution de verres fluorés fut enclenchée depuis 1975 par la découverte de nouvelles séries de verres fluorés par les frères Michel et Marcel Poulain. Parmi ces verres on obtient essentiellement les fluorozirconates, les fluoroaluminates ou les fluoroindates ainsi que les verres dérivés de ThF_4 UF_4 MnF_2 ScF_3 . La plupart de ces verres possèdent une bonne transmission dans le visible jusqu'à $1\mu m$ dans l'infrarouge. Ces caractéristiques placent ces verres en tête de liste comme des sérieux candidats pour l'optique et la réalisation de matériaux pour les fibres optiques. Ils se trouvent aussi des applications dans la chimie de dérivés fluorés.

3.2.2.6 .Verre Organiques

Il existe des polymères vitreux comme les poly méthacrylates qui forment des verres sous l'appellation commerciale "Plexiglas" "Altuglas". Il y a des nombreux composants organiques qui conduisent à des verres tels que : le Salol et le Glycérol.

Les verres organiques ont l'avantage de présenter un bon facteur de mérite au-dessus de $2 \mu\text{m}$. En revanche ils sont à exclure pour des applications dans le domaine de télécommunications ($1,5 \mu\text{m}$) du fait de leur absorption résiduelle et à leur basse température de transition vitreuse.

3.2.2.7. Verre métallique

Les premiers alliages métalliques amorphes furent obtenus en couches minces, mais le premier verre métallique obtenu par une hypertrempe de liquide fut décrite en 1960 et c'est un alliage Or-Silicium. Les verres métalliques se partagent en deux classes principales:

a) Alliage métal-métalloïde, où le métal est métal de transition : Au , Pd , Pt , Fe , Ni, Mn et le métalloïde : Si , Ge , P , B . On trouve par exemple $\text{Pd}_{80}\text{Si}_{20}$ et $\text{Ni}_{80}\text{P}_{20}$ et le verre commercial $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{14}\text{B}_6$.

b) Alliage métal-métal: On a $\text{Mg}_{65}\text{Cu}_{35}$, $\text{Au}_{55}\text{Cu}_{45}$, $\text{Sn}_{90}\text{Cu}_{10}$, $\text{Zr}_{72}\text{Co}_{28}$, $\text{Zr}_{50}\text{Cu}_{50}$, $\text{Ni}_{60}\text{Nb}_{40}$.

On a également $\text{Pd}_{40}\text{Cu}_{30}\text{Ni}_{30}\text{P}_{20}$. Les verres métalliques ont fait l'objet de nombreuses recherches en raison de leurs propriétés mécaniques remarquables. L'une de ces propriétés le plus intéressantes est leur haute résistance à la corrosion; C'est pour quoi ils peuvent être utilisés comme revêtement anticorrosion.

3.3. Propriétés thermiques des verres

Grâce à diverses techniques, le rayonnement solaire peut être transformé en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur et en électricité. Pour capter directement une partie de cette énergie, des procédés ont été développés et sont constamment améliorés. Pour une installation donnée, plusieurs composants de différents matériaux sont nécessaires pour sa mise en place. Parmi les composants fréquemment utilisés dans la plupart des installations solaires c'est bien la couverture transparente, que ce soit du verre ou du plastique. La particularité de ce composant est sa transparence au rayonnement solaire, de courtes longueurs d'onde (le visible et le proche de l'infrarouge), et son opacité aux rayonnements de grandes longueurs d'onde (infrarouge éloigné). Une telle caractéristique s'avère très avantageuse pour accentuer le phénomène "effet de serre"

utile dans certaines applications solaires, notamment, les séchoirs solaires, les serres agricoles (de types chapelles, tunnels, etc.) et dans bien d'autres applications. Notre intérêt est porté sur le matériau verre ainsi que sur les techniques utilisées pour améliorer ses performances thermo-optiques.

Le vitrage joue un rôle prédominant dans la collecte de l'énergie émise par le rayonnement solaire, un choix du matériau aux caractéristiques appropriées à une application donnée est nécessaire afin de renforcer les fonctions essentielles dudit vitrage, à savoir recevoir le maximum du rayonnement incident sans réflexion ni diffusion importante ; transmettre la plupart du rayonnement reçu, s'opposer aux déperditions thermiques par conduction et rayonnement. Ainsi, le choix du vitrage s'établira suivant l'émissivité, la transmission, la réflexion, l'absorptivité et l'indice de réfraction.

3.3.1. Transmission, réflexion et absorption

En matière de verres de protection solaire, trois termes (correspondant à trois valeurs clés) sont particulièrement importants. Réflexion – renvoi des rayons solaires. Effet miroir. Transmission – passage des rayons solaires. Absorption – retenue des rayons solaires. Surfaces foncées. Le verre en tant que matériau ne présente aucune de ces propriétés à l'état pur. Tout verre laisse passer une certaine quantité de rayons (transmission), en retient une partie (absorption) et en renvoie également une certaine quantité (réflexion). La somme des parties réfléchies, absorbées et transmises est systématiquement égale à 100%. On distingue la lumière (partie visible du spectre, 380 à 780 nm) et le spectre solaire complet (320 à 3000 nm). Les caractéristiques physiques sont également définies en conséquence.

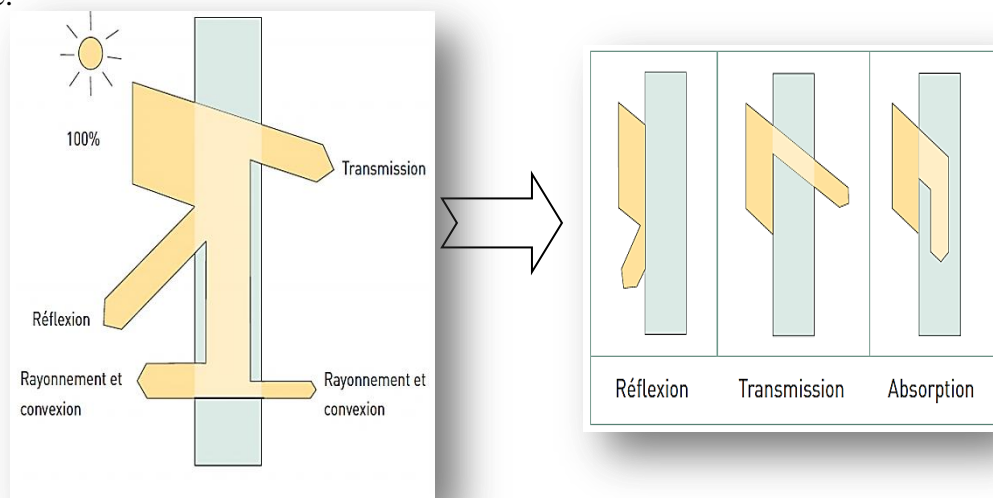


Figure 3.3. Transmission, réflexion et absorption

3.3.2. Coefficient de dilatation thermique

Lorsqu'on le compare à d'autres matériaux, le verre présente une faible dilatation thermique qui, de plus, dépend de sa composition. Par exemple, le verre céramique ne présente pratiquement pas de dilatation thermique. Ainsi, les tensions susceptibles de découler de zones chauffées à différentes températures n'existent pas. (Voir également « résistance aux chocs thermiques ») Le coefficient de dilatation thermique de $9,0 \times 10^{-6}/K$ signifie qu'une plaque de verre flotte d'un mètre de long soumise à une augmentation de température de $100^\circ K$ se dilate de 0,9 mm.

3.3.3. Conductivité thermique

La conductivité thermique ou conductibilité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction. Notée λ ou K voire k , cette grandeur apparaît notamment dans la loi de Fourier (voir Conduction thermique). Elle représente l'énergie (quantité de chaleur) transférée par unité de surface et de temps sous un gradient de température de 1 kelvin ou 1 degré Celsius par mètre pour le verre la conductivité thermique est $1.0 W/m.K$

3.3.4. Chaleur spécifique (ou la chaleur massique c , exprimée en $J/kg/k$: c'est la quantité de chaleur qu'il faut apporter à 1kg de verre pour élever sa température T de 1 degré. la chaleur massique des verres dépend de la température :

$$C(J/kg/k)=909,81+0,34682T^1,7641.10^{-7}T^2 \quad (3.1)$$

Ou T en k. pour $T=300k$ ($27c$) on a donc $c=818 J/kg/k$.

3.3.5. Masse volumique

La masse volumique des verres est souvent appelée de façon impropre "densité".

Elle est calculée à partir de la pesée de la masse et du volume des échantillons. Elle est déterminée par la relation suivante:

$$\rho = m / V \quad [g/cm^3] \quad (3.2)$$

Où ρ : la densité

m : la masse de l'échantillon de verre.

V : le volume de l'échantillon.

La densité est une propriété remarquable. Bien qu'elle n'a pas une grande importance pratique mais sa connaissance est fondamentale pour les calcule d'autre propriétés.

Tableau.3.1. Résumé des principales caractéristiques thermique de la vitre.

Propriété	symbole	vitre
Densité (à 18° C)	ρ	2500kg/m ³
Dureté		6 unités (selon Mohs)
Module d'élasticité	E	7.10 ¹⁰ Pa
Coefficient de poisson	μ	0.2
Capacité thermique spécifique	c	0,72.10 ³ (J/kg.k)
Coefficient d'allongement linéaire thermique moyen entre 20 et 300°C	σ	9.10 ⁻⁶ /k
Conductibilité thermique	λ	1 W/km
Indice de réfraction moyen dans plage visible (380 à 780 nm)	n	1.5

3.4. Techniques d'optimisation des performances thermiques et optiques du verre

Plusieurs études ont été réalisées dans le but d'optimiser le rendement des capteurs solaires. Parmi lesquelles, celles qui interviennent sur les performances thermiques et optiques de la couverture transparente. Plusieurs techniques utilisées ont permis d'apporter une amélioration notable sur le rendement thermique des dits capteurs.

Utilisation d'un verre à faible teneur en fer ; Réduire la teneur en fer d'un verre permet d'améliorer efficacement la transmission de la lumière et le rendre moins absorbant aux rayonnements solaires et par conséquent, d'optimiser le rendement thermique des collecteurs solaires. Des études réalisées ont montré que les températures moyennes mesurées sur le verre classique sont plus élevées que celles obtenues pour les verres à faible teneur en fer. Le flux de chaleur stationnaire transmis à travers la vitre, dans le cas du verre à faible teneur en fer, est plus élevé que celui obtenu pour la couverture en verre clair et par conséquent, le rendement instantané du système est plus élevé dans le cas d'une couverture en verre à faible teneur en fer.

Utilisation des couches poreuses de silice comme revêtement anti-reflet ; Un revêtement à l'aide d'une couche poreuse de silice de 110 nm et d'une porosité d'environ 35% augmenterait la transmission de la lumière d'un verre de borosilicate à 550 nm de 92% à 97%. La transmission lumineuse obtenue à l'aide d'un verre doté d'une couche de

revêtement à base de SiO_2 poreux par procédé sol-gel, en comparaison avec le taux de transmissivité obtenu avec un verre ordinaire.

Utilisation des verres nano-structurés ; La nano-structuration est l'une des techniques qui permet d'améliorer la clarté du verre et ainsi d'augmenter sa transmissivité aux rayonnements lumineux. Le procédé de nano-structuration utilisé pour une vitre d'une cellule solaire a permis une amélioration des performances des cellules solaires en raison d'une augmentation de la transmissivité optique à travers le filet de verre nano-structuré. La mesure de la transmission des nanostructures de hauteur inférieure à 400 nm présente une augmentation de la transmission optique sur l'ensemble de la gamme spectrale de longueur d'onde allant de 300 nm à 800 nm. Le verre normal montre une transmissivité de 92% pour les grandes longueurs d'onde (450 nm-800 nm) et moins de 85% pour les petites longueurs d'onde (300 nm-350 nm). Des échantillons des nanostructures, de 10nm de hauteur, montrent une transmissivité de 95% sur la plupart de la gamme spectrale, ce qui représente une amélioration de 10% dans la gamme de courtes longueurs d'onde (350 nm-450 nm) et une amélioration de 3% dans la gamme des grandes longueurs d'onde. Cependant, toutes les nanostructures avec des hauteurs allant jusqu'à 400 nm montrent une amélioration dans la transmission optique.

Surface ondulée du collecteur ; La conception de capteurs solaires adaptés qui conduit à augmenter le gain d'énergie utile et de réduire les pertes de chaleur, par le biais principalement de la face supérieure, est le principal sujet de nombreuses recherches qui recommandent l'utilisation des surfaces fines ou ondulées pour améliorer le rendement thermique des capteurs.

Vitrage à couvertures combinées (plastique-verre) ; Il découle de l'analyse menée sur les capteurs à couverture combinée "plastique-SEMAI Hakim vitre" que les performances thermiques sont sensiblement meilleures que celles du capteur à double vitrage de même type, car la valeur du rendement optique ($\tau\alpha$) du premier capteur cité est légèrement plus élevée que celle du second, et les pertes thermiques sont approximativement égales pour les deux capteurs. Néanmoins, le plastique a tendance à perdre ses caractéristiques optiques en vieillissant et en particulier quand ce dernier est exposé aux conditions environnementales extérieures.

3.5. Production nationale

Les verres sont des matériaux de récupération d'énergie à court terme avec une compatibilité environnementale appropriée pour les concepts d'énergie durable. Ainsi, plusieurs industries du verre s'engagent d'avantage dans l'amélioration du produit verrier pour offrir une large variété du dit produit et ce, pour différentes applications.

Cependant, une des plus importantes installations de production de verre plat au niveau national est détenue par le groupe CEVITAL. Le complexe industriel "Méditerranéen Float Glass, MFG" s'étend sur une superficie de 30 Ha, situé à l'Arbâa (30 km sud-est d'Alger). MFG est la plus grande ligne de verre float en Afrique en termes de capacité de production, 600 tonnes/jour.

La couverture efficace doit minimiser l'absorption et la réflexion du rayonnement solaire afin que la plus grande quantité d'énergie atteigne l'absorbeur. Divers matériaux (verre, matière plastique) ont été utilisés pour la fabrication des couvertures transparentes. Les premières couvertures construites en matière plastique réduisaient les coûts, mais ont une durée de vie réduite. Puis, les couvertures plastiques renforcées par des fibres de verre vont prolonger la durée de vie sans progrès sur la performance du capteur. Finalement, le verre allie efficacité et durée de vie de la couverture surtout avec l'avènement des verres sélectifs (le verre blanc antireflet à faible teneur en fer) qui réduisent la réflexion et augmentent la transmission de l'énergie solaire. Néanmoins, dans le choix du matériel de recouvrement, certains critères devront être pris en considération selon les normes préétablies et le domaine d'utilisation, à savoir le poids du matériel (il est plus facile d'installer une matière plastique que du verre sur une toiture de serre ou une installation d'une grande envergure), la couverture doit présenter une bonne résistance aux chocs, aux brusques variations de température ainsi qu'aux températures élevées, la couverture de bonne qualité optique et d'excellente durabilité et le coefficient de transfert de chaleur U ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$) réduit (plus grande est la valeur de celui-ci, plus importantes sont les pertes).

3.6. Différents types de couverture

3.6.1. Doubles vitrages

Le premier type de vitrage est le double vitrage. Il s'agit de deux feuilles de verres séparées par un espaceur de manière à délimiter un espace d'air sec. La conductivité thermique de l'air valant $0,025 W/(m K)$ (à $10^\circ C$) pour $1 W/(m K)$ au verre, la couche d'air augmente le pouvoir isolant et diminue la valeur U du vitrage.

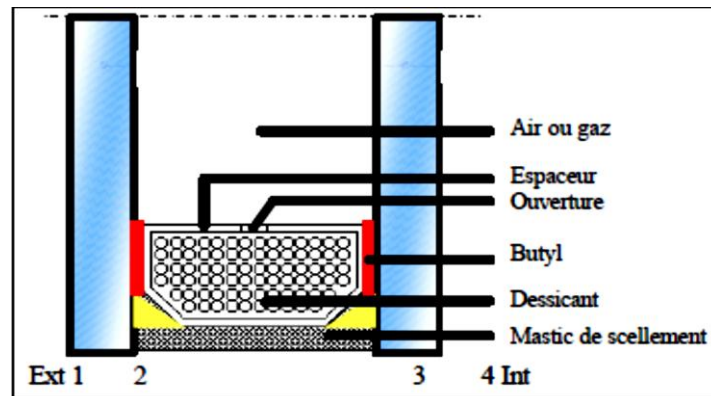


Figure 3.4. Double vitrage

3.6.2. Triples vitrages

L'isolation étant augmentée par la présence de la lame d'air, l'étape suivante a été de fabriquer des triples vitrages, c'est-à-dire des vitrages formés de trois feuilles de verre séparant deux espaces d'air. Cette solution n'est plus que rarement utilisée car elle présente les désavantages de proposer un vitrage d'épaisseur et de poids importants.

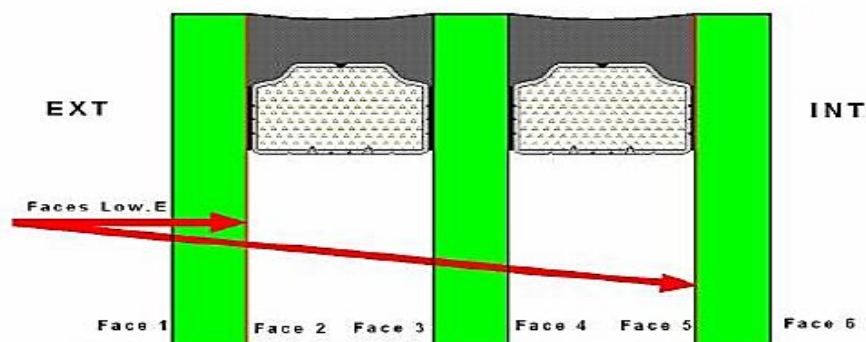


Figure 3.5. Triple vitrage

3.7. Conclusion

Le choix d'un vitrage devrait se faire sur base des critères suivants : propriétés thermiques, propriétés techniques, propriétés environnementales et propriétés économiques. Ce chapitre traite des vitres transparentes et de leurs particularités. Pour les aspects purement énergétiques.

Références

- [1] R. Haase. Thermodynamik der Mischphasen. Berlin, Spriger, (1956).
- [2] H. Scholze. Le Verre : Nature, Structure et Propriété. 2^{ème} édition ; Institut du Verre Paris, (1980).
- [3] H, Guezzoun. Etude physico-chimique et spectroscopique de l'ion de cobalt dans les verres $Sb_2O_3-Li_2O-WO_3$. Mémoire de magister de l'université Kasdi Merbah. Ouargla.
- [4] L. Petit, Amplification optique dans des verres borophosphate de niobium et tellurate dopés aux ions de terres rares présentant un indice optique non linéaire élevé, Thèse doctorat de l'université de Bordeaux , (2002).
- [5] A. Doina Stoita. Piégeage radiatif dans des matériaux dopés erbium Thèse de l'université de Claude Bernard. Lyon1. (2006).
- [6] T. Lombardo. Les mécanismes d'altération du verre calco-sodique en atmosphère urbaine polluée, Thèse de doctorat de l'Université Paris 12, (2002).
- [7] L. Charef Khodja, Etudes spectroscopiques et caractérisations physico-chimiques des verres binaires à la base de Sb_2O_3 . Mémoire de magister de l'université de Biskra, (2010).

Chapitre

4

L'effet des vitrages sur les performances du capteur solaire plan

Etude expérimentale

Le capteur solaire thermique permet de récupérer la chaleur du rayonnement solaire au sein d'un fluide, parfois de l'air, le plus souvent de l'eau, par la mise en œuvre de capteurs solaires. Les technologies à mettre en œuvre pour utiliser l'énergie solaire thermique sont aisément maîtrisables et adaptables aux situations de toutes les régions. Les techniques et les matériaux utilisés sont similaires à ceux employés dans le secteur traditionnel du chauffage, du sanitaire et des verrières. La main d'œuvre ne nécessite qu'une formation complémentaire aisément maîtrisable [1].

L'amélioration des performances des capteurs solaires plans consiste à avoir l'épaisseur optimale de la vitre. Dans la présente contribution, nous nous sommes intéressés par l'étude expérimentale des différentes épaisseurs et couleurs de vitre d'un capteur solaire plan destiné au chauffage d'eau et pour ce faire nous avons établi un modèle mathématique basé sur la méthode des bilans thermiques.

Cependant plusieurs vitres ont été installés (utilisés) pour mesurer les données relatives à la performance thermique, nous avons traité l'effet de ces épaisseurs et la couleur sur les performances thermiques de ce capteur, qui ont été analysées.

4.1. Présentation du banc d'essais

Le capteur solaire étudié est conçu au laboratoire de génie mécanique de l'université Mohamed BOUDIAF-M'sila. Dans ce banc d'essai de l'énergie solaire on

chauffe de l'eau par conversion de l'énergie solaire en chaleur. Le rayonnement solaire est remplacé par une lampe halogène ajustable en hauteur d'une puissance de 1000W.

Le système est équipé de senseurs (instruments de mesure) pour mesurer les températures, les valeurs des mesures sont affichées digitalement sur le banc.

Le capteur plan est ajustable, on peut choisir son angle d'inclinaison (entre 0° et 60°).

L'eau chauffée par l'absorbeur arrive dans un réservoir par l'intermédiaire d'un échangeur.

Un circuit secondaire externe peut être utilisé par l'évacuation de la chaleur dans le cas où la température de l'absorbeur est excessive.

La circulation du fluide caloporteur est assurée par une pompe de circulation et le débit a été réglé par un robinet régulateur, comme il est représenté schématiquement sur la figure (4.1)

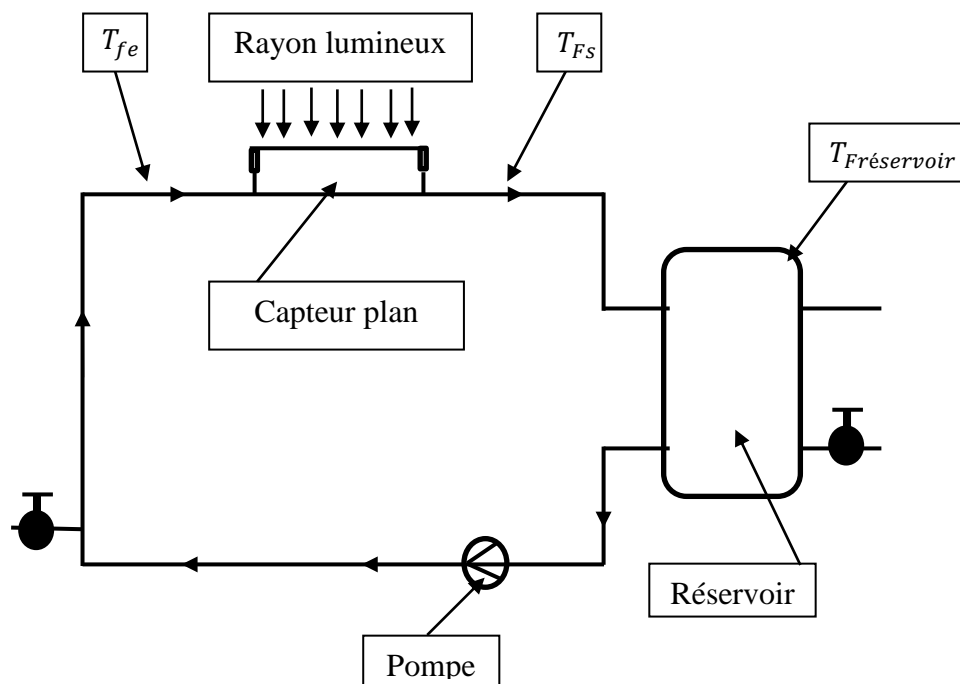


Figure 4.1. Schéma de l'installation du capteur plan

4.1.1. Élément constitue du capteur plan

Le capteur thermique que nous étudions est représenté sur la figure (4.2) il est constitué d'un vitrage simple en verre qui réalise l'effet de serre nécessaire pour échauffer l'absorbeur qui est à base du cuivre, d'une couche d'isolation en arrière du capteur.

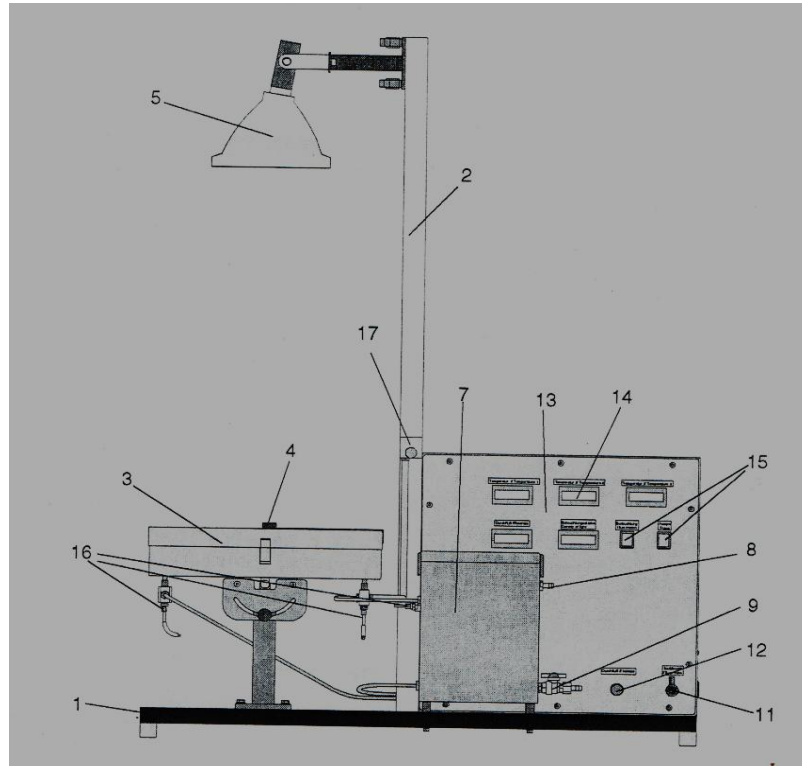


Figure 4.2. Vue globale de l'installation

- 1** La base ; **2** Fixateur de Lampe pour un meilleur ajustement
- 3** Plan Collectionneur avec un support réglable ; **4** Héliomètre
- 5** Lampe ; **6** Débit mètre ; **7** Réservoir d'eau chaud ; **8** Échappatoire d'eau chaude
- 9** vanne de décharge d'eau chaude ; **10** Pompe ; **11** Vanne de décharge pour le circuit primaire ; **12** Vanne de réglage de débit volumique ; **13** Boite d'échange
- 14** Affichage digitale pour les valeurs sensibles ; **15** Bouton de lampe et le circuit primaire ; **16** Thermocouple ; **17** Broche de connexion.

Les paramètres caractéristiques du capteur plan sont donnés au tableau (4.1).

Tableau 4.1. Paramètre caractéristiques du capteur solaire [2]

Paramètre	Caractéristique
Cadre extérieur	Profilé d'aluminium anodisé
Dos du capteur	Tôle galvanisée 0,6 mm
Isolation arrière	Polystyrène, épaisseur = 50 mm.
Isolation latérale	Polystyrène, épaisseur = 18 mm
Absorbeur	Ailette en cuivre $e=0.2\text{mm}$ sélectif à base de étain
Tuyaux de l'absorbeur	Tuyaux en cuivre, $\varnothing 10$ et $\varnothing 22\text{mm}$
Couverture	Verre simple, épaisseur = 3 mm

4.1.2. Description des essais expérimentaux font sur le capteur plan thermique

Les essais que nous avons faits sur le capteur, étaient en plusieurs étapes.

- Assure que le circuit primaire et le réservoir sont alimentés correctement en eau
- Régler le capteur thermique plan sur l'inclinaison demandée ($\gamma = 0$).
- Mettre en marche la lampe puis régler sa hauteur
- Mettre en marche la pompe de circulation
- Relever la température ambiante.
- Attendre environ 10mn avant de prendre les mesures
- Choisir un pas de temps pour prendre les mesures (chaque 10mn)
- Refaire les mêmes essais quand en changeant l'isolant sur le capteur plan.

En raison de l'inertie du capteur il est nécessaire avant de prendre les mesures d'attendre environ 10mn pour atteindre les conditions de stabilité. La précision des mesures augmente avec la réduction de $(T_{fs} - T_{fe})$, pour cela il est recommandé que le débit ne doit pas dépasser $7 L/h$.

4.2. Analyse théorique

Les capteurs solaires fonctionnent dans les états équilibrés (régime thermique établi). Dans ces conditions, les performances d'un capteur solaire sont décrites par le modèle du bilan énergétique global suivant :

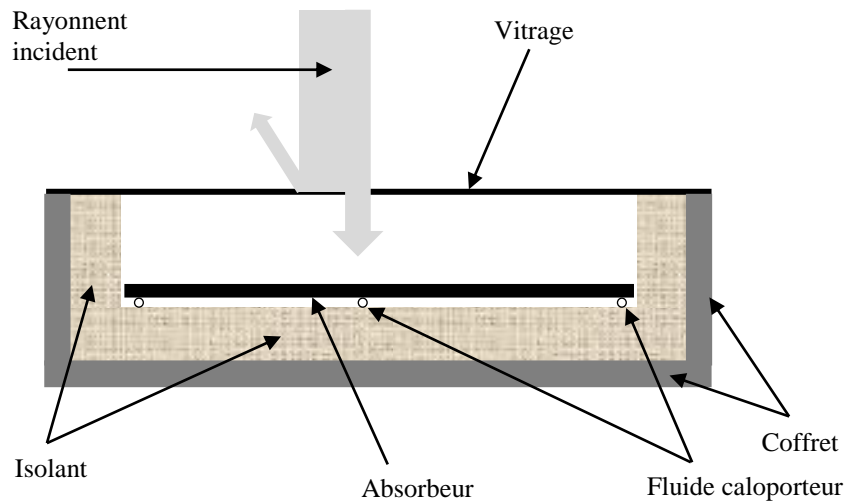


Figure 4.3. Coupe d'un capteur solaire plan à eau.

$$Q_{sa} = Q_u + Q_p + Q_{st} \quad (5.1)$$

En négligeant l'énergie thermique stockée dans les différents composants du capteur (inertie thermique), on obtient:

$$Q_{sa} = Q_u + Q_p \quad (5.2)$$

La quantité d'énergie utile à l'échauffement du fluide caloporteur extraite de la chaleur récupérée par un capteur solaire peut être exprimée par:

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_{fs} - T_{fe}) \quad (5.3)$$

T_{fe} : la température du fluide caloporteur à l'entrée du capteur

T_{fs} : la température du fluide caloporteur à la sortie du capteur

\dot{m} : le débit massique du fluide caloporteur

C_p : la capacité calorifique de l'eau elle est égale à 4.18 KJ/Kg.K

Le rendement du capteur thermique est défini comme le rapport entre la puissance utile récupérée par le fluide caloporteur Q_u et la puissance du rayonnement solaire incident I_s [3].

$$\eta = \frac{Q_u}{I_s} \quad (5.4)$$

Avec

$$I_s = A_c \cdot E \quad (5.5)$$

E : est la puissance du rayonnement par unité de surface W/m^2 , elle est mesurée par l'héliomètre.

A_c : Est la surface du capteur thermique, elle est égale à $0.1088 m^2$.

4.3. Conception et expérimentation

La partie expérimentale a été réalisée au niveau laboratoire de génie mécanique à l'université de Mohamed BOUDIAF. Les caractéristiques des différents composants du capteur plan sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4.2. Caractéristiques des éléments du capteur à eau

Composants	Caractéristiques	Valeur	Unité
Dimension (Boitier en aluminium anodisé)	Longueur	0.34	m
	Largeur	0.32	m
	Ecartement vitre-absorbeur	0.033	m
	Épaisseur du capteur	0.088	m
	Surface	0.1088	m^2
Vitre (en verre simple) Transparente	Longueur	0.32	m
	Largeur	0.30	m
	Épaisseur	0.003-0.005- 0.006	m
Vitre (en verre simple) Coloré (marante et bleu)	Longueur	0.32	m
	Largeur	0.30	m
	Épaisseur	0.004	m
Double vitre (en verre simple) Transparentes	Longueur	0.32	m
	Largeur	0.30	m
	Épaisseur	0.003	m
Plaque (l'Absorbeur) (en cuivre)	Longueur	0.30	m
	Largeur	0.229	m
	Épaisseur	0.005	m
Isolant (en polystyrène)	Longueur	0.33	m
	Largeur	0.297	m

Épaisseur	0.05	<i>m</i>
<p>Le capteur plan fonctionne avec un débit d'eau constant égale $7L/h$ pour tous les essais, une température ambiante entre $19^{\circ}C$ et $22^{\circ}C$, et un angle l'inclinaison ($\gamma = 0$). Les tests ont été menés pendant le mois d'Avril 2018.</p>		

Les expériences avaient pour objectif de répondre à la question suivante :

Quelle est la meilleure épaisseur et coloré de vitre?

Pour cela on a utilisé quatre isolants :

- Dans la première expérience on a étudié l'effet de l'épaisseur de vitrage sur les performances du capteur solaire plan
- Dans la seconde expérience on a étudié l'effet de colore de vitrage sur les performances du capteur solaire plan
- Dans la troisième expérience on a fait une étude comparative entre un capteur sans vitre, un capteur à vitre simple, et un capteur à double vitre

Chaque essai durait 140 minutes et le prélèvement des températures d'entrée de l'eau dans le collecteur T_{fe} , de sortie de l'eau du collecteur T_{fs} , température de réservoir $T_{f\text{ réservoir}}$ ainsi que l'intensité du rayonnement incident reçu sur la surface du collecteur se faisait chaque (10) minutes.

Ces expériences ont été effectuées au laboratoire à une température ambiante de $19 \pm 3^{\circ}C$.

4.4.Résultats et discussions

4.4.1 Effet de l'épaisseur d'un vitrage simple transparent

4.4.1.1 Evolution des températures

La première discussion des résultats issus des températures enregistrées nous a conduits à tracer l'évolution de la température de vitre T_v , la température du sorti T_{fs} , la température du réservoir $T_{f\text{ réservoir}}$, et la température d'entrée fluide T_{Fe} en fonction du temps pour les différentes épaisseurs testées.

Les courbes obtenues sont montrées par les figures au-dessous.

4.4.1.1.1 Variation temporelles des températures des différentes parties du capteur

L'analyse des courbes de la figure 4.4, permet de remarquer que la température de la vitre est la plus élevée, du fait de l'absorption du rayonnement incident d'une part, et la chaleur cédée par l'absorbeur sous forme de rayonnement I.R et par convection d'autre part. On notera que la face extérieure de la vitre généralement soumise à l'action du vent a une température légèrement inférieure à celle de la face intérieure. Puis, dans un ordre décroissant, nous avons la température de sortie du fluide caloporteur résultant du coefficient de convection entre l'absorbeur et le fluide caloporteur, ensuite la température du fluide de réservoir (fluide stocké), puis la température la moins élevée est celle de fluide entrée.

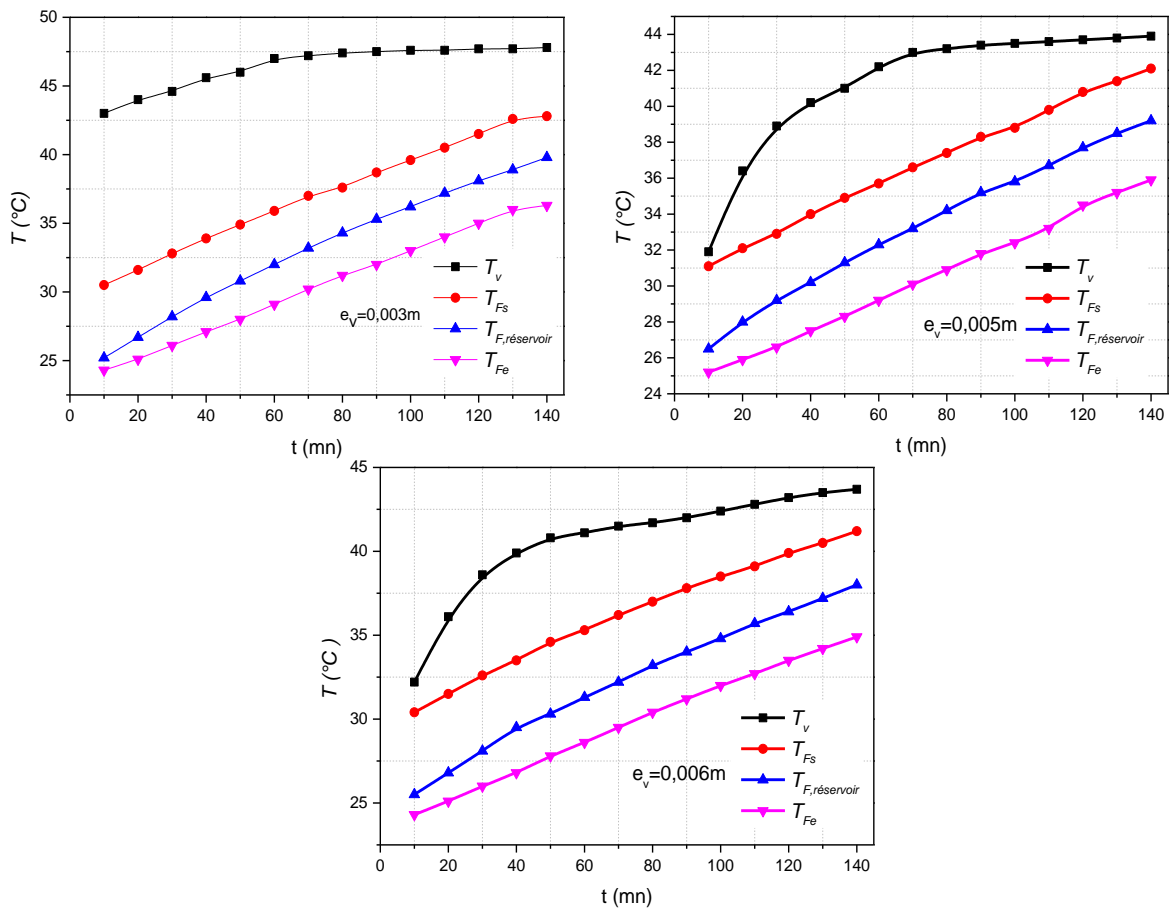


Figure 4.4. Evolution temporelle des températures des différentes parties du capteur pour chaque épaisseur

4.4.1.1.2 Variation temporelle de température de la vitre pour différentes épaisseurs

D'après la figure 4.5, on remarque que la température de la vitre la plus élevée quand l'épaisseur de la vitre est faible. En effet, plus l'épaisseur est grande, plus sa capacité calorifique est importante et en plus son inertie thermique est meilleure.

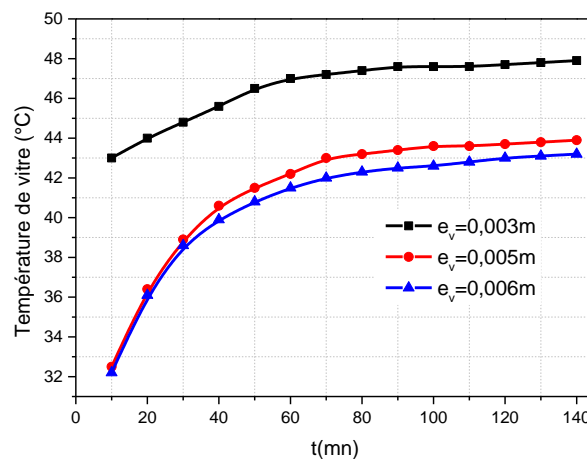


Figure 4.5. Evolution temporelle de température de la vitre pour différentes épaisseurs

4.4.1.1.3 Evolution de température de sortie fluide

La chaleur transmis à l'eau qui circule dans l'échangeur thermique placé au-dessous de l'absorbeur se conduit à l'augmentation de la température de l'eau à la sortie du collecteur solaire. D'après la figure 4.6, on remarque que les augmentations sont différent pour chaque épaisseur de vitre. Après 40 mn la capacité calorifique joue son rôle, et l'inertie thermique augmente avec l'augmentation de l'épaisseur, Ce qui permet de visualiser que la bonne vitre est celle qui a une épaisseur petite.

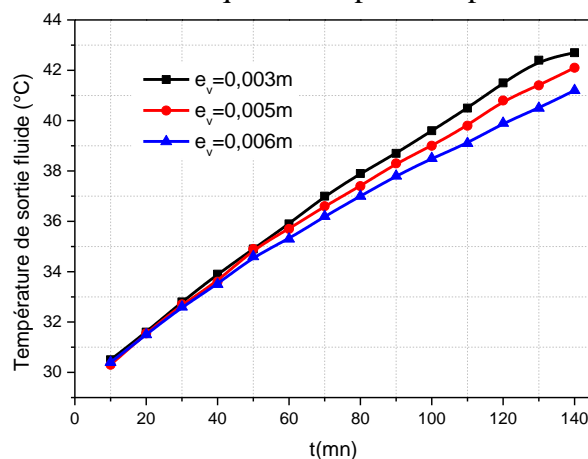


Figure 4.6. Evolution de la température sortie fluide en fonction de temps pour les vitres testés

4.4.1.1.4 Évolution de la température de réservoir

L'eau ainsi chauffé traverse un serpentin placé dans le réservoir d'eau froide où elle y cède une partie de son énergie, ce qui se traduit par l'augmentation de la température de l'eau du réservoir $T_{F,réservoir}$. D'après le graphe dans la figure 4.7, montre que l'eau du réservoir est la plus chauffée pour la vitre de l'épaisseur faible. A titre d'exemple, après 40mn (le système atteint la stabilité), on remarque que les augmentations sont différent

pour chaque épaisseur, et que la température la plus élevée est enregistrée pour une faible épaisseur, ce qui permet de visualisé que la bonne vitre est celui de petite épaisseur.

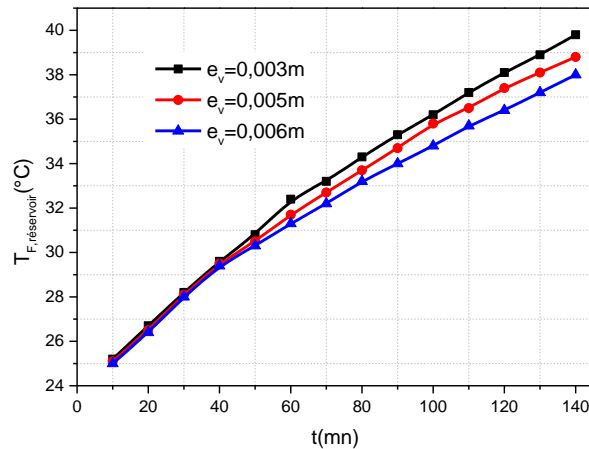


Figure 4.7. Evolution de température d'eau dans le réservoir en fonction de temps pour les différentes épaisseurs testées.

4.4.1.1.5 Evolution de l'écart de température de sortie et d'entrée

La figure 4.8, présente l'évolution de la différence de température ($T_{Fs} - T_{Fe}$) en fonction de temps pour les différentes épaisseurs testées, cette figure définit la stabilité des mesures.

On remarque que toutes les courbes obtenues ont la même allure qui peut être divisée en deux phases distinctes :

- La première de 0 à 50 mn appelée phase transitoire, au cours de laquelle la différence de température varie « augmente » d'une façon non linéaire avec le temps;
- La deuxième allant de 50 mn jusqu'à 140 mn où la différence de température se diminue légèrement ce qui implique que les conditions de stabilité sont atteintes, et la précision des mesures augmente avec la réduction de température sortie entrée.

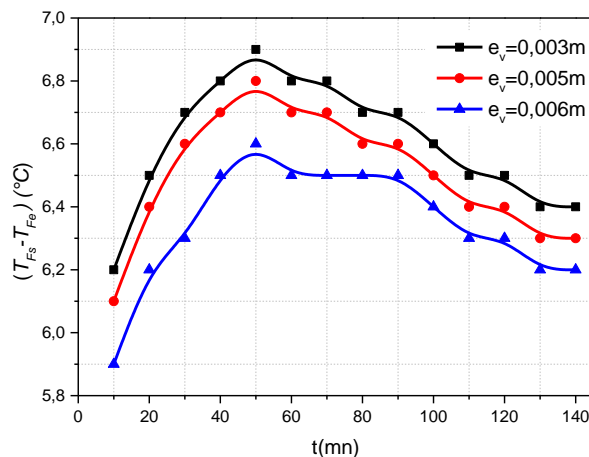


Figure 4.8. Evolution de l'écart de la température entrée sortie eau en fonction de temps pour les différentes épaisseurs testées.

4.4.1.1.6 Evolution du rendement en fonction de la température de vitre

Il apparait, selon la figure 4.9, que l'utilisation du vitre d'épaisseur faible dont la transmissivité est plus élevée que celle du vitre d'épaisseur 0.005m et 0.006m et qui transmettra par conséquent une proportion plus importante de l'énergie incidente donnera un meilleur rendement au capteur solaire. On remarque que le rendement instantané du capteur est amélioré avec la réduction de l'épaisseur de la vitre. En effet, plus l'épaisseur de la vitre est grande, plus sa capacité calorifique est importante et plus son inertie thermique est meilleure.

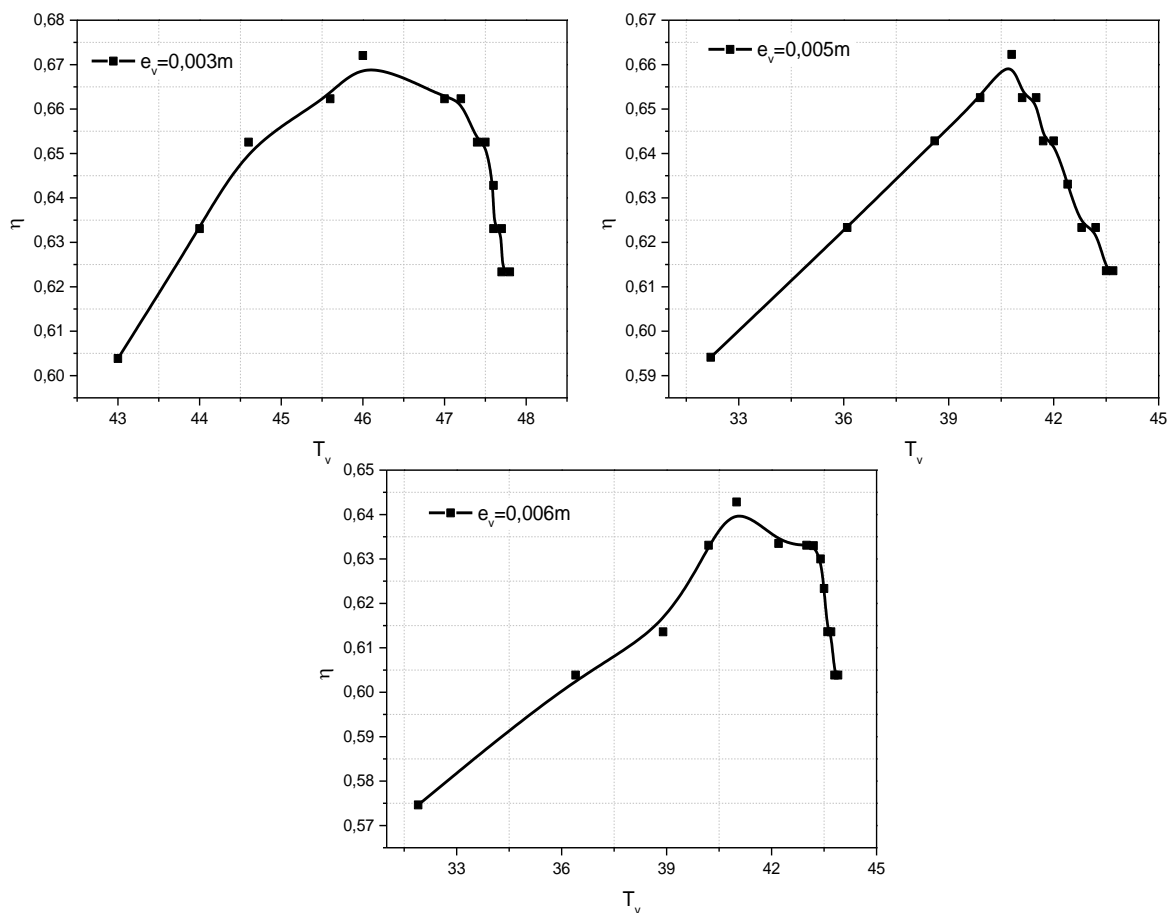


Figure 4.9. Evolution du rendement de capteur en fonction de la température de vitre

4.4.1.2 Evolution de la puissance utile

La figure 4.10, présente l'évolution de la puissance utile en fonction de temps pour les différentes épaisseurs testées.

La différence de la température de l'eau à l'entrée et à la sortie du collecteur solaire ($T_{Fs} - T_{Fe}$) témoigne sur l'énergie thermique utile transmise à l'eau à ce niveau (capteur solaire). Alors quand l'écart de température sortie entrée augmente l'énergie thermique

augmente et quand l'écart de température sortie entrée diminue l'énergie thermique diminue, donc ils ont la même allure. On constate également que la puissance utile est plus élevée pour la petite épaisseur ($e_v=0.003m$), contrairement, plus faible pour les autres épaisseurs à cause de l'inertie thermique

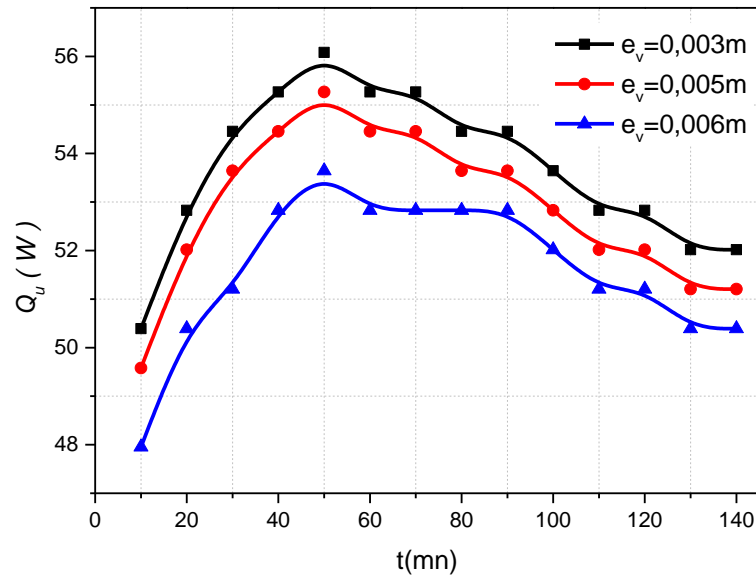


Figure 4.10. Evolution de la puissance utile en fonction de temps pour les différentes épaisseurs testées.

4.4.3 Evolution de rendement

Le rendement thermique du capteur plan à eau montre dans la figure 4.11, on voit que pour une vitesse constante de fluide (débit massique constant) et une puissance du rayonnement solaire incident constante, le rendement thermique du capteur dépend de l'écart de la température du fluide. C'est-à-dire que lorsque l'écart de température augmente, il provoque une augmentation du rendement thermique.

On remarque aussi que la superposition des profils de rendement pour les trois épaisseurs, montre bien que la plus faible épaisseur assure un bon rendement.

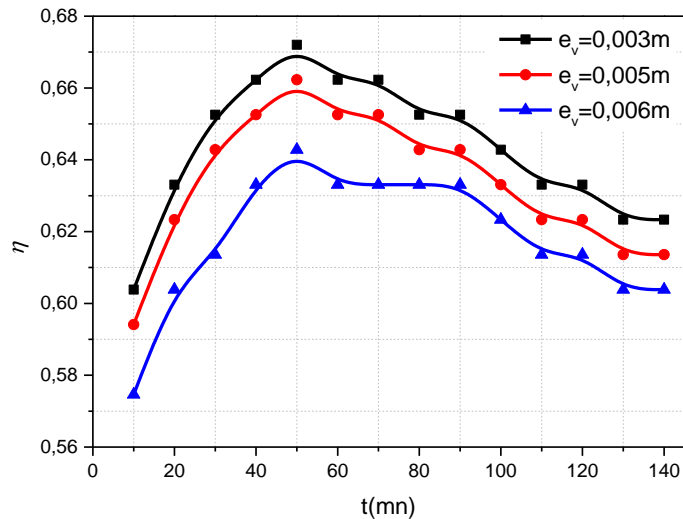


Figure 4.11 Evolution de rendement en fonction de temps pour les 3 épaisseurs

4.4.2 Effet de la colore de vitrage

Dans cette expérience on utilise trois types de vitres colorées (vitre marrent, vitre bleue, et vitre transparente) ont la même épaisseur $e_v = 0.004m$.

4.4.2.1 Evolution temporelle de température de la vitre pour différentes vitres

L'analyse des courbes de la figure 4.12 permet de remarquer que la température de la vitre marrent est la plus élevée, ce qui s'explique aisément par son facteur d'absorption solaire élevé (c'est-à-dire elle est considérée comme un corps noir). Puis, dans un ordre décroissant, nous avons la température de la vitre bleue, ensuite la température de la vitre transparente où son absorption est faible.

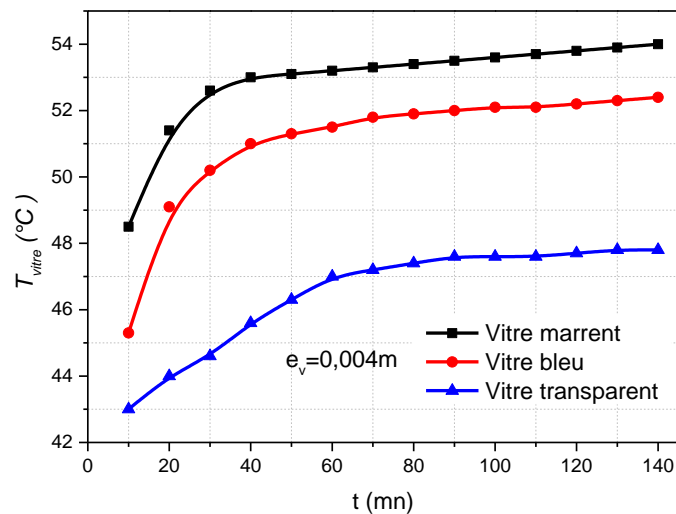


Figure 4.12. Evolution temporelle de température de la vitre pour différentes vitres

4.4.2.1 Evolution de l'écart de température de sortie et d'entrée

La figure 5.13 présente l'évolution de la différence de température en fonction de temps pour les différentes vitres testées, cette figure définit la stabilité des mesures.

On remarque que toutes les courbes obtenues ont presque la même allure qui peut être divisée en deux phases distinctes :

- La première de 0 à 50mn pour la vitre transparente et de 0 à 25mn pour les vitres colorées appelées phase transitoire, au cours de laquelle la différence de température varie « augmente » d'une façon non linéaire avec le temps;
- Deuxième allant de 50 mn jusqu'à 140 mn pour la vitre transparente et de 25mn à 140mn pour les vitres colorées où la différence de température se diminue légèrement ce qui implique que les conditions de stabilité sont atteintes, et la précision des mesures augmente avec la réduction de température sortie entrée.

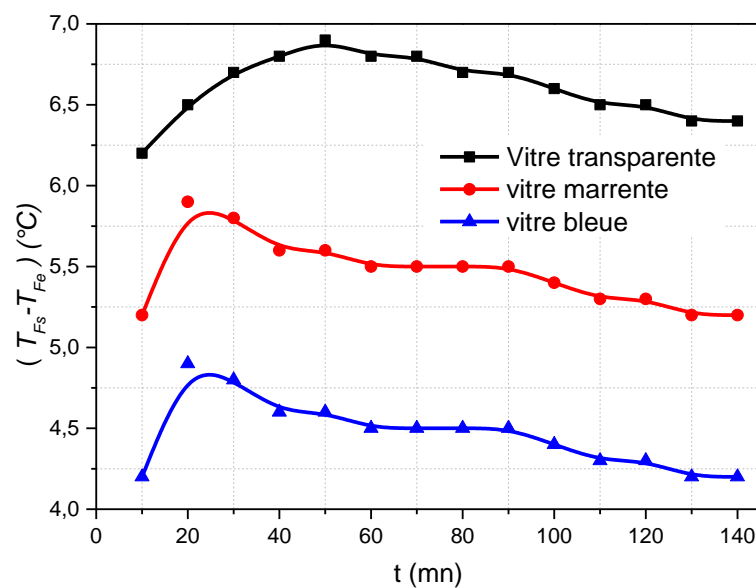


Figure 4.13. Evolution de l'écart de température de sortie et d'entrée

4.4.2.2 Evolution de rendement

L'analyse de la figure 4.14 montre que le rendement augmente graduellement aux premières minutes pour atteindre des valeurs maximales entre 10mn et 25mn pour les vitres colorées, et entre 10 mn et 50 mn pour la vitre transparente, bien que l'écart de température entrée sortie fluide commence à décroître le rendement décroît, ce qui semble en bon accord avec la loi de rendement instantané.

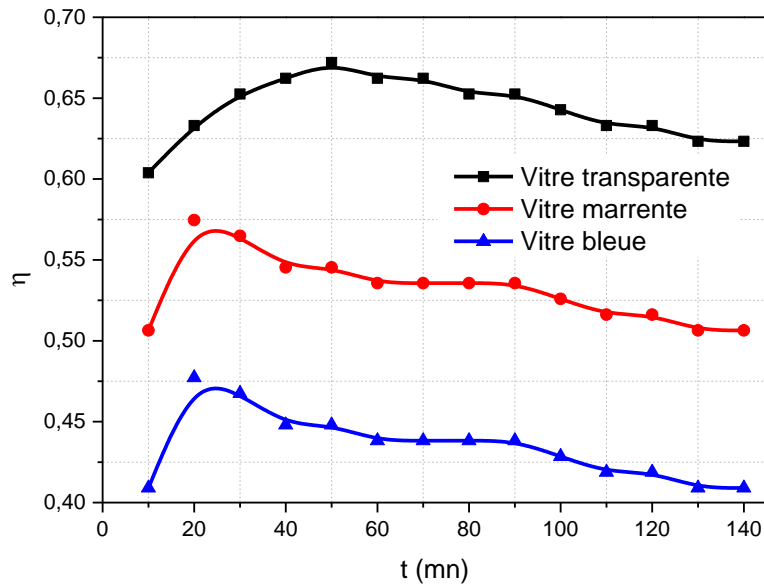


Figure 4.14 Evolution de rendement en fonction de temps pour les 3 vitres

4.4.3 Comparaison entre capteur simple, sans, et double vitrage

Plusieurs capteurs dans les mêmes conditions expérimentales ont été comparés: un capteur à simple vitrage, capteur sans vitrage, et capteur à double vitrages.

D'après le figure 4.15 on peut dire que le capteur de type double vitrage nous donne un bon rendement $60 < \eta < 67$ pendant 2 heures et 20 mn pour une température de sortie $T_{fs}=43$ °C.

Une augmentation du nombre de vitre a pour conséquence une diminution du coefficient de transmission et une augmentation du coefficient de réflexion, on note aussi que cette augmentation à un autre effet négatif secondaire sur le rendement à travers l'augmentation de l'inertie thermique du capteur.

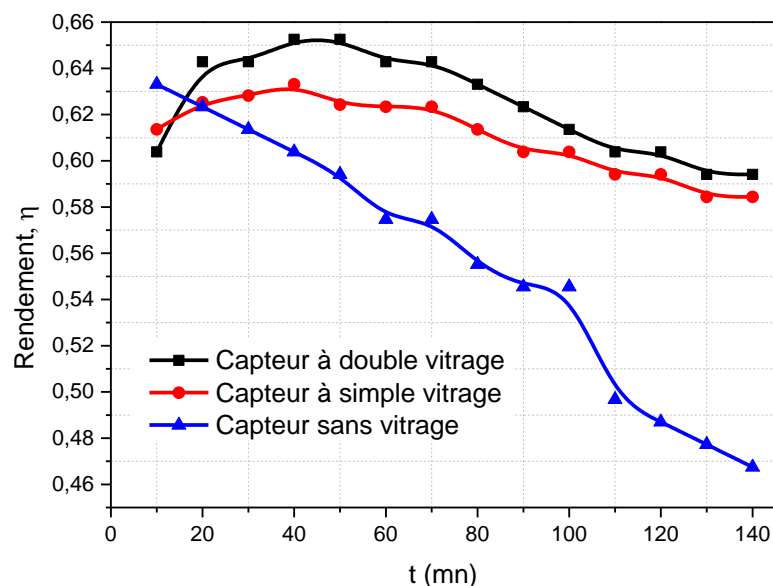


Figure 4.15 Evolution du rendement des capteurs en fonction de temps

4.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous sommes intéressés à l'étude expérimentale de quelques vitrages. Nous avons élaboré les équations du bilan thermique de capteur thermique plan à eau, et nous avons fait les essais pour différents vitrage. enfin nous avons montres les résultats aboutis expérimentalement de chaque vitre présentées sous forme des graphes.

L'étude expérimentale permet d'analyser tous les aspects de ces capteurs (rendement, températures,..). Et à travers les résultats obtenus on constate :

- le rendement du capteur plan thermique à eau est meilleur pour une faible épaisseur de vitrage.

- le vitrage transparent donne un bon rendement que le marrent ou le bleu.

- les capteurs solaires à eau à double vitrage sont plus efficaces que ceux avec un simple ou à sans vitrage.

En fin, le chauffe-eau solaire avec un capteur plan à double vitrage transparent et une épaisseur faible est suffisant pour satisfaire le besoin quotidien de l'eau chaude sanitaire en plus il est d'une technologie simple est moins chère que la technologie a tube sous vide par exemple.

Références

- [1] R. Kharchi, N. Aït Messaoudène, M. Belhamelet A. Hamid,.Etude Expérimentale du Comportement Thermiqued'un Plancher Solaire Direct, Rev. Energ. Ren. : Journées de Thermique, pp 115-119. (2001).
- [2] Marchetti C. and N.: The Dynamics of Energy Système and the Logistic Substitution Model. IIASA -Report RR 79, (1979).
- [3] A. Guedira, A. Ben, ensoleillement naturel au Thermique, pp 79-84. (2001).

Conclusion générale

Le capteur solaire est l'élément essentiel pour l'exploitation de l'énergie solaire, il capte le rayonnement solaire et le transforme sous forme de chaleur par effet de serre par des matériaux qui ont des grands coefficients d'absorption. Cette chaleur peut être utilisée dans le chauffage de l'eau sanitaire ou pour la climatisation des bâtiments. Il peut également transformer le rayonnement solaire en courant à l'aide de matériaux semi-conducteur appelés cellules solaires.

Le rendement des capteurs solaire thermique et photovoltaïque ou hybride (photovoltaïque thermique) reste encore faible, plusieurs facteurs influent sur la performance du capteur. Cela dépend de leur type d'exploitation, de l'amélioration du pourcentage de captation de rayonnement solaire.

Les capteurs solaires à eau à simple, ou double, ou à sans vitrage peuvent être utilisés pour réduire les pertes de la chaleur convectives et radiative, en effet l'utilisation des couvertures joue un rôle important dans l'isolation contre les déperditions thermiques par l'avant. Puisque l'élévation de la température ambiante exige une grande isolation, ce qui est le cas des capteurs sans vitrage ou à simple vitrage, à cause des pertes de la chaleur considérables dans ces deux cas (capteurs sans couvertures ou à simple vitrage).

Ce travail a permis de présenter en premier lieu une étude descriptive sur les différents types à capteur solaires plans, leurs caractéristiques et leurs paramètres de fonctionnement a permis de déterminer qu'avant de concevoir de tels dispositifs, il est

d'une grande importance d'accorder une attention particulière à l'effet des paramètres opérationnels internes et externes sur les performances de ces capteurs solaires thermique.

Le but de cette étude, est d'étudier et analyser l'influence de vitrage (épaisseur, colore, avec vitrage simple et double, ou sans vitrage) sur l'efficacité d'un capteur solaire. Pour ce faire, une étude expérimental a été réalisé pour déterminer l'influence du vitrage sur le rendement de capteurs solaires plans, qui a permis de faire une analyse comparative de performance de sept vitrages proposés : épaisseur (0.003m, 0.005m, 0.006m), colore (transparent, marrent, et bleu), et simple, double et sans vitrage.

Les résultats obtenus nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- L'augmentation de la puissance absorbée par l'absorbeur augmente la température de l'absorbeur.
- Un écart de température élevé entre l'absorbeur et la vitre augmentera des pertes de chaleur et diminuera le rendement du capteur solaire. Donc, l'espace entre la vitre et l'absorbeur joue un rôle dans l'échauffement des corps noirs (absorbeur), Cet espace contient des couches d'air stables qui se comportent comme un isolant aux pertes de chaleur.
- Le capteur à simple vitrage avec une épaisseur faible augmentera le rendement instantané de capteur. Parceque, quand le régime est atteint (stable) la capacité calorifique joue son rôle, et l'inertie thermique augmente avec l'augmentation de l'épaisseur. Ce qui permet de visualisé que la bonne vitre est celle qui a une épaisseur petite.
- L'utilisation du vitre d'épaisseur faible, dont la transmissivité est plus élevée que celle du vitre d'épaisseur grande et qui transmettra par conséquent une proportion plus importante de l'énergie incidente donnera un meilleur rendement au capteur solaire. En effet, plus l'épaisseur de la vitre est grande, plus sa capacité calorifique est importante et plus son inertie thermique est meilleure.
- La température de la vitre colorée est plus élevée que la température d'un vitrage transparent, ce qui s'explique aisément par son facteur d'absorption solaire élevé (c'est-à-dire elle est considérée comme un corps noir). L'utilisation de la couverture transparente évite le refroidissement de l'absorbeur par le vent.
- Le capteur à double vitrage permet une bonne amélioration de rendement thermique car il contribue à la diminution des pertes vers l'avant. Les capteurs solaires à double vitrage peuvent être utilisés pour réduire les pertes de la chaleur convectives

et radiative, en effet l'utilisation des couvertures à double vitrage joue un rôle important dans l'isolation contre les déperditions thermiques par l'avant. Puisque l'élévation de la température ambiante exige une grande isolation, ce qui est le cas des capteurs sans vitrage ou à simple vitrage, à cause des pertes de la chaleur considérables dans ces deux cas (capteurs sans couvertures ou à simple vitrage).

- L'utilisation de la couverture du capteur permet d'accroître son rendement et d'assurer des températures de plus de 50°C, en créant un effet de serre qui réduit les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur.
- Une augmentation du nombre de vitres a pour objet une diminution du coefficient de transmission et une augmentation du coefficient de réflexion, on note aussi que cette augmentation à un effet négatif secondaire sur le rendement à travers l'augmentation de l'inertie thermique du capteur.

En fin, on peut conclure que d'après les profils des températures simulées on apercevait bien que le capteur à double vitrage transparent avec faible épaisseur assure un bon rendement instantané.

Les perspectives à venir de ce travail sont :

- Etudier l'influence de corps absorbant sur le rendement du capteur plan thermique à eau utilisant laine de verre comme meilleur isolant et à double vitrage.
- Etudier l'influence de la température ambiante sur le rendement d'un capteur à double vitrage
- Etudier l'influence de la surface solaire nécessaire pour avoir un bon rendement.
- Etudier l'influence de débit massique sur le rendement du capteur plan thermique à eau à double vitrage.
- Etudier l'effet de l'énergie solaire incident sur les performances d'un capteur plan thermique à eau à double vitrage.

Ces résultats sont des références pour une simulation numérique sera faire dans l'avenir.

Résumé

En raison des préoccupations environnementales croissantes, un fort accent est mis sur les sources d'énergies renouvelables.

Les capteurs solaires thermiques permettent aux utilisateurs de générer l'eau chaude de façon économique (ou pas cher) et de réduire la quantité d'énergie nécessaire pour le chauffage domestique. Etant donné que l'utilisation des capteurs solaire thermique augmente, les producteurs sont confrontés à une demande constante d'amélioration de la qualité, de la performance, de la productivité et des prix compétitifs. Et c'est là que le vitrage joue un rôle important.

Le vitrage est nécessaire dans les capteurs solaires thermiques pour transférer l'énergie du soleil vers l'absorbeur, et réduit les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur. En effet, l'utilisation de la couverture transparente évite le refroidissement de l'absorbeur par le vent.

En évitant les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur, le vitrage va permettre d'optimiser son efficacité et de recueillir le maximum de chaleur qui sera ensuite transférée à l'absorbeur. Cependant, plusieurs vitres ont été installées (utilisées) pour mesurer les données relatives à la performance thermique. Dans ce travail, nous avons traité l'effet de des vitres sur les performances thermiques de ce capteur, et analyser les analysées.

Mots clés: Energie solaire, Capteur plan, Transfert thermique, chauffe – eau solaire, performance, double vitrage, simple vitrage, sans vitrage, vitrage.

Abstract

Due to increasing environmental concerns, a strong focus is placed on the renewable energies sources.

Solar thermal collectors allow users to generate hot water in way economic (or cheap) and reduce the amount of energy needed for home heating. Since the increasing use of solar thermal collectors producers are facing a constant demand for improvement of quality, performance, productivity and competitive prices. And that's where glazing plays an important role.

Glazing is necessary in solar thermal collectors for transfer energy from sun to the absorber, and reduces of heat losses in the front of the absorber. Indeed, the use of a transparent cover prevents the cooling of the absorber by wind.

By avoiding thermal losses towards the front of the absorber, the glazing will make it possible to optimize its efficiency and collect the maximum of heat that will be then transferred to the absorber. However, several glazing was installed (used) to measure thermal performance data. In this works, we treated the effect of glazing on the thermal performance of this sensor, and analyzed the results.

Key words: Solar energy, Flat sensor, Thermal transfer, solar water, heater, performance, double glazing, single glazing, no glazing, glazing.

ملخص :

بسبب تزايد المخاوف البيئية، يتم التركيز بشدة على مصادر الطاقات المتجددة. اللاقط الحراري الشمسي يسمح للمستخدمين بتسخين الماء بطريقة اقتصادية (أو غير مكلفة) كما يسمح بتقليل كمية الطاقة اللازمة لتدفئة المنزل. بما أن استخدام اللاقط الحراري الشمسي في ازدياد، فإن المنتجين يواجهون الطلب المستمر لتحسين الجودة والأداء والإنتاجية والأسعار القادرة على المنافسة. ولهذا فإن الغطاء يلعب دوراً مهماً في ذلك. غطاء اللاقط الحراري الشمسي يلعب دور مهم في نقل الطاقة الشمسية إلى داخل اللاقط الحراري، ويقلل من ضياع الطاقة، كما أن الغطاء يمنع تبريد الصفيحة المعدنية الماصة للحرارة بواسطة الرياح. من خلال تجنب الضياع الحراري أعلى الصفيحة المعدنية، فالغطاء من الممكن أن يزيد من كفاءة وأداء اللاقط الحراري وزيادة استقبال الحرارة المحولة إلى الممتص. غير ان العديد من الغطاءات ركبت (استعملت) لقياس الأداءات الحرارية. في هذا العمل قمنا بدراسة تأثير الأغطية الزجاجية على الأداء الحراري لهذا اللاقط، و تحليل نتائجها.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، اللاقط الحراري، انتقال الحراري، تسخين الماء بالطاقة الشمسية، الأداء، زجاج مزدوج، زجاج مفرد، بدون زجاج، زجاج.