

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Hydrocarbures, Energies Renouvelables
Et Sciences De La Terre Et De L'Univers
Département Des Energies Renouvelables



Mémoire de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et technologies

Filière: Energie renouvelables

Spécialité : Energies en mécanique

Présenté par :

SOBHI Fatma

CHEBBOUB Imane

Thème:

**Amélioration de l'efficacité énergétique par
l'intégration de systèmes solaires sur les parois
verticales des locaux : Expérimentation sur site.**

Soutenu publiquement

Le: 26/06/2019

Devant le jury composé de :

Nom et prénoms	Grade	Qualité	Etablissement
BELLOUFI Yousef	MCB	Président	UKM OUARGLA
MAAMMEUR Hocine	MCB	Examineur	UKM OUARGLA
BOUCHEKIMA Bachir	Professeur	Rapporteur	UKMOUARGLA

Année universitaire : 2018/2019

Dédicaces

Nous dédie ce modeste travail

A nos chers parents

A nos frères et mes sœurs

A toute notre famille

A notre encadreur Pr. BOUCHEKIMA Bachir

Aux membres du Jurer: Dr. Maammeur Hocine et Dr. Belloufi Yousef

Au Mr. MOUMENI Abdelhamid

A tous mes condisciples et mes ami(e)s partout

A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science

Et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien

Et la prospérité de l'humanité

Remerciements

Merci avant tout au bon dieu ALLAH, le clément, le miséricordieux, le

Tout puissant.... Au terme de notre travail et bien sur notre université

Kasdi Merbah Ouargla. Nous tenons tout d'abord à remercier notre

Encadreur, Pr. BOUCHEKIMA Bachir. Qui a bien voulu accepter

de diriger ce travail avec ses précieux conseils, ses encouragements et

qui avait manifesté un intérêt particulier pour le mener à terme.

A nos familles qui ont porté avec nous le poids de nos soucis et nos

difficultés. Que nos parents et frères trouvent ici l'expression de nos

plus profonds attachements et de notre gratitude infinie.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont aidé de

près ou de loin, à mener ce travail à terme. A nos ami(e)s qui ont tenté

de nous porter de l'aide et du soutien.

A tous ceux que nous n'avons pas cités, qu'ils trouvent ici l'expression

de notre sincère gratitude.

Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
A	L'azimut	(°)
A	surface d'échange	m ²
A_c	Surface du capteur	m ²
alb :	Albédo du sol	-
C_p	chaleur spécifique	J/kg.K
D_h	Diamètre hydraulique	m
D_t	Pas de temps	s
E	Epaisseur de la veine d'air mobile	m
ε_{AL}	Emissivité de la plaque	-
e_b	Epaisseur du bois	m
ε_b	Emissivité du bois	-
e_{is}	Epaisseur de l'isolant arrière	m
ε_{nAl}	Emissivité de l'absorbeur	-
ε_{mat}	Emissivité de l'absorbeur peint en noir mat	-
Et	l'équation du temps	min
ε_v	Emissivité du vitrage	-
F'	Coefficient d'efficacité local de transfert air-absorbeur	-
Fr	Coefficient de conductance de l'absorbeur	-
f_s	Section du canal d'écoulement garni de chicanes	m ²
G *	densité de flux thermique globale	W.m ⁻²
G	Rayonnement solaire incident	W/m ²

G	Débit d'air massique	kg/h
g_h	Rayonnement global sur un plan horizontal	W/m ²
h	La hauteur du soleil	(°)
h	coefficient de convection	W/m ² /K
h_{r nv}	Coefficient de transfert radiatif absorbeur - vitre	W/m ² K
h_{abs}	Coefficient de transfert convectif entre l'absorbeur et l'air	W/m ² K
h_p	Coefficient global de pertes	W.m ⁻² .K ⁻¹
h_{pl-f}	Coefficient de transfert convectif entre la plaque arrière et l'air	W/m ² K
h_{r nAl}	Coefficient de transfert radiatif absorbeur - plaque d'aluminium	W/m ² K
h_{rabs-pl}	Coefficient de transfert radiatif entre l'absorbeur - la plaque arrière	W/m ² K
h_{rc}	Coefficient de transfert radiatif vitre - voûte céleste	W/m ² K
h_{vnat}	Coefficient de pertes par conduction-convection naturelle absorbeur - vitre	W/m ² K
h_{vv}	Coefficient de transfert convectif dû au vent	W/m ² K
h_{vv}	Coefficient de transfert convectif dû au vent	W/m ² K
I	Eclairement solaire	W/m ²
i	Coordonnée du nœud suivant l'axe x	-
I	Rayonnement direct sur un plan incliné	W/m ²
I₀	la constante solaire	W/m ²
I_c	la valeur corrigée de la constante solaire	W/m ²
I_G	Flux solaire global incident	W/m ²
I_G	Flux global reçu par le capteur plan à air	W/m ²
I_h	Rayonnement direct reçu sur une surface horizontale	W/m ²
I_n	Rayonnement direct reçu sur un plan normal au rayonnement	W/m ²
K	coefficient de conductivité thermique	W/m/k

L	Longitude	(°)
L	Largeur du capteur plan à air	m
L	Longueur du capteur plan à air	m
\dot{m}	Débit d'air massique	kg/s
M	Le numéro du mois dans l'année	
\dot{m}_f	Débit de fluide caloporteur	m ³ /s
η	Rendement instantané du capteur plan	-
N	Nombre de vitrage	
N	Le numéro du jour dans l'année.	
Φ_g	Flux global reçu par le capteur	W/m ²
P_n	Puissance absorbée	W
P_p	Puissance des pertes	W
P_s	Puissance stockée	W
P_u	Puissance utile	W
Q	débit volumique	m ³ /s
q	le flux échangé par convection	W
q_{cf}	Débit calorifique du fluide caloporteur = débit massique X capacité calorifique	W.K ⁻¹
Q_{ij}	Flux de rayonnement entre les surfaces i et j	W
Q_u	Puissance utile	W
Q_u	Quantité de chaleur utile récupérée	W/m ²
Q_v	Débit volumique d'air	m ³ /h
S_{abs}	Surface du capteur solaire plan à air	m ²
S_{ch}	Surface totale des chicanes	m ²
S_p	Section de passage du fluide caloporteur	m ²
t	Temps	s

T	La température	K
T_a	Température ambiante	K
T_{abs}	Température moyenne de l'absorbeur	K
T_{Al}	Température de la plaque d'aluminium placée dans la veine d'air mobile du capteur	K
T_C	Température équivalente de la voûte céleste	K
T_f	Température moyenne de l'air dans la veine d'air mobile du capteur	K
T_N	Température de l'absorbeur	K
T_f	température du fluide	K
T_f	température du fluide	K
T_{fe}	Température de l'air à l'entrée du capteur	K
T_{fs}	Température de l'air à la sortie du capteur	K
TL	Le temps légal	h
T_{if}	Température d'entrée du fluide caloporteur dans le capteur	K
T_p	température de la paroi solide	K
T_p	température de la paroi solide	K
T_{pl}	Température de la plaque arrière placée sur l'isolation arrière du capteur	K
TSM	Le temps solaire moyen	h
TSV	Le temps solaire vrai	h
TU	Le temps universel	h
T_v	Température de la vitre	K
u,v,w	Composantes du vecteur vitesse	m/s
U_b	Coefficient de pertes thermiques à l'arrière de l'absorbeur	W/m ² K
U_L	Coefficient global de perte thermique entre l'absorbeur et l'air ambiant	W/m ² K
U_t	Coefficient de pertes thermiques à l'avant de absorbeur	W/m ² K
V_f	Vitesse de l'air dans la veine d'air mobile	m/s

V_v	Vitesse du vent	m/s
A	Coefficient d'absorption	
α	Coefficient d'absorptivité de l'absorbeur.	
β	Facteur optique du capteur	(°)
β	Inclinaison du capteur	
Δ	La déclinaison	
ΔH	le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considérée	h
E	coefficient d'émission	
ϵ	Émissivité thermique du matériau	-
ζ	taux de transmission	
η_i	Rendement instantané	%
λ	conductibilité	$Wm^{-1}K^{-1}$
λ'	Longueur d'onde	m
λ_g	Conductibilité de l'air	W/m.K
μ_f	Viscosité cinématique de l'air kg/ms	
ν_f	Viscosité dynamique de l'air	
ρ	Masse volumique	kg/m^3
ρ	La masse volumique de l'air	kg/m^3
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	$W/m^2.K^4$
σ	Taux d'ensoleillement	
$\sigma = 5.67.10^{-8}$	Constante de Stephan Boltzmann	W/m^2K^4
τ_v	Coefficient de transmittivité du vitrage	
Φ	Latitude	(°)
Φ	Densité du flux thermique de la source de chaleur	$W m^{-2}$

Ω	L'angle horaire	(°)
ϕ	Densité de flux de chaleur	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
η_0	Rendement optique	%
τ	Coefficient de transmission	
φ	Flux de chaleur	W
ω	L'angle horaire	°/h
ω	Angle solaire	(°)

**LISTE DES FIGURES
ET TABLEAUX**

Liste des figures

Chapitre 01:

Figure 1.1: Schéma de principe d'un capteur solaire plan.....	05
Figure 1.2: Schématisation de principe de captation du rayonnement solaire.....	06
Figure 1.3: Chauffage et climatisation des habitations	12
Figure 1.4: Séchage solaire.	13
Figure 1.5: Capteur solaire plan à air.....	13
Figure 1.6: Perte dans le capteur.....	14
Figure 1.7: Schéma des différentes pertes	15
Figure 1.8: Bilan thermique de la plaque absorbante.	16
Figure 1.9: Les différents échanges thermiques dans un capteur plan vitré.....	16
Figure 1.10: Schématisation des différents types d'échanges thermiques d'une paroi de l'habitat	17
Figure 1.11: Bilan thermique d'un capteur solaire.....	18
Figure 1.12: Différents éléments d'un capteur solaire plan.....	23
Figure 1.13: Transmission lumineuse et facteur solaire.....	24

Chapitre 02:

Figure 2.1 : Coupe transversale du capteur à air	30
Figure 2.2 : Disposition des thermocouples dans le capteur	30
Figure 2.3 : Vue du banc d'essai	31
Figure 2.4 : Evolution de l'éclairement global incliné	32
Figure 2.5 : Profil de températures (T_{fs}, T_{fe})	33
Figure 2.6 : Représentation du rendement instantané	33
Figure 2.7: Evolution de l'éclairement global incliné	32

Figure 2.8: Profil de températures (T_{fs} , T_{fe})	33
Figure 2.9: Représentation du rendement instantané	33
Figure 2.10 : Comparaison du rayonnement solaire global théorique et expérimental.....	39
Figure 2.11 : Comparaison de la température de sortie du fluide caloporteur	40
Figure 2.12 : Schéma du dispositif expérimental.....	41
Figure 2.13 : Schéma descriptif des chicanes.....	41
Figure 2.14 : Evolution du rayonnement global de la température ambiante en fonction du temps	46
Figure 2.15 : Evolution de la température de l'air à l'entrée et à la sortie du capteur en fonction du temps.....	47
Figure 2.16 : Façade du capteur solaire.....	49
Figure 2.17: Profil annuel des irradiances globales solaires quotidiennes sur les surfaces en pente et demande en eau chaude sanitaire.....	50

Chapitre 03:

Figure 3.1: Laine de verre et plaque absorbante.....	54
Figure 3.2 : Photos représentant la pigmentation de l'absorbeur en noir mat et l'emplacement de la vitre.....	55
Figure 3.3: Photos représentant le ventilateur.....	55
Figure 3.4: protocole expérimental dans la chambre	56
Figure 3.5: Capteur solaire à air	57
Figure 3.6: Schémas des capteurs	57
Figure 3.7: Chambre d'étude	58
Figure 3.8: Capteurs intégrés à la chambre	59
Figure 3.9: Solari-mètre et acquisition.....	60

Figure 3.10: Anémomètre + Panneaux PV + Ventilateur	60
Figure 3.11: Position des thermocouples	61
Figure 3.12: Chambre et distribution des thermocouples.....	61
Figure 3.13: Rayonnement solaire.....	63
Figure 3.14: Température ambiante en fonction de TVS	64
Figure 3.15: Température de l'absorbeur	65
Figure 3.16: Température de la vitre	66
Figure 3.17: Températures d'entrées de l'air.....	67
Figure 3.18: Températures de sorties de l'air.....	68
Figure 3.19: Rayonnement solaire.....	71
Figure 3.20: Distribution de la température dans la chambre et température ambiante.....	72

Liste des tableaux

Chapitre 01:

Tableau 1.1- Quelques caractéristiques optiques du verres.....	24
Tableau 1.2- Caractéristiques optiques des matériaux.....	25
Tableau 1.3- Caractéristiques des matériaux utilisés comme absorbeur.....	26
Tableau 1.4- Revêtements des surfaces d'absorbeur.....	27
Tableau 1.5- Quelques propriétés des isolants.....	27

Chapitre 02:

Tableau 2.1- Valeurs des coefficients A, B et C.....	36
---	-----------

Chapitre 03:

Tableau 3.1: Vitesse d'entrée de l'air et sa variation.....	63
Tableau 3.2: Vitesse du vent.....	70

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Dédicaces

Remerciements

Nomenclature

Liste des figures

Liste des tableaux

Sommaire

Introduction générale.....	01
PARTIE I : ETUDE THEORIQUE	
Chapitre 01 : Etudes de capteurs solaires	
1.1: Principe et caractéristiques des capteurs solaires.....	05
1.1.2: Principe de fonctionnement	05
a-Corps noir.....	06
b- Effet de serre.....	06
1.1.2: Caractéristiques des capteurs plans.....	06
1.2: Différents composants d'un capteur solaire.....	07
1.2.1: L'absorbeur.....	08
1.2.2: La couverture transparente.....	09
1.2.3: L'isolant	09
a. Isolants minéraux.....	09
b. Isolants d'origine végétale.....	10
c. Isolants organiques.....	10
1.2.4: Le fluide caloporteur	10
a. L'air.....	11
b. L'eau.....	11
c. Les gilotherms.....	11
1.3: Application des capteurs solaires.....	11
a. Chauffage et climatisation des habitations	11
b. Le séchage	12
1.4: Capteurs solaires à air.....	13

1.5: Bilan thermique des capteurs solaires.....	14
a. Bilan thermique de l'absorbeur	14
b. Les différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire	16
c. Comment fonctionnent les systèmes du mur solaire.....	17
1.5.1: Bilan global	17
a. Bilan thermique global de la paroi absorbante.....	17
1.5.2: Bilan partiel des constituants	20
1.5.3: Rendement énergétique d'un capteur solaire	20
a. Le rendement global	20
b. Le rendement interne.....	20
c. Le rendement optique	20
1.5.4: Calcul du flux d'un capteur solaire vertical.....	21
A. Profil de température dans le sens de l'écoulement du fluide	21
1.5.4.1: Capteur sans vitrage.....	22
1.5.4.2: Capteur avec vitrage.....	22
a. Couverture transparente.....	23
b. L'absorbeur	25
c. Isolation thermique.....	26
Chapitre 02 : Synthèse bibliographique des travaux antérieurs: Etude théorique et étude expérimentale	
2.1: Capteur solaire simple: Différentes études sur les capteurs solaires à air	29
A. Premier cas d'étude.....	29
A.1: Description et fonctionnement du dispositif expérimental	29
A.2: Mesures effectuées.....	29
A.3: Résultat et discussion	31
A.4: Conclusion.....	33
B. Deuxième cas d'étude.	34
B.1: Capteur solaire avec chicane: Effet d'obstacle longitudinal dans un collecteur solaire à air intégré verticalement dans les bâtiments.....	34

B.1.1: Intégration du capteur solaire avec chicanes.	34
B.2.2: Description	34
B.3.3: Modélisation des coefficients d'échange thermique	37
a : Transfert thermique par convection	37
b: Transfert thermique par rayonnement	37
c: Coefficient de pertes thermique vers l'avant du capteur.....	38
d: Transfert thermique par conduction	38
2.2: Modélisation de la température de sortie	38
2.2.1: Résultats et discussion	39
2.2.2: Analyse théorique	42
2.2.3: Résultats et discussion	45
2.2.4: Conclusion.....	47
2.3: Intégration de capteur solaire	48
2.3.1: Objectif de l'intégration des capteurs solaires	48
2.3.2: Introduction	48
2.3.3: Conception du collecteur de façade.....	49
2.3.4: Conclusion	50

PARTIE II: ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre 03: Travail expérimental

3.1: Réalisation d'un capteur à air et isolation thermique.....	54
3.2: Préparation de la chambre	55
3.3: Installation du ventilateur	55
3.4: Description du protocole expérimental	56
3.5: Capteur solaire simple.....	56
3.6: Capteur solaire avec chicanes	56
3.7: Propriétés des capteurs solaires	57
3.8: Chambre à chauffer	58
3.9: Intégration des capteurs verticaux.....	58
3.10: Mesure expérimentale	59
3.10.1: Matériel	59

3.10.2: Position des thermocouples.....	60
a. Capteur solaire simple.....	60
b. Capteur solaire avec chicane	60
c. Dans la chambre.....	61
3.11: Déroulement des expériences.....	61
A. Résultats expérimentaux	61
A.1: Profil des températures d'entrée et de sortie de l'air.....	67
A.2: Efficacité énergétique.....	69
3.12: Étude de l'intégration des capteurs	70
3.12.1: Profil des températures dans la chambre.....	72
3.13: Interprétation des résultats.....	73
3.14: Conclusion.....	73
Conclusion générale	74
Références bibliographiques	75
Annexe	78
Résumé.....	81

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'augmentation brutale du prix du pétrole survenue en 1973 a conduit, l'homme à s'intéresser à des sources d'énergie renouvelable au premier rang desquelles l'énergie solaire.

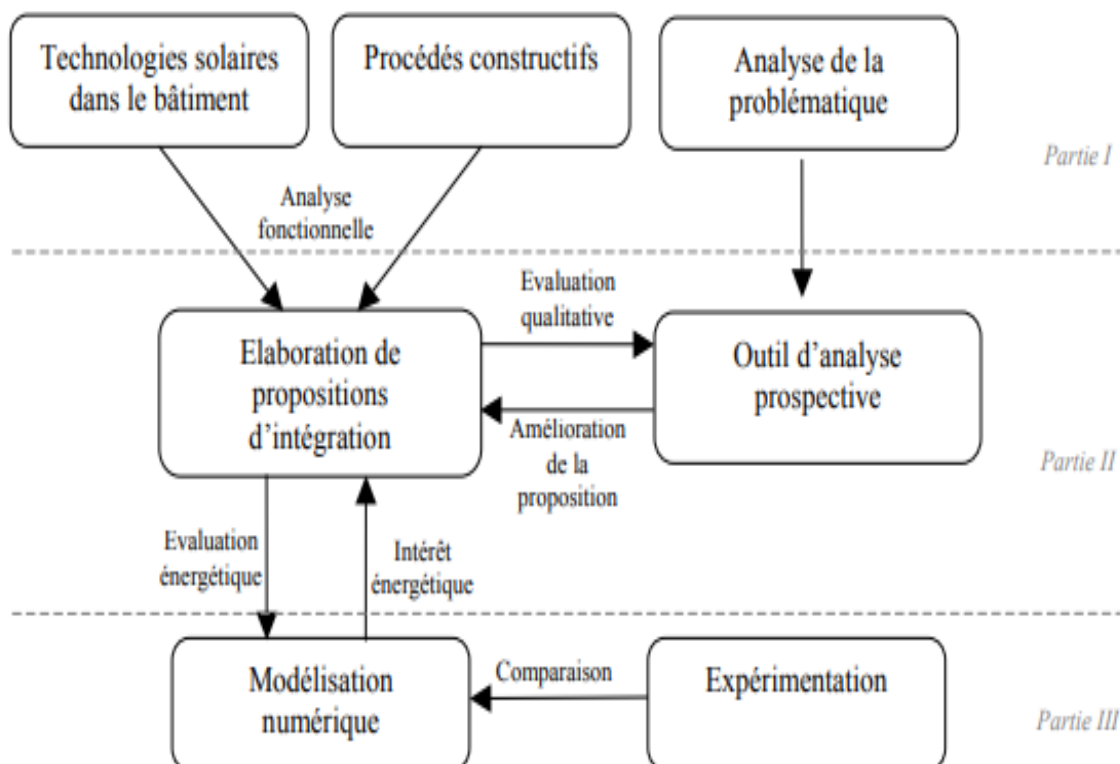
D'autre part, l'échauffement climatique causé par l'émission des gaz à effets de serre a conduit beaucoup de pays à s'intéresser à des énergies propres. L'énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique). L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement, directement ou de manière diffuse à travers l'atmosphère. Sur Terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau et du vent. Le règne végétal, dont dépend le règne animal, l'utilise également en la transformant en énergie chimique via la photosynthèse. A l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice, l'énergie solaire est à l'origine de toutes les énergies sur Terre.

Grâce à divers procédés, l'énergie solaire peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou la chaleur obtenue à partir de cette dernière. Un des outils utilisés pour exploiter l'énergie solaire est le capteur à air qui peut être utilisé dans beaucoup d'applications nécessitant des températures basses et modérées, telles que le chauffage des locaux, le séchage des produits agricoles, le séchage du bois, le séchage des briques, etc....

L'objectif de notre travail est l'étude de l'efficacité énergétique des bâtiments en vue de l'optimisation de la consommation énergétique et on vue d'assurer le confort thermique.

Différents paramètres internes et externes doivent être mesurés (T, h, flux solaire, vitesse du vent, rayonnement) pour établir le bilan thermique du bâtiment qui va permettre d'atteindre les paramètres de fonctionnement optimal adéquat pour la meilleure consommation énergétique avec le meilleur isolant thermique possible.

Dans le but d'atteindre nos objectifs, nous proposons une démarche articulée autour de plusieurs principes méthodologiques. Elle peut être représentée graphiquement de la manière suivante :



Dans un premier temps, nous effectuons l'analyse de la situation actuelle de la technologie solaire thermique dans le secteur bâtiment. Cette analyse nous permet de mettre en évidence les principales applications des systèmes solaires thermiques dans ce secteur, et de faire une analyse des ressources et des besoins à satisfaire. Cette étape constitue le premier apport pour la définition des composants devant assurer les fonctions essentielles de l'enveloppe considérée comme système solaire, notamment les fonctions de captage, de stockage et de distribution.

PARTIE I :
ETUDE THEORIQUE

Chapitre 01 :
Études de capteurs solaires.

1.1- Principe et caractéristiques des capteurs solaires:

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 [01].

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 [01].

1.1.2: Principe de fonctionnement :

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer le rayonnement qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air,). Le schéma de principe d'un capteur solaire plan est donné sur la figure 01. La paroi absorbante s'échauffe sous l'effet de l'absorption du rayonnement solaire incident. [02]

Le fluide qui circule sous cette paroi récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température $T_{fs} - T_{fe}$ à la traversée du capteur [03].

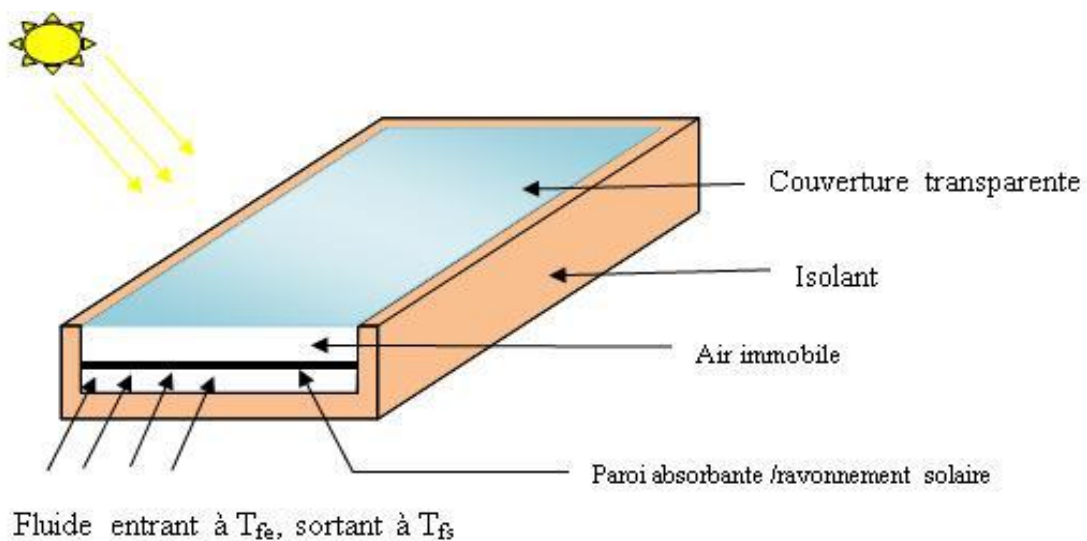


Figure 1.1 Schéma de principe d'un capteur solaire plan.

Un capteur plan est relativement insensible aux conditions du ciel, dont la réalisation ne demande pas une conception compliquée. Cependant, la conception d'un collecteur avec effet de concentration, fait appel à des techniques plus ou moins complexes dont le principe consiste à focaliser le rayonnement incident sur un absorbeur de surface réduite. Les capteurs plans utilisent le rayonnement diffus provenant du ciel et du sol, par contre les concentrateurs n'utilisent que le rayonnement direct.

La figure suivante montre le principe de captation par les deux types de conversion thermique de l'énergie solaire [04].

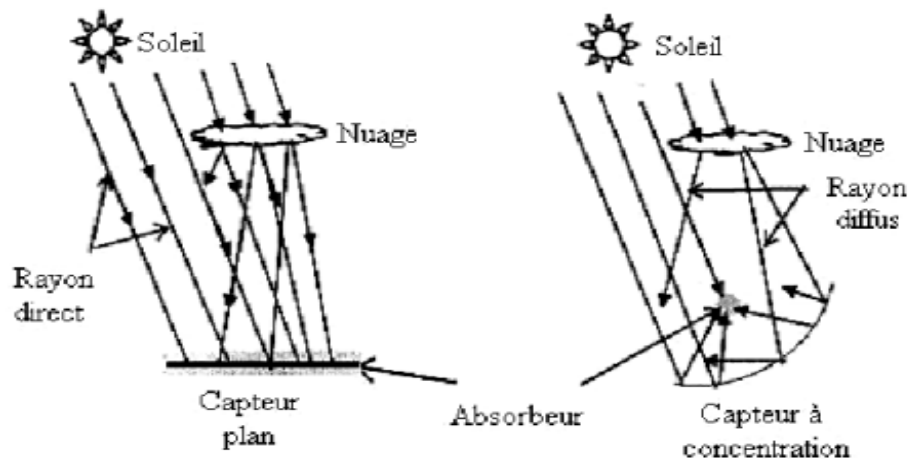


Figure 1.2. Schématisation de principe de captation du rayonnement solaire.

Il combine deux principes physiques : les effets de serre et du corps noir.

a-Corps noir

C'est un corps ou une surface qui absorberait de façon idéale la totalité d'un rayonnement qu'il reçoit, et qui aussi, à une température donnée et pour une longueur d'onde donnée, il émettrait le maximum de flux par rayonnement [04].

b- Effet de serre

L'effet de serre est souvent mis à profit de la température et du rayonnement solaire. On désigne normalement par "effet de serre", l'ensemble des modifications apportées à l'équilibre énergétique et thermique d'un corps récepteur (le sol par exemple) [04].

1.1.2: Caractéristiques des capteurs plans:

Exemple d'étude:

Memoire Présenté par : M^r Bouziane Housseyn et M^r Chalabi MedRéda

Theme: Amélioration du rendement des capteurs solaires plans à eau par la qualité des matériaux. Année 2013-2014; "Université de Tlemcen"

❖ Le vitrage

Longueur (m)	2.5
Largeur(m)	1.5
Epaisseur(m)	0.003
Transmissivité	0.92
Emissivité	0.88
Indice du milieu	1.50

❖ La plaque absorbante

Longueur(m)	2.20
Largeur(m)	1.20
Epaisseur(m)	0.0006

❖ L'isolant

Coefficient de conduction [W/m.K]	0.035
Epaisseur arrière (m)	0.03
Epaisseur latérale (m)	0.03

❖ Echelle tubulaire

Nature	Cuivre
Diamètre des tubes (mm)	15/18
Longueur (m)	2,40

❖ L'aérogel de silice

Masse volumique [Kg/m ³]	109
Indice de milieu	1.02
Transmissivité	0.92

1.2- Différents composants d'un capteur solaire :

Le capteur solaire plan se compose essentiellement des éléments suivants :

- une plaque opaque qui absorbe le rayonnement solaire et le transmet au fluide caloporteur.
- une isolation thermique arrière latérale.
- une couverture transparente généralement en verre à simple ou à double vitrage qui assure l'effet de serre et évite le refroidissement de l'absorbeur en le protégeant du vent.

1.2.1: L'absorbeur

Deux fonctions incombent à l'absorbeur [04] :

1. Absorber la plus grande partie du rayonnement solaire possible.
2. Transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de pertes.

De plus, il devra être le plus léger possible afin de limiter l'inertie de mise en régime et construit avec un bon matériau conducteur.

Les absorbeurs sont généralement réalisés avec des feuilles minces de métaux présentant une bonne conductibilité et une bonne tenue mécanique. C'est pourquoi, la plupart du temps, les absorbeurs sont réalisés au moyen d'un support en cuivre de 0,2 mm et sont recouverts par un traitement de surface.

L'absorbeur en général est disposé de 25 mm à 30 mm d'isolant.

Le rôle de l'absorbeur est de capter au maximum le rayonnement et d'en réémettre le moins possible.

Ces types de surfaces absorbant au maximum et réémettant au minimum ont été nommées surfaces « sélectives ».

La sélectivité de l'absorbeur est très importante; elle est améliorée au moyen de traitements de surface qui ajoutent au support des caractéristiques telles que le rayonnement solaire est très bien absorbé et que le rayonnement infrarouge émis (dû à l'échauffement) est limité.

Deux coefficients déterminent les caractéristiques de ces absorbeurs :

α : coefficient d'absorption (0 à 1, optimum : 1)

ϵ : coefficient d'émission (0 à 1, optimum : 0)

Un tel traitement de surface peut être obtenu par des procédés électrochimiques ou électro physiques.

De nombreux progrès ont été réalisés dans ce domaine: les plus importants, classés par ordre d'apparition, seront présentés et comparés par rapport à la peinture noire.

1.2.2: La couverture transparente

La couverture a une fonction de protection de l'absorbeur, mais elle joue aussi un rôle important dans le bilan thermique en réduisant les pertes de chaleur. Habituellement, on utilisera le verre comme couverture transparente [05].

Un tel dispositif représente donc un véritable piège au rayonnement solaire, qui peut être amélioré en munissant le capteur d'une double couverture.

1.2.3: L'isolant

Limiter les pertes de transmission vers l'extérieur est primordial pour optimiser les performances du capteur.

Nombreux sont les produits isolants qui peuvent convenir pour l'isolation des capteurs, mais il faut veiller à la tenue de la température, car une coupure de circulation du fluide caloporteur peut faire monter la température intérieure du capteur à plus de 150°C.

Les isolants généralement utilisés sont la laine de verre et les mousses polyuréthanes. Leur épaisseur varie de 4 à 8 cm.

Un bon isolant doit avoir les qualités suivantes :

- Une faible conductivité thermique.
- Une faible densité (pour une faible inertie thermique).
- La chaleur massique doit être basse.
- Une résistance thermique dans l'intervalle des températures de service.

On distingue trois types d'isolants :

a. Isolants minéraux

La laine de verre constituée de fibres de verre très fines, commercialisée sous de nombreuses formes : en plaques, en rouleaux et enrobée dans du plâtre. Sa conductivité varie entre $0,034 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ à 0°C et $0,053 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ à 200°C.

La vermiculite connue aussi sous le nom de mica, dont la conductivité varie de 0,12 à $0,60 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ et qui se présente sous forme de granulés très légers.

b. Isolants d'origine végétale

Le bois bien sec, sa conductibilité varie entre 0,13 et 0,4 $W m^{-1}K^{-1}$, ses qualités isolantes peuvent être améliorées, s'il est utilisé sous forme de fibres agglomérées ($\lambda = 0,05Wm^{-1}K^{-1}$ à $0,10 W m^{-1}K^{-1}$).

La sciure de bois ($\lambda = 0,11Wm^{-1}K^{-1}$), qui a deux inconvénients: son inflammabilité et sa conductibilité qui ont tendance à augmenter avec la chaleur, ce qui la rend inadéquate pour la calorifugation.

c. Isolants organiques

Les matières plastiques, sont de mauvaises conductrices de la chaleur.

Leurs propriétés isolantes peuvent être améliorées en insufflant un gaz durant l'étape de solidification, ce qui leur donnent la consistance d'une mousse, telle que les mousses phénoliques ($\lambda = 0,44Wm^{-1}K^{-1}$) et la mousse de chlorure de polyvinyle ($\lambda = 0,033Wm^{-1}K^{-1}$).

La mousse de polyuréthane existe sous deux aspects :

- Haute densité ($d = 0,6$) suffisamment rigide pour servir à la fabrication des caissons de capteurs, tout en constituant un bon isolant ($\lambda = 0,08Wm^{-1}K^{-1}$).
- Basse densité ($d = 0,03$) qui est plus fragile, mais meilleure, pour l'isolation ($\lambda = 0,025Wm^{-1}K^{-1}$). Il convient de recouvrir ce type de matériau d'un isolant plus résistant à la chaleur si la température dépasse la valeur de $90^{\circ}C$.
- Le polystyrène est très léger, fragile, de couleur blanche, utilisé généralement pour l'emballage. Ses propriétés isolantes sont légèrement moins bonnes que le polyuréthane, sa conductibilité thermique est de l'ordre de $0,04Wm^{-1}K^{-1}$, mais il est nettement moins cher et il se sublime à partir de $90^{\circ}C$.

1.2.4: Le fluide caloporteur :

Le fluide caloporteur est utilisé dans le circuit primaire de capteur solaire et a pour rôle de véhiculer la chaleur cédée par l'absorbeur. Différents fluides peuvent être utilisés mais doivent satisfaire à certaines conditions :

1-Grande capacité calorifique.

2-Faible viscosité.

3-Coefficient de transfert thermique élevé.

4-Haut point d'ébullition et bas point de congélation.

5-Degré d'agressivité faible devant les matériaux constituant le capteur.

Les fluides caloporteurs les plus utilisés sont :

a. L'air

L'air comme agent de transport de calories a un grand avantage par son abondance et sa gratuité, et par l'absence des problèmes de gel et de corrosion, ce qui donne au capteur une grande durée de vie et moins de travaux d'entretien.

Mais pour transporter une quantité raisonnable d'énergie il faut utiliser des volumes d'air très importants.

b. L'eau

Un excellent fluide caloporteur pour sa chaleur massique mais le risque de gel pendant les nuits d'hiver et le risque d'ébullition en cas de haute température pose des problèmes.

La naissance des couches de tartre dans les canalisations au fil de temps diminue la quantité de chaleur échangée.

b. Les gilotherms

Des liquides organiques à base de poly-phényles hydrogénés ou d'hydrocarbures linéaires traités pour ne pas présenter les mêmes défauts que l'eau, leur chaleur massique est 0,5Kcal/Kg .K.

Ces hydrocarbures se détériorent en présence des traces d'eau ou d'air et combustibles à haute température.

1.3- Applications des capteurs solaires plans à air :

A. Chauffages et climatisation des habitations:

Le principe est présenté sur la Figure 03, et consiste à chauffer le fluide dans le capteur solaire, l'air est véhiculé par ventilateur vers des points d'utilisations.

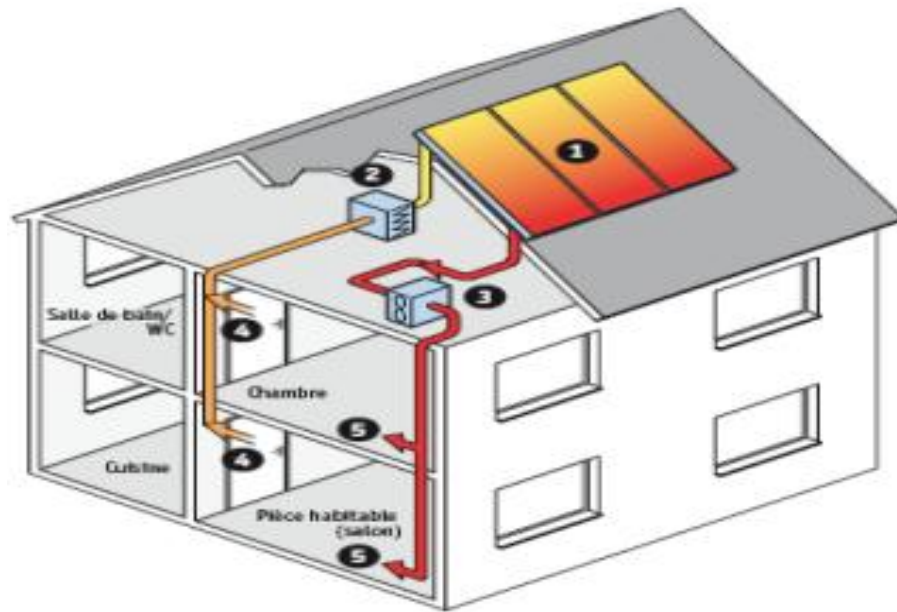


Figure 1.3- Chauffages et climatisation des habitations [06]

- 1- Capteur solaire plan à air
- 2- Filtre
- 3- Ventilateur
- 4- Entrée d'air
- 5- Sortie d'air

Le système de capteur solaire à air Il s'intègre dans l'habitat de façon modulaire et complète les systèmes de chauffage existant. Il permet de réaliser des économies substantielles d'énergie et d'améliorer le bilan thermique des bâtiments sur la période hivernale et en mi- saison en apportant une source complémentaire de chauffage. Une régulation fait circuler l'air des locaux à travers le panneau dès que la température interne du panneau permet d'obtenir un gain significatif.

B. Le séchage :

Utilisation des capteurs solaire à air pour le séchage des récoltes est idéale dans le cas du thé, du café, des fruits, des fèves, du riz, des épices, du caoutchouc, du cacao et du bois.

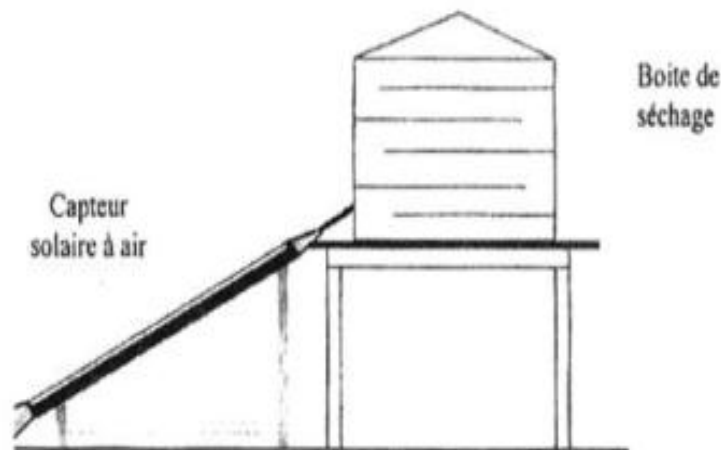


Figure 1.4 -séchage solaire. [07]

1.4: Capteurs solaires 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 solaire. Ces capteurs sont simples et n'ont pas de problème de refroidissement ni d'ébullition, c'est l'avantage par rapport aux capteurs à liquide.

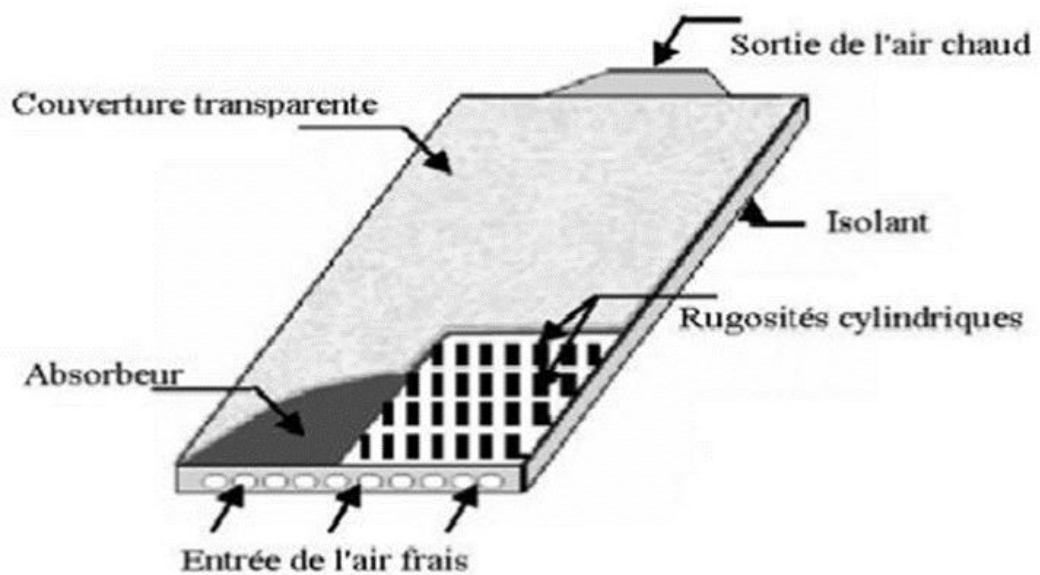


Figure 1.5 : Capteur solaire plan à air [08]

1.5- Bilan thermique des capteurs solaires :

Le bilan thermique sur le capteur est le résultat du bilan thermique sur la plaque absorbante, l'air de la cavité et l'isolation.

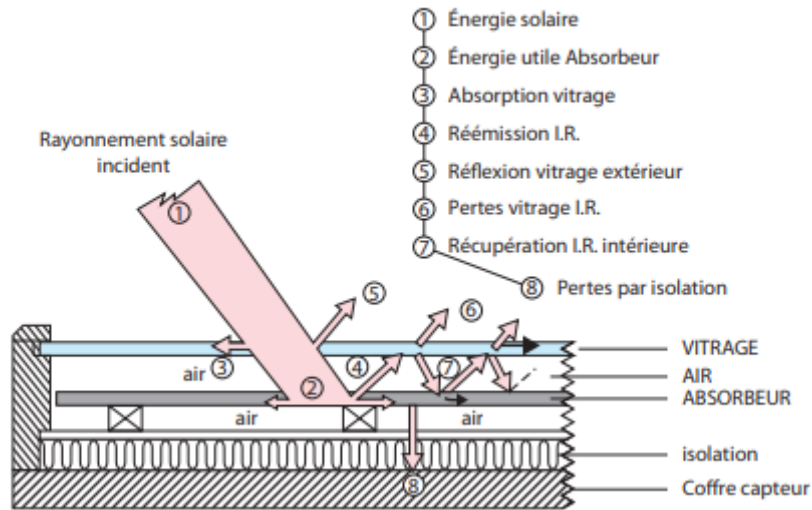


Figure1.6: Perte dans le capteur [09]

Commençant par le bilan thermique sur la plaque absorbante : $Q_{abs} + Q_{rad,abs-iso} = Q_{conv,abs-plen} + Q_{vent} + Q_{rad,abs,Env}$ (W)

a. Bilan thermique de l'absorbeur :

Le bilan thermique sur la plaque absorbante est exprimé par l'équation (1), la figure (1.8) montre les différents échanges entre la plaque absorbante, l'isolation, le milieu extérieur et l'air de la cavité :

$$Q_{abs} + Q_{rad,abs-iso} = Q_{conv,abs-plen} + Q_{vent} + Q_{rad,abs,Env} \quad (W) \quad (01)$$

Tel que :

Les Gains :

Q_{abs} : Le flux total absorbé.

Les pertes :

$Q_{rad,abs-iso}$: Echanges radiatifs (thermiques) à grande longueur d'onde (G.L.O) entre la plaque absorbante et l'isolation.

$Q_{conv,abs-plen}$: Echanges convectifs entre l'absorbeur et l'air de la cavité.

Q_{vent} : Echanges convectifs entre l'absorbeur et le milieu extérieur (pertes dues au vent).

$Q_{rad, abs, Env}$: Echange radiatif à grande longueur d'onde "G.L.O" entre l'absorbeur et l'environnement extérieur, (Sol et Ciel).

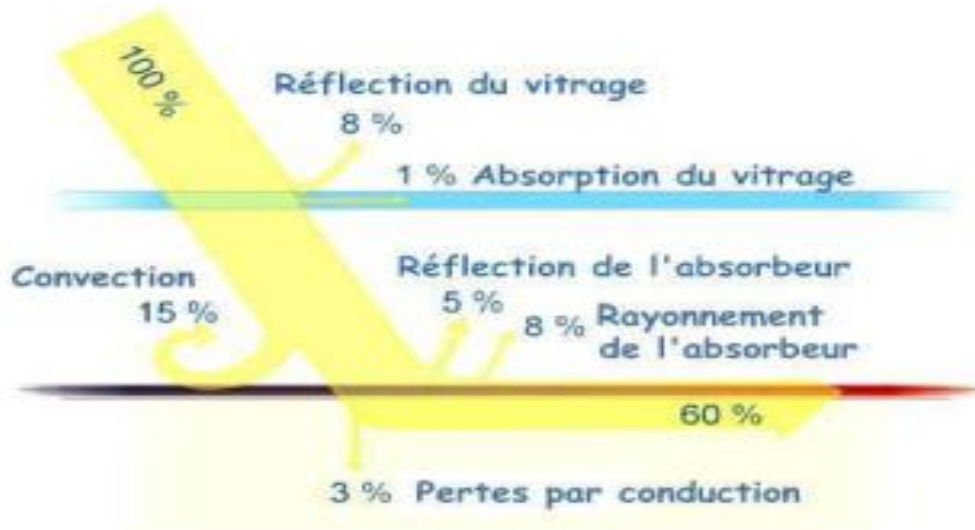


Figure1.7: Schéma des différentes pertes [10]

La figure présente de manière schématique les différentes pertes générées par les constituants du capteur solaire plan.

On remarque aisément que sur une base de 100 % à la surface du vitrage du capteur, seulement 60 % du rayonnement arrivent directement à l'absorbeur.

Quant aux 40 % restants ils ne sont pas complètement perdus mais ils vont jouer un rôle par l'intermédiaire de l'effet de serre.

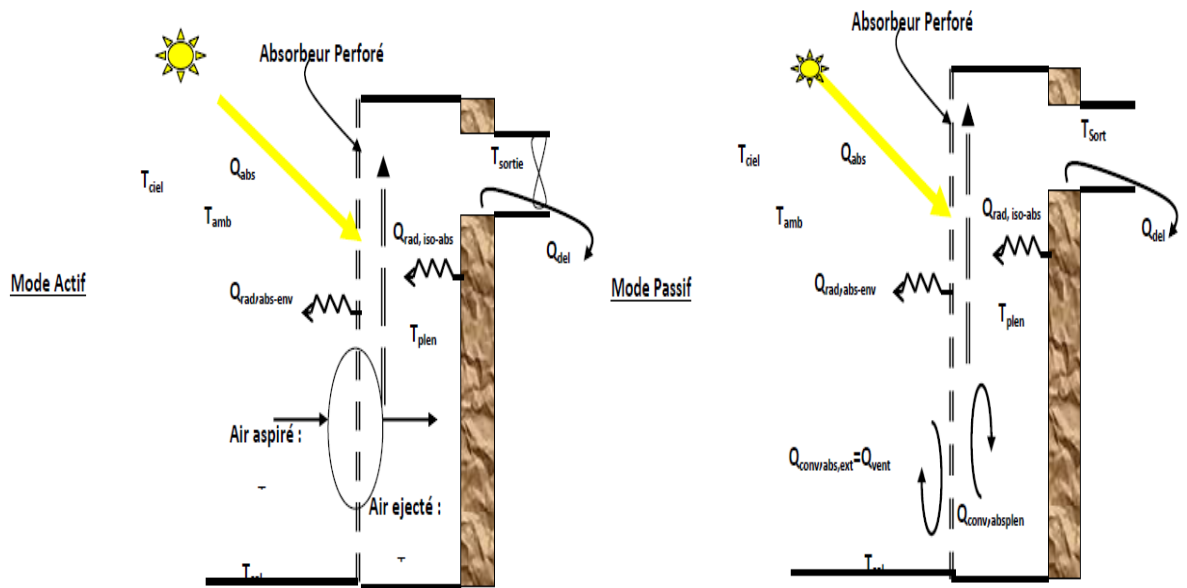


Figure 1.8 : Bilan thermique de la plaque absorbante. [11]

b. Les 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 (figure 09).

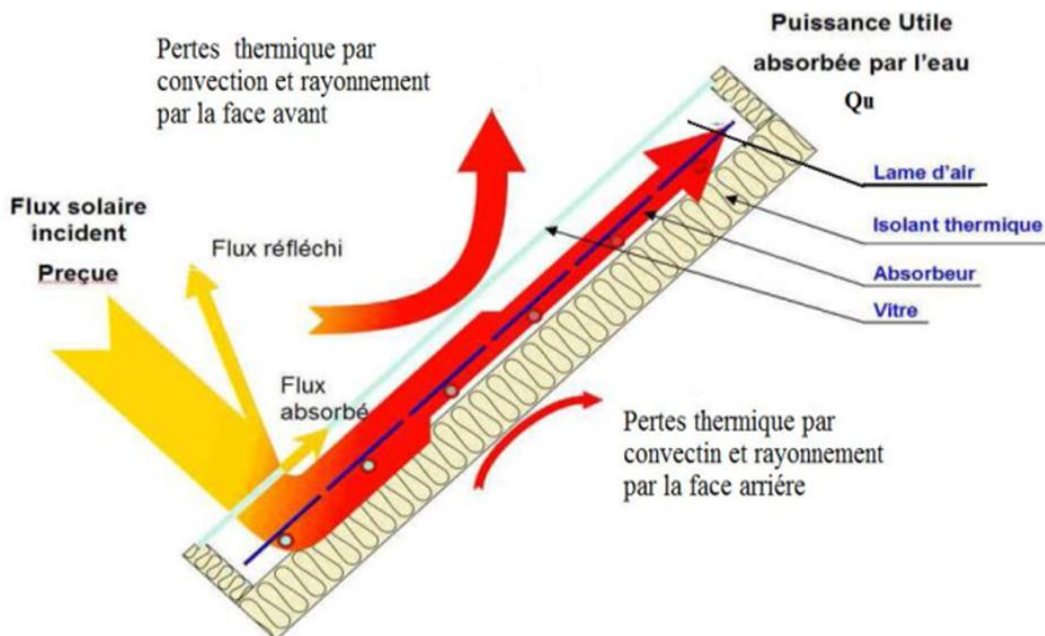


Figure 1.9: Les différents échanges thermiques dans un capteur plan vitré

c. Comment fonctionnent les systèmes du mur solaire:

Les systèmes Mur Solaire produisent jusqu'à 600 W/m² d'énergie thermique (1,5 à 3,5 GJ/m² par an). Lorsque le soleil réchauffe la surface du capteur, l'air chauffé est aspiré par des milliers de minuscules perforations à la surface et acheminé vers la prise d'air existante. Par une journée ensoleillée, cet air sera chauffé entre 16 et 38 ° C au-dessus de la température ambiante. L'air chauffé par l'énergie solaire est ensuite distribué dans tout le bâtiment via le système de ventilation classique ou des ventilateurs et conduits dédiés. La technologie Mur Solaire réchauffe l'air frais, ce qui améliore également la qualité de l'air intérieur. Le chauffage peut être l'une des dépenses énergétiques les plus importantes du secteur du bâtiment. La capacité d'un système Mur Solaire à gérer cette consommation d'énergie et à en déplacer une quantité non négligeable - et les émissions de gaz à effet de serre qui en résultent - explique pourquoi la technologie offre un retour sur investissement aussi attractif.

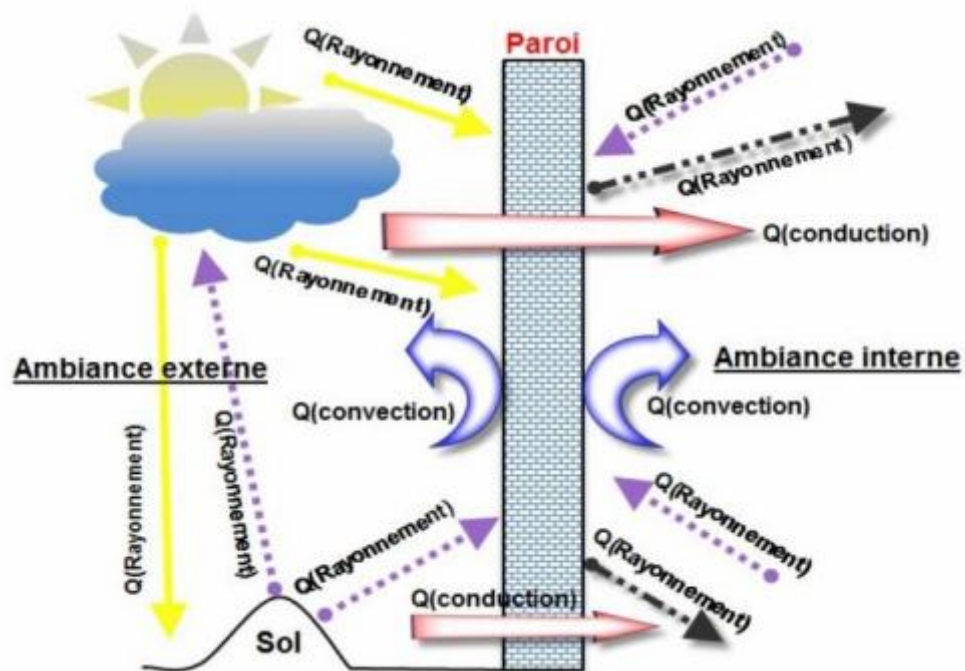


Fig.1.10: Schématisation des différents types d'échanges thermiques d'une paroi de l'habitat

1.5.1 Bilan global:

a. Bilan thermique global de la paroi absorbante :

Le bilan thermique de la paroi absorbante s'écrit [12]:

$$\varphi_{sa} = \varphi_{p \rightarrow} + \varphi_u + \varphi_{st} \quad (W) \quad (01)$$

Où :

φ_{sa} Flux solaire absorbé.

$\varphi_{p \rightarrow}$ Flux perdu par la paroi absorbante.

φ_u Flux utile transmis au fluide caloporteur.

φ_{st} Flux stocké dans le capteur qui s'écrit :

$$\varphi_{st} = M_f c_f \frac{\partial T}{\partial t} \quad (W) \quad (02)$$

Où :

M_f Masse en fluide du capteur définie par : $\sum m_i c_i = M_f c_f$, i représentant les différents éléments constitutifs du capteur.

T : Température moyenne du capteur.

t : Temps.

La puissance absorbée par le capteur s'écrit :

$$\varphi_{sa} \approx \tau_{cs} \alpha_{ps} G^*_{(i,\gamma)} S \quad (03)$$

Où :

φ_{sa} Flux solaire absorbé par la surface exposée (W).

$G^*_{(i,\gamma)}$ Eclairage (densité de flux) solaire incident sur le capteur ($W.m^{-2}$).

α_{ps} Coefficient d'absorption de la paroi absorbante par rapport au rayonnement solaire.

τ_{cs} Coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement solaire.

S Surface de la paroi absorbante.

Dans le cas où le fluide caloporteur ne subit pas de changement d'état, le flux utile s'écrit :

$$\varphi_u = q_{cf} (T_{fs} - T_{fe}) \quad (W) \quad (04)$$

Où :

q_{cf} Débit calorifique du fluide caloporteur ($W.K^{-1}$) = débit massique x capacité calorifique

T_{fe} Température du fluide caloporteur à l'entrée de l'absorbeur.

T_{fs} Température du fluide caloporteur à la sortie de l'absorbeur.

Les déperditions thermiques du capteur sont mises sous la forme :

$$\phi_{p \rightarrow} = h_p (T_{pm} - T_a) S \quad (W) \quad (05)$$

Où :

h_p Coefficient global de pertes du capteur.

T_{pm} Température moyenne de la paroi absorbante.

T_a Température de l'air extérieur.

Dans le cas d'un capteur plan, La température moyenne T_{pm} peut en première approximation être calculée par :

$$T_{pm} = \frac{3T_{fs} + T_{fe}}{4} + \Delta T \quad (K) \quad (06)$$

Pour tenir compte de la non-linéarité de l'évolution de la température du fluide dans le capteur et de l'écart de température ΔT existant entre le fluide et la paroi absorbante.

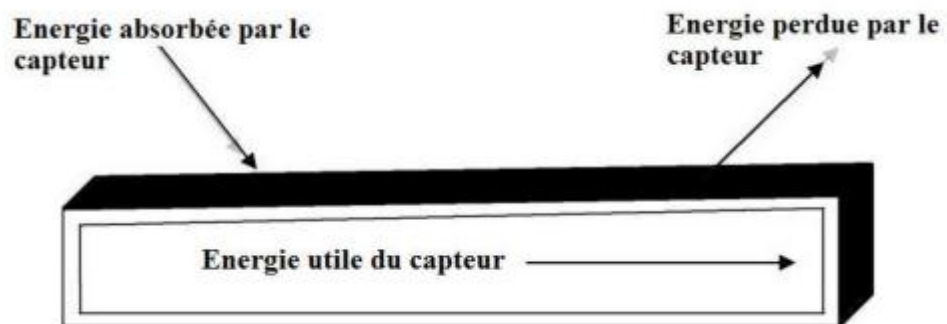


Figure 1.11: Bilan thermique d'un capteur solaire [12]

1.5.2: Bilan partiel des constituants :

Dans un capteur simple où l'écoulement est entre la vitre et l'absorbeur, le bilan énergétique sur chaque constituant est donné comme suit (J.A. Duffie, 2013): [13]

Vitre

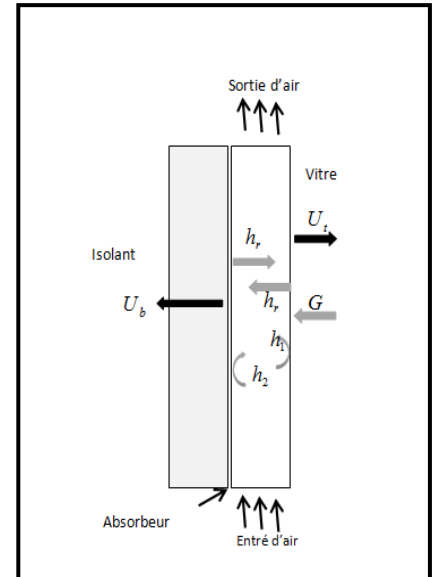
$$U_t(T_a - T_g) + h_1(T_f - T_g) + h_r(T_p - T_g) = 0$$

Plaque absorbante

$$G + U_b(T_a - T_p) + h_2(T_f - T_p) + h_r(T_g - T_p) = 0$$

Flux d'air

$$h_1(T_g - T_f) + h_2(T_p - T_f) = q_u$$



1.5.3: Rendement énergétique d'un capteur solaire :

Les rendements d'un capteur sont définis par rapport au flux solaire incident de la manière suivante :

a. Le rendement global :

$$\eta = \frac{Q_u}{G^* (i,\gamma) S} \tag{07}$$

b. Le rendement interne :

$$\eta_i = \frac{Q_u}{Q_{sa}} \tag{08}$$

c. Le rendement optique :

$$\eta_0 = \frac{Q_{sa}}{G^* (i,\gamma) S} \tag{09}$$

On définit également des rendements moyens sur une période donnée (jour, mois, année). Pour ce faire, On intègre la relation du bilan (3.1) sur la période choisie :

$$\int_0^t \varphi_{sa} dt = \int_0^t \varphi_u dt + \int_0^t \varphi_{p \rightarrow} dt \quad \text{Soit} \quad Q_{sa} = Q_u + Q_{p \rightarrow}$$

On définit alors les rendements global η , interne η_i et optique η_0 moyens du capteur sur la période considérée par :

$$\tilde{\eta} = \frac{Q_u}{\int_0^{\tau} G^*_{(i,\gamma)} S dt} \quad (10)$$

$$\tilde{\eta}_i = \frac{Q_u}{Q_{sa}} \quad (11)$$

$$\tilde{\eta}_0 = \frac{Q_{sa}}{\int_0^{\tau} G^*_{(i,\gamma)} S dt} \quad (12)$$

Ces rendements sont à considérer lors d'un calcul de dimensionnement d'un capteur solaire. Il ne faut pas les confondre avec les rendements instantanés qui sont toujours plus élevés (un rendement journalier moyen tient compte du refroidissement nocturne par exemple). [12]

1.5.4 Calcul du flux d'un capteur solaire vertical:

A. Profil de température dans le sens de l'écoulement du fluide :

Considérons un tube de longueur L parmi les n tubes du capteur. Le fluide entre dans le tube à la température T_{fe} et en ressort à la température T_{fs} . D'après ce qui précède, chaque tube gagne un flux utile $d\phi_u$ par unité de longueur dans le sens Ox de l'écoulement du fluide. Effectuons un bilan thermique sur la portion de fluide contenue dans un tube entre les distances x et $x+dx$ à partir de l'entrée du tube, il s'écrit [12] :

$$\frac{\dot{m}_f}{n} C_f \frac{\partial T_f}{\partial x} = d\phi_u dx$$

Ou :

\dot{m}_f Débit total du fluide dans l'absorbeur constitué de n tubes en parallèle ($kg.s^{-1}$)

C_f Capacité calorifique du fluide ($J.kg^{-1}$)

On en déduit :

$$\frac{\dot{m}_f}{n} C_f \frac{\partial T_f}{\partial x} = \ell F' [\phi_{sa} - h_p (T_f - T_a)] dx$$

Par intégration entre 0 et x, on obtient le profil de température longitudinal du fluide:

$$\frac{T_f(x) - T_a - \frac{\phi_{sa}}{hp}}{T_{fe} - T_a - \frac{\phi_{sa}}{hp}} = \exp\left(-\frac{n\ell F' h_p}{\dot{m}_f c_f} x\right)$$

Et par intégration entre x = 0 et x = L, on obtient l'expression suivante de la température de sortie T_{fs} du fluide dans laquelle S= ℓ L est la surface de l'absorbeur :

$$\frac{T_{fs}(x) - T_a - \frac{\phi_{sa}}{hp}}{T_{fe} - T_a - \frac{\phi_{sa}}{hp}} = \exp\left(-\frac{n\ell F' h_p}{\dot{m}_f c_f} x\right)$$

On peut également calculer la température moyenne du fluide dans l'absorbeur par :

$$T_{fmoy} = \frac{1}{L} \int_0^L T_f(x) dx$$

Qui conduit à l'expression suivante : [12]

$$T_{fmoy} = T_a + \frac{\phi_{sa}}{hp} + (T_{fe} - T_a) \frac{\phi_{sa}}{hp} \frac{\dot{m}_f c_f}{nSF' h_p} \left[1 - \exp\left(-\frac{n\ell F' h_p}{\dot{m}_f c_f} x\right)\right]$$

1.5-4-1 Capteur sans vitrage :

Egalement appelé « capteur moquette », il est constitué de réseau de tubes noires, généralement en matière plastique souple de type élastomère, l'EPDM (éthylène propylène diène monomère) [10]. Il est utilisé pour des eaux ne nécessitant pas une température supérieure à 30 °C (l'eau de piscine par exemple). Ce type de capteur est facile à intégrer, on peut le poser sur le sol (à proximité de la piscine) ou sur la toiture. Le rendement du capteur moquette est très bon pour produire des températures proches de la température de l'air ambiant.

1.5-4-2 Capteur avec vitrage :

Le capteur muni d'une couverture transparente, souvent appelé « Capteur vitré », est le plus utilisé, car il correspond au domaine d'application le plus courant : Le chauffage de l'eau sanitaire. La température d'utilisation est en général inférieure à 70 °C. Plus rarement, un capteur vitré, muni d'une couverture transparente de type

« Double vitrage », permet d'atteindre des températures de fonctionnement de l'ordre de 100 °C.

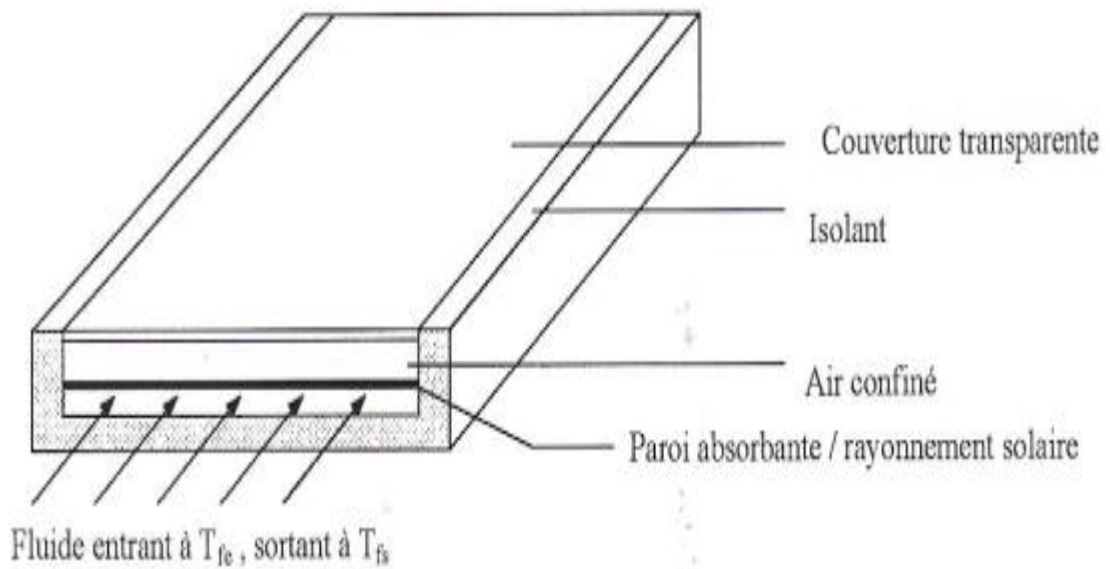


Figure 1.12: Différents éléments d'un capteur solaire plan

Le capteur vitré est constitué de différents composants :

- Le coffre.
- L'isolation thermique.
- L'absorbeur.
- La couverture transparente.

a. Couverture transparente

Du fait de sa résistance aux chocs, aux contraintes mécaniques (grêle, neige) et aux chocs thermiques (brusque refroidissement en cas d'orage), le verre sécurisé est principalement utilisé comme couverture transparente. Il est de préférence pauvre en oxyde de fer afin d'être le plus transparent possible à la transmission du rayonnement solaire. Dans le cas de capteurs intégrés en toiture, des matières synthétiques sont parfois utilisées. Leur durée de vie est plus faible que celle du verre ordinaire, mais elles sont plus légères, moins chères et plus faciles à mettre en œuvre.

La plupart du temps, le vitrage est légèrement structuré et disperse ainsi la fraction réfléchie du rayonnement solaire incident, afin de diminuer un éventuel éblouissement.

Les caractéristiques essentielles d'un vitrage sont :

- Le coefficient de transmission (τ) ;
- et l'émissivité (ϵ).

Le coefficient de transmission (τ) est essentiellement déterminé par la structure du vitrage (double ou triple, l'épaisseur des vitres, des espaces et la nature du gaz de remplissage).

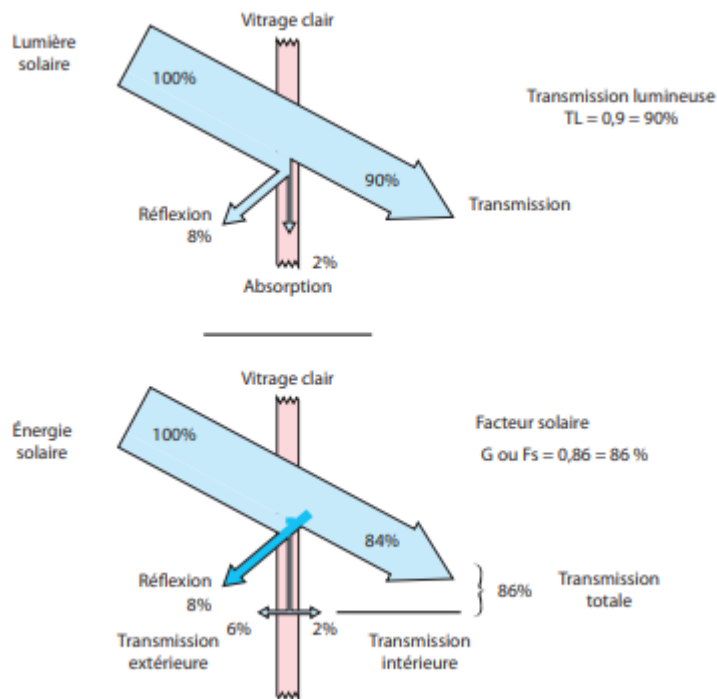


Figure 1.13: Transmission lumineuse et facteur solaire [09]

Les propriétés de divers types de verre sont données au tableau 01 [14].

Tableau 1.1- Quelques caractéristiques optiques des verres

Verre	Réflexion	Absorption	Transmission
Verre clair	8%	9%	83%
Verre basse teneur en Fe ₂ O ₃	8%	2%	90%

Le vitrage n'absorbe que faiblement le rayonnement solaire d'où il transmet donc un maximum d'énergie vers l'absorbeur.

Au tableau 02 sont données les caractéristiques optiques des matériaux, utilisés comme couverture transparente [15].

Tableau 1.2- Caractéristiques optiques des matériaux

Matériaux	Indice de réfraction	Epaisseur (mm)	Transmittivité
Verre	1,518	3-4	0,840
Lexan	1,586	3-4	0,840
Teflon	1,343	0,05	0,960
Tedlar	1,460	0,10	0,920
Mylar	1,640	0,10	0,870
Kynar	1,410	0,10	0,930
Marlex	1,50	0,10	0,920

Actuellement le verre le plus utilisé pour les capteurs solaires plan est le verre prismé. Sa particularité est de diminuer la partie du rayonnement réfléchi (1.5%). Contrairement au verre trompé classique, lorsque l'angle d'incidence est faible. Ce verre peut atteindre jusqu'à 96% de transmission.

b. L'absorbeur

L'absorbeur joue le rôle principal dans le capteur solaire plan. C'est généralement un corps noir qui absorbe tous les rayonnements dans le spectre du visible, de l'ultraviolet et une petite quantité dans l'infrarouge. Il convertie le rayonnement solaire capté en énergie calorifique.

Un absorbeur doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Un bon coefficient d'absorption ;
- Une bonne conductivité thermique ;
- Une bonne résistance à la corrosion.

Le choix du matériau et le mode de construction a une grande influence sur la qualité du capteur. Du fait de leurs conductivités élevées, les absorbeurs sont généralement en cuivre, en acier ou en aluminium.

Au tableau 03 sont données les caractéristiques de divers métaux pouvant être utilisés comme absorbeur [15].

Tableau 1.3- Caractéristiques des matériaux utilisés comme absorbeur

Matière	Conductibilité (W/m K)	Coefficient de dilatation
Aluminium	230	2,38
Cuivre	380	1,65
Zinc	112	2,9
Acier	52	1,15
Inox	52	1,15
Plastique	0,2-0,4	7-20

Pour diminuer les pertes par rayonnement, les absorbeurs sont souvent revêtus d'une couche sélective. Pour la plupart des capteurs, le revêtement sélectif est obtenu à partir de nickel et de chrome.

Les modes de revêtements les plus courants sont donnés au tableau 04 [15].

Tableau 1.4- Revêtements des surfaces d'absorbeur

Revêtement	Absorption	Emission
Peinture noire	0,92-0,97	0,95
Chrome noir sur cuivre (sélectif)	0,95	0,14
Chrome noir sur acier (sélectif)	0,91	0,07
Tinox (sélectif)	0,95	0,05

c. Isolation thermique

Le capteur doit être isolé thermiquement avec des matériaux appropriés. Ceux-ci doivent avoir un faible coefficient de conductivité thermique, afin de limiter les pertes thermiques par conduction à travers les faces postérieures et latérales du capteur plan. L'isolation doit généralement avoir une épaisseur de l'ordre de 5 à 10 cm. Les matières isolantes utilisées sont soit des laines minérales, soit des matières synthétiques (de laine de verre, mousses expansives de polyuréthane ou polystyrène). Elle doit résister aux hautes températures atteintes à l'intérieur du capteur. Pour choisir un matériau isolant, les paramètres suivants doivent être considérés :

- La masse volumique ;
- La température maximale d'utilisation en régime permanent ;
- La résistance au feu. Aux rongeurs et à la putréfaction ;
- La sensibilité à l'humidité et son coût.

Les propriétés des isolants les plus utilisés sont citées au tableau 05 [15].

Tableau 1.5- Quelques propriétés des isolants

Désignation	λ (W /m K)	ρ (kg/m ³)	Température maxi d'utilisation	Observation
Laine de verre	0.034 à 0.053	70	150	Sensible à l'humidité
Mousse de verre	0.057	123	150	Sensible à l'humidité
Bois	0.13 à 0.4	123	150	-
Liège expansé	0.045	100	-	-
Polystyrène	0.042	15	85	Moulé comprimé
polyuréthane	0.035	35	85	Moulé comprimé

Chapitre 02 :
**Synthèse bibliographique des travaux antérieurs : Etude
théorique et étude expérimentale**

2.1: Différentes études sur les capteurs solaires à air:**A. Premier cas d'étude****A.1: Capteur solaire simple: Description et fonctionnement du dispositif expérimental :**

Le prototype est schématisé sur la figure (2.1).

Il comprend :

- Un boîtier réalisé en tôle d'acier, de dimensions 1,92 x 0,94 m, ouvert sur le côté exposé au rayonnement solaire. Sur les côtés latéraux, on a réalisé des ouvertures pour l'entrée et la sortie de l'air.
- Un vitrage qui couvre le boîtier et assure le phénomène de l'effet de serre.
- Une plaque absorbante qui transmet la chaleur au fluide caloporteur.
- Un isolant au fond du boîtier, d'épaisseur 30 mm, en mousse expansive (polyuréthane), qui a pour rôle de limiter les pertes vers l'extérieur.
- Entre la plaque et l'isolant, l'air est guidé dans des couloirs réalisés en bois.
- Deux tuyères pour l'admission et l'échappement de l'air. La tuyère d'entrée est dotée de deux ventilateurs qui brassent de l'air à l'intérieur du capteur dans le cas de la convection forcée. [16]

A.2: Mesures effectuées :

La campagne de mesures a été effectuée au site de Bouzaréah (C.D.E.R) durant six jours pour les deux modes de circulation de l'air dans le capteur (forcée, naturelle).

Afin de pouvoir estimer l'efficacité du capteur, les chercheurs ont programmé le déroulement des tests durant une période de six (6) jours. Lors de chaque journée, les tests sont pris entre 8 h et 16 h avec un pas de quinze (15) minutes.

Afin de mener à bien l'expérimentation, neuf thermocouples ont été placés sur le système, répartis comme suit : (Figure 2. 2)

- ◆ 2 thermocouples à l'entrée du capteur
- ◆ 2 thermocouples à la sortie du capteur

- ◆ 2 thermocouples au niveau de la plaque absorbante
- ◆ 2 thermocouples au niveau du vitrage
- ◆ 1 thermocouple au niveau de la partie postérieure du capteur pour la mesure de la température ambiante.

Pour l'étude, ils ont supposé que la température d'entrée du fluide est égale à la température ambiante. La mesure de l'éclairement global est assurée par un pyranomètre de type (Kipp & Zonen). La vitesse de l'air est mesurée à l'aide d'un anémomètre de type (Eppley & Kipp).i

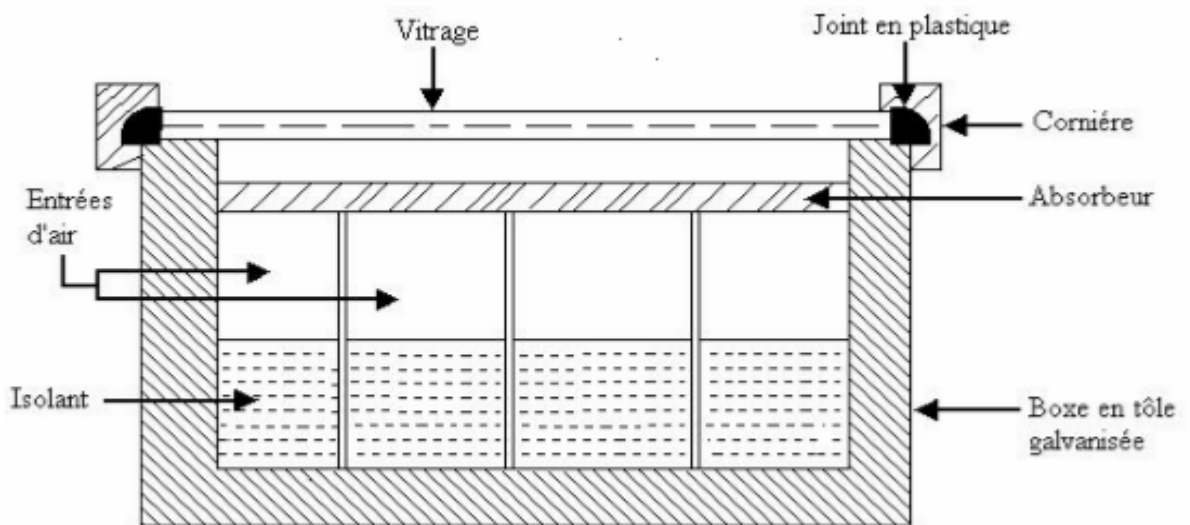


Figure (2.1): Coupe transversale du capteur à air [16]

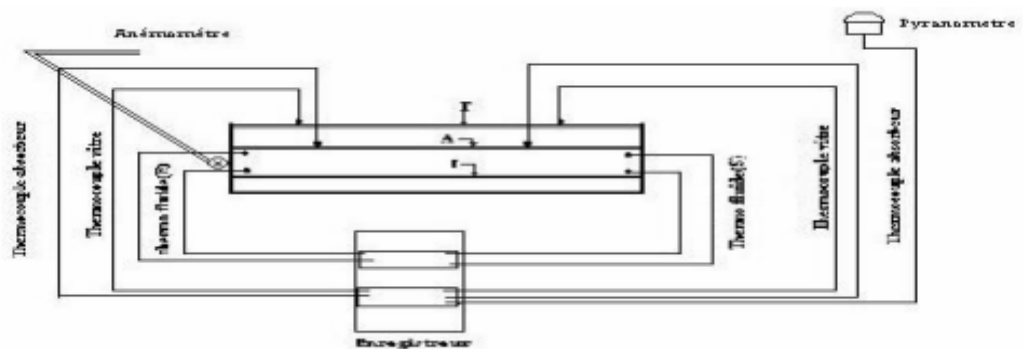


Figure 2.2: Disposition des thermocouples dans le capteur[16]

L'ensemble des thermocouples est relié à un enregistreur de marque Fluke à 20 voies



Figure (2.3) : Vue du banc d'essai [16]

A.3: Résultats et discussions

Les résultats sont présentés sous forme de graphes en convection naturelle et forcée.

- Convection naturelle (Journée du 19/10/1999)

L'évolution de l'éclairement pour la journée considérée présente une irrégularité dans sa progression journalière due aux passages nuageux qui ont interrompu le déroulement des expériences (Figure 2.4). Le profil des températures de sortie du fluide et température d'entrée est représenté sur la figure (2.5).

On remarque que l'écart de température ΔT entre l'entrée et la sortie est important aux environs de 13 h qui correspond à la valeur maximale de l'éclairement. De cela, on peut déduire que le flux solaire influe sur la température de sortie du fluide (Figure 2.5). La valeur du rendement est donnée par le rapport de la chaleur récupérée par l'air à la sortie du capteur et de l'énergie solaire reçue sur le capteur :

$$\eta = \frac{m C_p (T_{fs} - T_{fe})}{A_c G I} = \frac{Q_U}{Q_R}$$

Où $Q_u = m C_p (T_{fs} - T_{fe})$ avec $m = \rho V_s S_e$ et $Q_r = A_c G I$

A_c : Aire du capteur (m^2)

ρ : Masse volumique de l'air (kg/m^3)

T_{amb} : Température ambiante ($^{\circ}C$)

S_e : Section d'entrée du fluide (m^2)

T_{fe} : Température d'entrée du fluide ($^{\circ}C$)

V_s : Vitesse de l'air à la sortie du capteur (m/s)

T_{fs} : Température de sortie du fluide ($^{\circ}C$)

G_I : Eclairement global incliné (W/m^2)

M : Débit massique du fluide (kg/s)

Q_u : Energie récupérée par le fluide (W)

C_p : Chaleur spécifique du fluide (air) (kJ/m^3K)

Q_r : Energie reçue sur le capteur solaire (W)

On peut dire que le rendement a une variation logique. Seulement pour le point de 13h, on remarque la chute du rendement malgré l'importance de ΔT , ceci peut être expliqué par la faible vitesse de l'air en ce point.

- **Convection forcée (Journée du 23/10/1999)**

La courbe de l'éclairement présente une allure avec des fluctuations dues au passage nuageux (Figure 2.7).

La courbe de la température de sortie du fluide suit une évolution logique en fonction de l'évolution du flux solaire.

L'allure de la courbe du rendement instantané présente quelques perturbations dues aux conditions de l'expérimentation. (Figure 2.9).

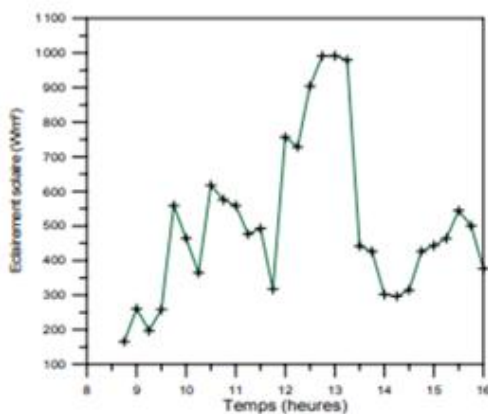


Figure 2.4 : Evolution de l'éclairement global journée du 19 /10/99 [16]

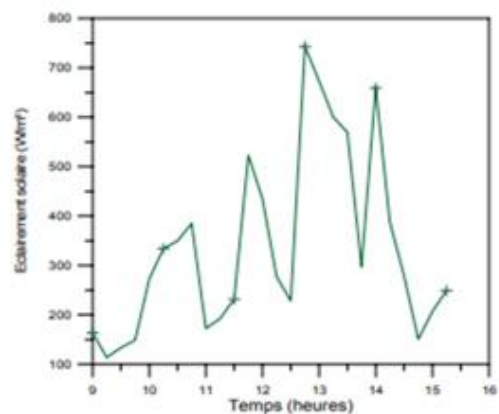


Figure 2.7: Evolution de l'éclairement global journée du 23/10/99 [16]

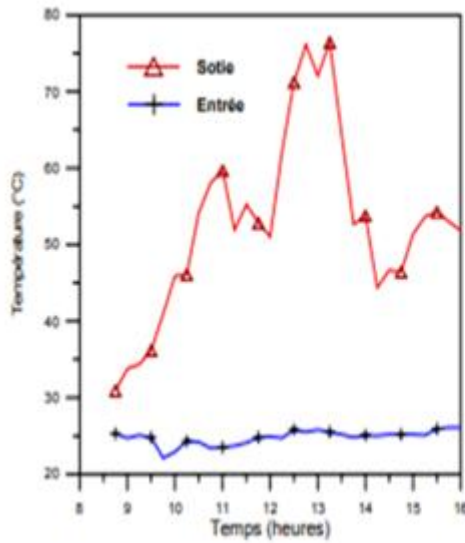


Figure 2.5 : Profil de températures (T_{fs} , T_{fe})
Journée du 19/10/99 [16]

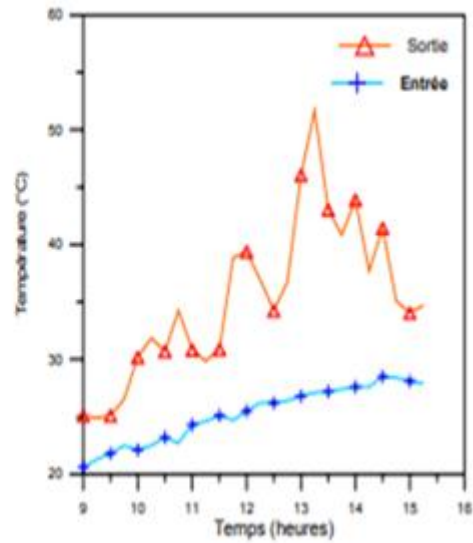


Figure 2.8 : Profil de températures (T_{fs} , T_{fe})
Journée du 23/10/99 [16]

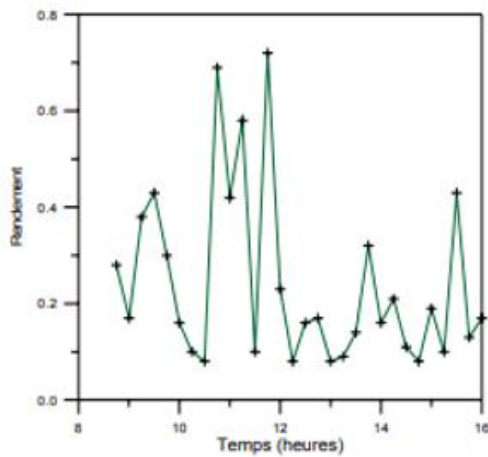


Figure 2.6 : Représentation du rendement
Instantané Journée du 19/10/99 [16]

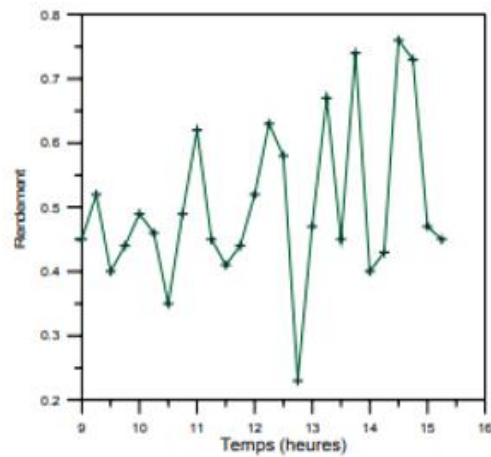


Figure 2.9 : Représentation du rendement
instantané Journée du 23/10/99 [16]

A.4: Conclusions

Les résultats présentés dans ce travail permettent de tirer les conclusions suivantes :

- La température de sortie du fluide varie en fonction du flux solaire.
- La conception de l'installation a permis d'obtenir des températures du fluide assez élevées à la sortie, favorables pour les exploiter dans le chauffage des habitations.

- Ces résultats expérimentaux vont aider à une éventuelle analyse théorique du système.

B. Deuxième cas d'étude

0123456789

B.1: Capteur solaire avec chicanes : Effet d'obstacle longitudinal dans un collecteur solaire à air intégré verticalement dans le bâtiment

Dans ce travail, on présente une étude numérique sur le transfert de chaleur dans un capteur solaire avec obstacles longitudinaux conçus pour être intégrés dans un bâtiment. Trois capteurs sont considérés avec des obstacles qui se chevauchent et dont l'angle formé varie avec les absorbeurs de 90, 70 et 56,5°. La simulation numérique 3D est basée sur la méthode des volumes finis. La norme k- ϵ modèle de turbulence est utilisée pour résoudre les équations de transport pour l'énergie d'écoulement turbulent et le taux de dissipation. Le facteur de performance a été utilisé pour étudier les performances thermo-hydrauliques et l'amélioration maximale en nombre de Nusselt à un angle de 90°.[17]

L'attaque est due à l'effet combiné de fortes turbulences et des mouvements latéraux du flux d'air. Les résultats de la validation expérimentale consistent en un test de l'efficacité énergétique pour étudier les modèles et la distribution de la température dans la pièce. Il ressort de bons profils dans le collecteur avec un angle de 90°, d'où une température élevée dans la chambre. [17]

B.2: Intégration du capteur solaire avec chicanes :

B.2.1: Description :

Le capteur solaire est de type plan à air à simple passe entre l'absorbeur et la plaque intermédiaire d'une surface égale à 1,73 m² (1,95m x 0,89m).

Il comporte un seul vitrage d'épaisseur 5 mm. Un circuit aérodynamique qui permet d'alimenter le capteur avec des débits d'air variables. Les essais en ensoleillement naturel ont été réalisés à Biskra, aux mois de Janvier, Février, Mars et Avril avec un capteur orienté face au sud et incliné à 34,8° (latitude de Biskra). Pour chaque essai, le débit d'air est fixé et la température de l'air à l'entrée du capteur est fonction de la température ambiante.

Dans cette étude, les auteurs ont considéré deux modèles qui s'avèrent réalistes et qui sont :

- Le modèle de Perrin de Bricambaut.

- Le modèle de Liu et Jordan.

Modèle de Perrin de Brichambaut : Le rayonnement direct sur un plan incliné est calculé par l'expression suivante :

$$I = I_n \cdot \cos(\theta) = \frac{I_h \cdot \cos(\theta)}{\sin(h)} \quad (1)$$

La composante directe du rayonnement solaire est donnée par les expressions empiriques suivantes [18] :

- Conditions normales par ciel clair :

$$I = 1230 \exp \left[\frac{-1}{3,8 \sin(h + 1,6)} \right] \quad (2)$$

- Pour un ciel très clair :

$$I = 1210 \exp \left[\frac{-1}{6 \sin(h + 1)} \right] \quad (3)$$

- Pour un ciel pollué : zone industrielle.

$$I = 1260 \exp \left[\frac{-1}{2,3 \sin(h + 3)} \right] \quad (4)$$

Les expressions empiriques permettant d'estimer la composante du rayonnement solaire diffus sont ci-dessous :

- Part du ciel - Part du ciel sur une surface horizontale :

Par ciel clair :

$$D_{c,h} = 125(\sin(h))^{0,4} \quad (5)$$

Par ciel très clair, on multiplie cette dernière expression par (3/4), si le ciel est couvert, on la multiplie par (4/3).

- Part du ciel sur une surface d'inclinaison quelconque:

$$D_c(i) = D_{c,h} \frac{1 + \cos(i)}{2} \quad (6)$$

- Part du sol

$$D(i) = alb \frac{1 - \cos(i)}{2} \cdot G \quad (7)$$

$$\text{où: } G_h = I_h + D_h = I_{dir} \sin(h) + D_h \quad (8)$$

Modèle de Liu et Jordan : L'éclairement global sur un plan incliné est estimé par l'expression [4].

$$s_\beta = s_h \cdot R_b \quad (9)$$

R_b est le facteur d'inclinaison du rayonnement direct :

$$R_b = \frac{\cos(\varnothing - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varnothing - \beta) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\varnothing) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varnothing) \cdot \sin(\delta)} \quad (10)$$

L'irradiation diffuse sur un plan incliné est :

$$d_{c\beta} = d_h \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) \quad (11)$$

D'autre part, l'irradiation réfléchie sur un plan incliné est estimée par l'expression

$$d_{i\beta} = g_h \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \cdot alb \quad (12)$$

Les deux composantes du rayonnement solaire global sur un plan horizontal, sont estimées comme suit :

Rayonnement direct :

$$s_h = A \cdot \sin(h) \cdot \exp \left[\frac{-1}{C \cdot \sin(h+2)} \right] \quad (13)$$

Rayonnement diffus :

$$d_h = B. (\sin (h))^{0.4} \quad (14)$$

Où A, B et C sont données d'après le tableau suivant :

Tableau 2.1 : Valeurs des coefficients A, B et C

	A	B	C
Ciel très pur	1300	87	6
Ciel moyen	1230	125	4
Ciel pollué	1200	187	5

B.2.2: Modélisation des coefficients d'échange thermique

a. Transfert thermique par convection

- Transfert convectif dû au vent : La relation de Hottel et Woertz est généralement admise [19] :

$$h_{vv} = 5.67 + 3.86 V_v \quad (15)$$

- Échanges convectifs entre l'absorbeur et la vitre : Le coefficient de pertes par conduction-convection naturelle, peut être calculé par l'expression suivante [20]

$$h_{vnat} = 1,42 \left(\frac{(T_n - T_a) \sin (\beta)}{L} \right)^{1/4} \quad (16)$$

- Échanges convectifs dans la veine d'air mobile : Les coefficients d'échange convectifs ($h_{c,Al-f}$ et $h_{c,p-f}$) respectivement entre le fluide et les parois solides, l'absorbeur et la plaque d'aluminium placée sur l'isolant, sont estimés par la relation :

$$h_{c,Al-f} = h_{c,p-f} = \frac{Nu \lambda_a}{D_h} \quad (17)$$

b. Transfert thermique par rayonnement

- Le coefficient d'échange radiatif entre la vitre et la voûte céleste s'écrit [21]:

$$h_{rc} = \frac{1}{2} \sigma \varepsilon_v (1 - \cos(\beta)) (T_v + T_c) (T_v^2 + T_c^2) \quad (18)$$

- Entre la vitre et l'absorbeur

$$h_{rnv} = \frac{\sigma (T_v + T_n) (T_v^2 + T_n^2)}{\frac{1}{\varepsilon_v} + \frac{1}{\varepsilon_{nmat}} - 1} \quad (19)$$

- Entre l'absorbeur et la plaque d'aluminium placée sur l'isolant

$$h_{rnAl} = \frac{\sigma (T_n + T_{Al}) (T_n^2 + T_{Al}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_{vAl}} + \frac{1}{\varepsilon_{Al}} - 1} \quad (20)$$

c. Coefficient de pertes thermiques vers l'avant du capteur

Le coefficient de pertes à l'avant U_t , dépendant du nombre et de l'épaisseur de la couverture transparente, s'écrit [22] :

$$U_t = \left[\frac{1}{N \left(\frac{C}{T_n} \left(\frac{T_n - T_a}{N+f} \right)^e \right) + \frac{1}{h_{c,v}}} \right] + \frac{\sigma (T_n + T_a) (T_n^2 + T_a^2)}{\frac{1}{\varepsilon_{n\beta} + 0,05.N(1 - \varepsilon_{n\beta})} + \frac{2.N+f-1}{\varepsilon_{n\beta}} - N} \quad (21)$$

d. Transfert thermique par conduction :

Le coefficient de transfert par conduction est donné par :

$$U_b = \frac{1}{\frac{e_{is}}{\lambda_{is}} + \frac{e_b}{\lambda_b} + \frac{1}{h_{vv}}}$$

2.2: Modèle de la température de sortie :

Le rendement du capteur peut être calculé à partir de l'expression du rendement [23] :

$$\eta = \frac{\rho \cdot C_p \cdot Q_v (T_s - T_a)}{G^* \cdot S_c} \quad (22)$$

$$\text{D'où} \quad : T_{fs} = \frac{\eta \cdot G^* \cdot S_c}{\rho \cdot C_p \cdot Q_v} + T_a \quad (23)$$

$$\rho = \rho_0 \frac{273}{273 + T_m} \cdot \frac{P(z)}{P_0} \quad (24)$$

$$\frac{P(z)}{P_0} = (0.89)^z \tag{25}$$

Le terme (P/P₀) représente la correction due à l'altitude.

2.2.1: Résultats et discussion

Les figures suivantes montrent une comparaison entre les résultats obtenus par les modèles théoriques et ceux obtenus expérimentalement concernant l'évolution journalière en fonction du temps solaire vrai du rayonnement solaire global.

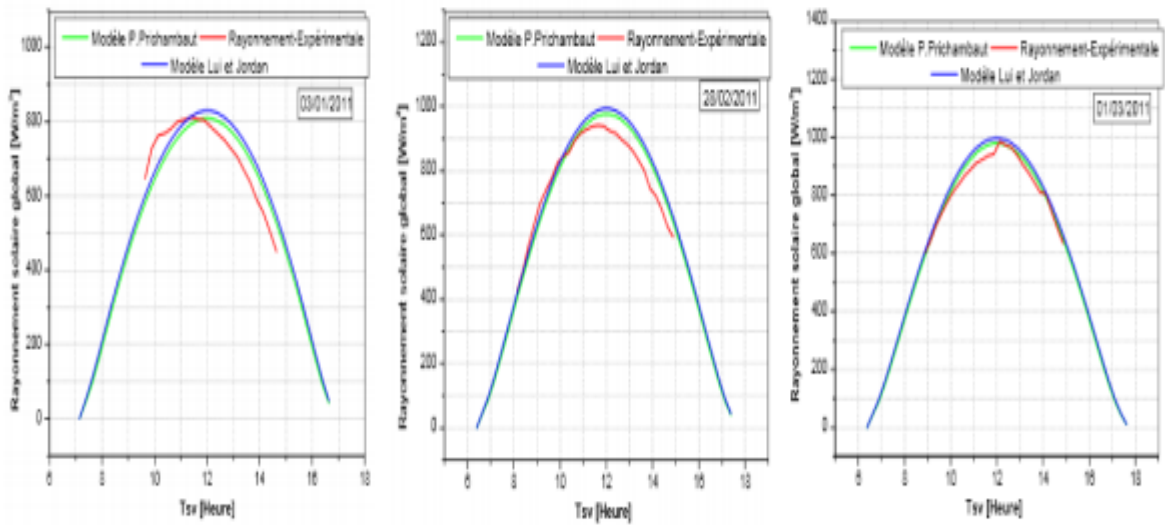


Figure (2.10). Comparaison entre le rayonnement solaire global théorique et le rayonnement solaire global expérimental

Les figures suivantes montrent une comparaison entre les résultats obtenus par les deux modèles concernant l'évolution journalière en fonction du temps solaire vrai et de la température de sortie du fluide caloporteur :

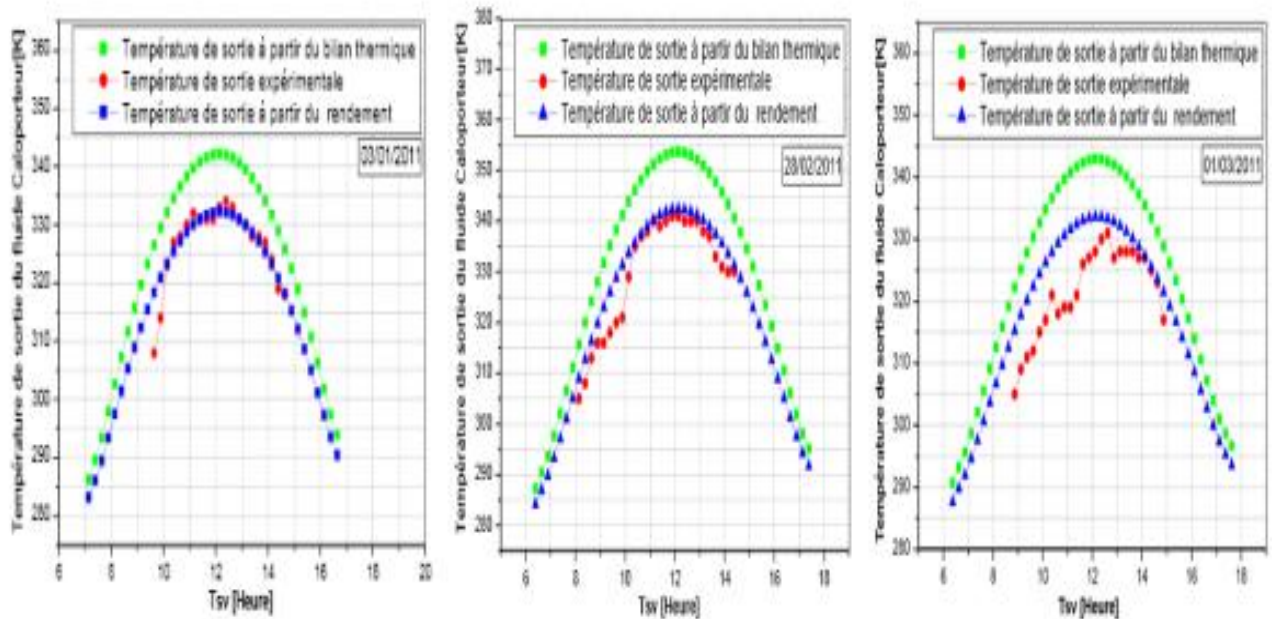


Figure (2.11). Température de sortie du fluide caloporteur (3 jours)

Le capteur solaire étudié est conçu et réalisé au laboratoire. Il s'agit d'un capteur plan à air à simple passe d'une surface de captation égale à $1,74 \text{ m}^2$, d'une longueur

$L_c = 1,95 \text{ m}$ et d'une largeur $l_c = 0,89 \text{ m}$, (Figure 2.12).

Nous résumons les principaux composants du capteur comme suit :

- Une seule couverture transparente de verre d'épaisseur 5 mm.
- Une plaque absorbante mince en acier galvanisé peinte en noir mat avec une épaisseur de 0,4 mm.
- La hauteur entre la couverture transparente et la plaque absorbante est égale à 25 mm.
- La veine d'air dynamique d'une hauteur de 25 mm est comprise entre la plaque absorbante (corps noir) et une plaque inférieure en acier galvanisé placée sur l'isolant.
- L'isolation arrière est assurée grâce à une feuille de polystyrène de 40 mm d'épaisseur et puis elle est assurée également par le boîtier en bois de 5 mm d'épaisseur.

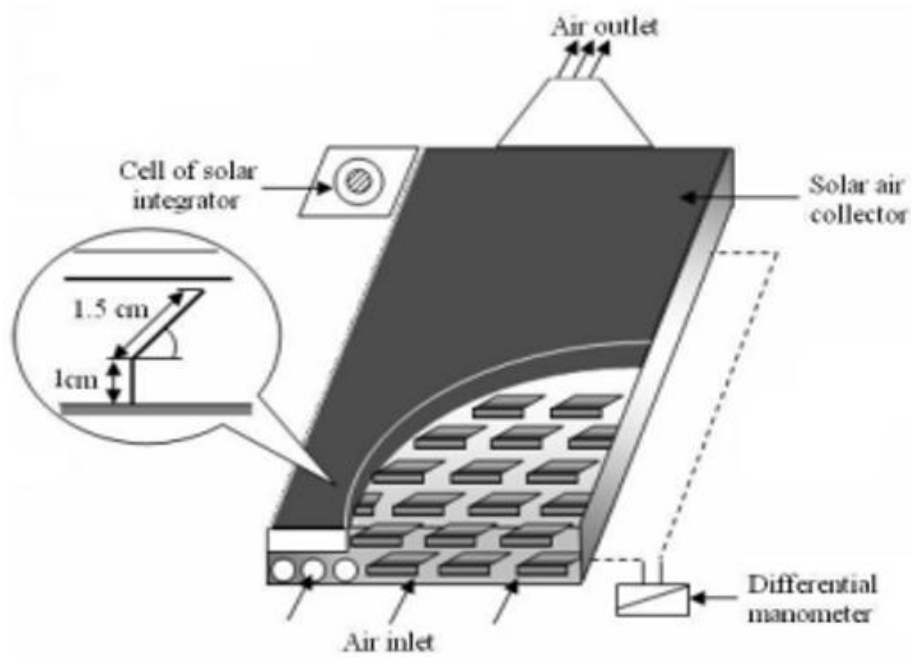


Figure (2.12) : Schéma du dispositif expérimental. [28]

En outre, la veine d'air dynamique est équipée de rangées d'obstacles métalliques minces soudées perpendiculairement à l'écoulement sur la plaque inférieure placée au-dessus de l'isolant (Figure 2.12). Ces obstacles ont deux formes différentes (model-1 et model-2) où la différence entre les deux réside dans la partie inclinée d'angle α respectivement égale à 60° et 120° (Figure 2.13).

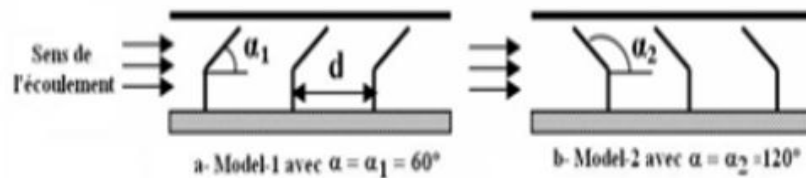


Figure (2.13): Schéma descriptif des chicanes. [28]

Ainsi, ces obstacles ont été mis en place et espacés d'une distance (d) suivant deux configurations, A et B, respectivement à $d = 10$ et $d = 5$ cm (fig.2.13). Les deux configurations, A et B, se différencient donc par le nombre de rangées (de chicanes), respectivement égale à 152 et 256 chicanes.

2.2.2: 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 bilan énergétique global suivant :

Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air.

$$\Phi_{sa} = \Phi_u + \Phi_p + \Phi_{st} \tag{26}$$

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

$$\Phi_{sa} = \Phi_u + \Phi_p \tag{27}$$

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

$$Q_u = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{fs} - T_{fe}) \tag{28}$$

En introduisant le coefficient de pertes totales vers la face avant du collecteur U_L (pertes entre l'absorbeur et l'air ambiant), le gain d'énergie utile fourni par le collecteur peut être exprimé par

$$Q_u = S_{abs} \cdot F_R \cdot (I_G (\tau_v \alpha_{abs}) - U_L (T_{fe} - T_a)) \tag{29}$$

Où, F_R est le facteur de conductance de l'absorbeur donné par :

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p}{S_{abs} \cdot U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{F' \cdot U_L \cdot S_{abs}}{\dot{m} \cdot C_p} \right) \right] \tag{30}$$

Le coefficient d'efficacité local de transfert air-absorbeur F' et le coefficient de pertes totales U_L sont obtenus à partir des bilans énergétiques de l'absorbeur, du fluide caloporteur et de la plaque absorbante :

$$F' = \frac{h_{abs-f} (U_b + S_{sup} \cdot h_{rabs-pl} + h_{rabs-pl} + S_{sup} \cdot h_{abs-f})}{(U_t + h_{rabs-pl} + h_{abs-f}) \cdot (U_b + S_{sup} \cdot h_{abs-f} + h_{rabs-pl}) - h_{rabs-pl}^2} \quad (31)$$

$$U_L = \frac{(U_t + U_b) (S_{sup} \cdot h_{abs-f}^2 + h_{abs-f} \cdot h_{rabs-pl} + S_{sup} \cdot h_{abs-f} \cdot h_{rabs-pl}) + U_b U_t (S_{sup} + 1) h_{abs-f}}{h_{abs-f} h_{rabs-pl} + S_{sup} \cdot h_{abs-f} U_t + S_{sup} \cdot h_{abs-f} h_{rabs-pl} + S_{sup} h_{abs-f}^2} \quad (32)$$

Où le facteur S_{sup} représente la surface d'échange thermique supplémentaire des rugosités artificielles, qui sont supposées à la température de la plaque arrière, tel que:

$$S_{sup} = 1 + \frac{S_{ch}}{S_{abs}} \quad (33)$$

Dont S_{ch} représente la surface totale des chicanes, calculée comme suit :

$$S_{ch} = n_l \cdot (a_{ch} \cdot b_{ch}) \quad (34)$$

Pour une ou plusieurs couvertures, l'équation donnée ci-dessous est employée pour le calcul de U_t [24].

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_{abs}} \left[\frac{(T_{abs} - T_a)^c}{(N+f)} \right]} + \frac{1}{h_w} \right]^{-1} + \left[\frac{\sigma \cdot (T_{abs} + T_a) \cdot (T_{abs}^2 + T_a^2)}{(\epsilon_{abs} + 0,00591 \cdot N h_w)^{-1} + \frac{2N+f-1+0,133\epsilon_{abs}-N}{\epsilon_v}} \right] \quad (35)$$

Ou $f = (1+0.089 h_w - 0.1166 h_w \epsilon_{abc}) \cdot (1+0.07866 N)$

$$C = 520 \cdot (1 - 0.000051 \beta^2)$$

$$E = 0.430 \left(\frac{1-100}{T_{abs}} \right)$$

Pour $0 < \beta < 90^\circ$, le coefficient des pertes à l'arrière du collecteur est donné par :

$$U_b = \left(\frac{1}{\frac{e_{is}}{\lambda_{is}} + \frac{e_b}{\lambda_b} + \frac{1}{h_{vv}}} \right) \quad (36)$$

Le rendement du capteur solaire, défini comme étant le rapport entre la quantité d'énergie utile récupérée et le rayonnement global incident, est donné par :

$$\eta = \frac{Q_u}{I_G \cdot S_{abs}} \quad (37)$$

Qui s'écrit :

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot C_p (T_{fs} - T_{fe})}{I_G \cdot S_{abs}} \quad (38)$$

A partir des équations (12) et (4), on obtient :

$$\eta = F_R (\tau_v \cdot \alpha_{abs}) - F_{RUL} \frac{(T_{fe} - T_a)}{I_G} \quad (39)$$

Les termes $F_R (\tau_v \cdot \alpha_{abs})$ et F_{RUL} sont deux quantités très significatives pour l'utilisation du modèle pratique simple du collecteur solaire. Elles représentent respectivement le taux d'énergie absorbée et le taux d'énergie perdue.

Le coefficient de transfert thermique par rayonnement entre la plaque absorbante et la plaque inférieure placée sur l'isolant arrière est donné par [25] :

$$h_r = \frac{\sigma (T_{abs} - T_{pl}) (T_{abs}^2 + T_{pl}^2)}{\left(\frac{1}{\epsilon_{abs}} + \frac{1}{\epsilon_{pl}} - 1 \right)} \quad (40)$$

En ce qui concerne la convection forcée, le coefficient moyen de transfert thermique est calculé comme suit :

$$h_{abs-f} = h_{pl-f} = \frac{Nu \lambda_f}{D_h} \quad (41)$$

Où le nombre de Reynolds est donné par :

$$Re = \frac{V_f \cdot D_h}{\nu_f} \quad (42)$$

La vitesse moyenne est :

$$V_f = \frac{\dot{m}}{\rho_f S_f} \quad (43)$$

La section du canal d'écoulement garni de chicanes est calculée comme suit :

$$S_f = I_c \cdot e - n_2 \cdot (a_{ch} \cdot b_{ch}) \tag{44}$$

Le diamètre hydraulique est donnée par:

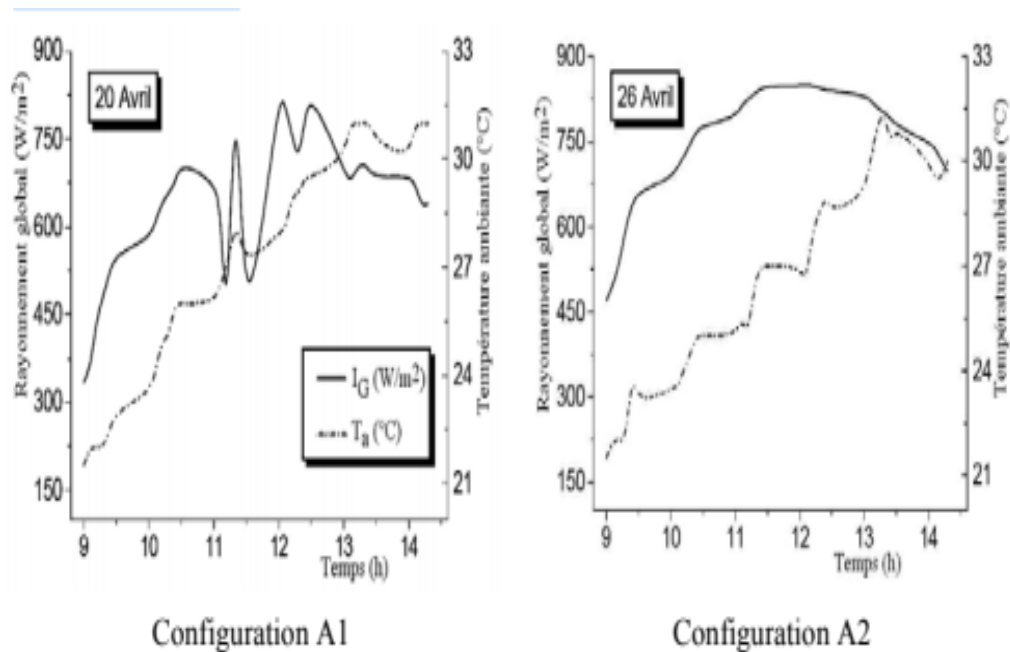
$$D_h = \frac{4 \cdot [(I_c \cdot e) - n_1 \cdot (a_{ch} \cdot b_{ch})]}{2 \cdot (I_c + e) + (n_2 - I_c) \cdot a_{ch}} \tag{45}$$

2.2.3: Résultats et discussions

Dans une série d’expériences entreprises au laboratoire de génie mécanique à l’université de Biskra, des résultats expérimentaux ont été obtenus à partir des tests réalisés sur les quatre configurations proposées.

La figure (2.14) illustre l’évolution de l’ensoleillement global I_G et de la température ambiante T_a durant les quatre journées, des mesures prises les 20 Avril, 26 Avril, 13 Mars et 04 Juin 2008. Pour ces quatre journées, ils ont testé les 4 configurations proposées (configuration A1, A2, B1 et B2) avec un débit fixe $G = 149,74 \text{ kg/h}$.

Les résultats obtenus montrés sur la figure 3 sont données pour une inclinaison du capteur $\beta = 34.8^\circ$.



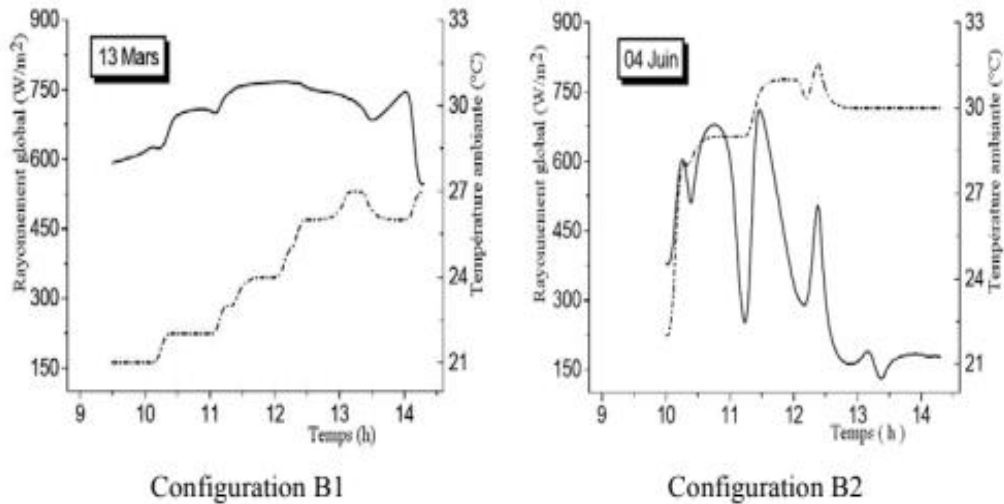
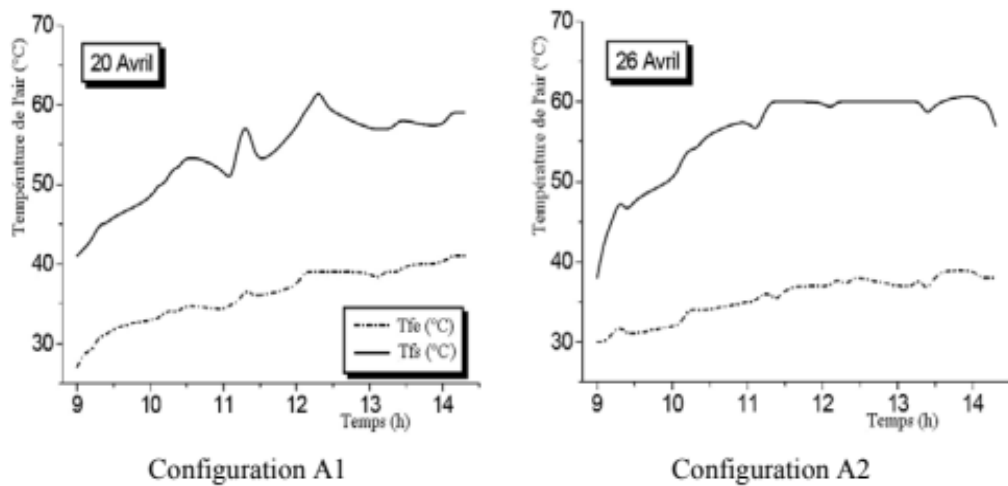


Figure (2.14): Evolution du rayonnement global et de la température ambiante en fonction du temps [28]

Sur la figure (2.15), sont données les courbes relatives à l'évolution de la température de l'air à l'entrée T_{fe} et à la sortie du capteur T_{fs} pour les quatre configurations étudiées durant les quatre journées des tests.

Nous remarquons que l'évolution de ces deux paramètres est très sensible à la variation de l'ensoleillement et que par conséquent l'inertie thermique du collecteur ne compense pas les chutes dues aux fluctuations du rayonnement solaire incident.



L'écart entre la température à l'entrée et celle à la sortie du collecteur traduit pour les configurations étudiées l'énergie extraite en fonction de l'intensité du rayonnement global incident. Cet écart est conservé tant que le rayonnement incident existe.

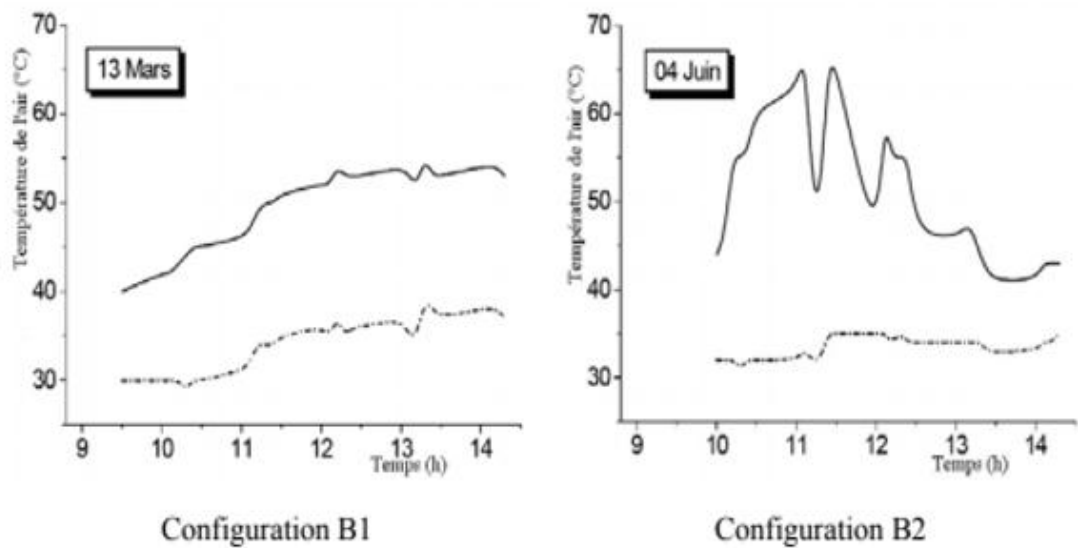


Figure (2.15): Evolution de la température de l'air à l'entrée et à la sortie du capteur en fonction du temps [28]

2.2.4: Conclusion:

Dans cette étude, un capteur solaire plan à air a été réalisé et testé au laboratoire dans la région de Biskra. Quatre configurations ont été étudiées avec deux formes d'obstacles (modèle-1 et modèle-2) et deux arrangements de ces obstacles (A et B), placés dans la veine d'air d'écoulement de l'air.

Ce travail expérimental apporte une contribution à l'étude de l'optimisation des capteurs solaires plans à air qui constituent le deuxième volet des convertisseurs de l'énergie solaire à côté des capteurs solaires à eau.

L'adjonction de ces obstacles dans le parcours offert au fluide caloporteur permet l'augmentation de l'échange thermique avec l'absorbeur. Il a été établi que la géométrie de passage dans la section droite perpendiculaire à l'écoulement joue un rôle important.

Ainsi, la comparaison entre les performances des quatre configurations étudiées a abouti au choix de la configuration B1 (chicanes modèle-1) comme étant celle qui a permis d'obtenir le meilleur rendement.

2.3: Intégration de capteur solaire :**2.3.1: Objectifs de l'intégration des capteurs solaires :**

L'utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments fait appel à un nouveau concept d'énergie qui est utilisé dans la république Tchèque et qui se base sur des façades transparentes du mur isolé.

Cette technique de façade ou cette nouveauté est acceptée par le comité des immeubles de briques afin de remplacer la technique classique des collectionneurs localisés du toit.

La surface (façade) doit augmenter de 30% afin d'avoir une efficacité de 60% comparée au système conventionnel (collectionneurs localisés du toit) avec une pente de 45°.

L'application de collectionneurs solaires façade affecte le confort dans les bâtiments dont les températures en salle augmentent de 1K par rapport au système classique. [26]

2.3.2: Introduction :

Beaucoup d'appartements en République Tchèque [26] de l'ordre de 2,3 millions sont concentrés dans les lotissements en immeubles de briques. Ces lotissements sont construits entre les années 1950 et les années 1970 et qui doivent être rénovés selon la technique des collectionneurs solaires façade.

Cette rénovation énergétique prend en compte la réduction de la perte de chaleur (isolation thermique, fenêtres, ventilation mécanique avec récupération de chaleur), du système de contrôle et de mesure, du dispositif de réduction de la consommation d'eau chaude.

La technique des collectionneurs solaires façade est utilisé pour résoudre pas mal de problèmes dont l'un des problèmes est l'emplacement des champs de capteurs sur les toits.

Le concept de collecteur de façade pourrait aider à surmonter ces difficultés techniques et les barrières esthétiques et d'apporter d'autres avantages.

Actuellement, le concept est testé dans les premières installations pilotes en République tchèque. La simulation informatique de cette nouvelle technique est nécessaire pour révéler les problèmes et les risques potentiels et suggérer des solutions efficaces pour des applications individuelles sur site.

2.3.3: Conception du collecteur de façade :

Le capteur solaire de façade est un capteur standard à liquide et à plaques sélectives, intégré dans l'enveloppe du bâtiment. La figure 2.16 présente le type de capteur de façade étudié.

Le capteur se compose d'un absorbeur standard sélectif du point de vue spectral ($\alpha/\varepsilon = 0,9 / 0,09 = 100$), d'un intervalle d'air et d'un simple vitrage de sécurité.

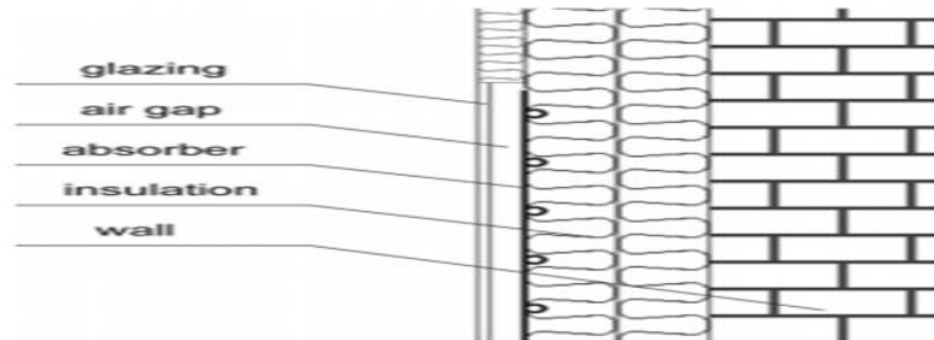


Figure (2. 16) : Façade de capteur solaire [26]

a. Collecteur de façade

Les collecteurs de façades sont généralement disponibles dans des cadres en bois comme panneaux d'installation à grande échelle.

Le panneau collecteur est directement monté sur l'enveloppe isolante de la façade du bâtiment, il n'y a pas de séparation thermique entre l'absorbeur et l'enveloppe d'isolation.

Les capteurs solaires sont couplés thermiquement au mur du bâtiment. Cette intégration apporte plusieurs avantages essentiels en comparaison avec les capteurs solaires montés séparément sur l'enveloppe du bâtiment (devant l'enveloppe ou sur le toit).

En plus de la fonction de base des capteurs solaires, les capteurs de façade servent aussi de protection contre les effets atmosphériques et servent aussi à améliorer les propriétés thermiques du bâtiment par rapport aux gains solaires passifs. En outre, l'intégration des collecteurs dans les façades des bâtiments est une solution esthétiquement plus charmante par rapport celle des collecteurs placés sur des toits, qui créent un problème d'esthétique.

b. Performance des collecteurs :

Les systèmes solaires conventionnels sont conçus pour maximiser les gains solaires annuels.

Le principe de base est comment atteindre la bonne orientation et la bonne pente de champ collecteur.

Dans les conditions d'Europe centrale, la radiation annuelle maximale est reçue avec les surfaces orientées vers le sud et avec une pente entre 35° et 45°.

Dans le cas des collectionneurs de façade avec une pente de 90°, la réduction de la radiation annuelle d'environ 30%. La Figure 2.17 montre le profil annuel de la radiation solaire quotidienne pour un toit (45°) et un collecteur façade (90°) basé sur la référence de test année pour la ville de Prague (République Tchèque).

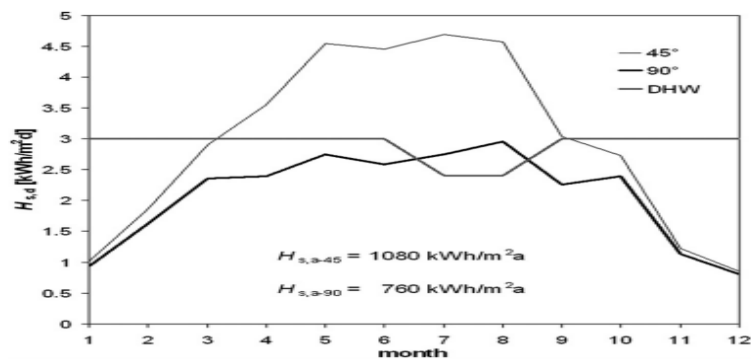


Figure 2.17: Profil annuel des irradiations globales solaires quotidiennes sur les surfaces en pente et demande en eau chaude sanitaire. [26]

La comparaison montre une grande différence entre le pic de l'été et la saison froide valeurs pour le collecteur de toit et un profil relativement uniforme pour le collecteur de façade qui correspond étroitement au profil de demande d'eau chaude (approximativement constant avec une diminution en été saison).

Cette fonctionnalité permet la conception de panneaux solaires systèmes avec une fraction solaire élevée (supérieure à 50%) sans périodes extrêmement prolongées de stagnation des capteurs en été tel qu'il apparaît dans les systèmes montés sur le toit avec la même fraction solaire.

2.3.4: Conclusion :

Les capteurs solaires thermiques façade représentent un nouvel élément dans la conception des bâtiments et aussi dans les vieux bâtiments de rénovation. La performance du système solaire de façade et ses interactions avec le bâtiment ont été étudiés en utilisant un travail de simulation par ordinateur. Le système et le bâtiment étaient traités ensemble ; l'absorbeur collecteur était thermiquement couplé à l'enveloppe du bâtiment. La simulation a montré que les capteurs solaires de façade devrait avoir une superficie accrue d'environ 30% pour atteindre la fraction solaire habituelle de 60% comparée avec des capteurs solaires de toit conventionnels avec une

penne de 45. L'augmentation supplémentaire de la fraction solaire au-dessus de 70% conduit à une surface requise comparable à des collecteurs de toit, mais avec moins de périodes de stagnation et des quantités inférieures d'énergie qui ne peuvent pas être utilisées par rapport aux capteurs de toit. Le comportement du bâtiment n'est pas fortement affecté par les capteurs de façade lorsque suffisamment de couches isolantes sont présentes. Les collecteurs de façade dans les configurations de recherche (panneau, mur de briques) améliorent la protection thermique du bâtiment en hiver, mais pour des niveaux d'isolation thermique plus élevés, les gains de chaleur sont négligeables. Les collecteurs solaires affectent le confort intérieur dans les bâtiments dans une fourchette raisonnable. Les températures intérieures n'augmentent pas plus de 1 K dans toutes les configurations (type de mur, façade collecteur), le confort intègre le paramètre PPD à des valeurs encore meilleures pour un rapport de surface collecteur/façade. Ceci résulte du fait que les capteurs de façade pourraient aider partiellement au refroidissement de la façade. La chaleur de l'absorbeur est efficace doit être éliminé pour éviter les pics de la journée. La stabilité des conditions climatiques a été prouvée pour un collecteur de façade.

PARTIE II:
ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre 03:

Travail expérimental

3.1: Réalisation d'un capteur à air et isolation thermique

Le boîtier utilisé pour réaliser les capteurs est fait en bois, les capteurs sont de deux types : capteur simple couvert de vitre et capteur à chicanes couvert de vitre. La laine de verre sert de matière isolante thermique.

On isole la surface inférieure du capteur à l'aide de la laine de verre, on la découpant en surfaces conformes à celle de la partie inférieure, de 6 cm d'épaisseur, comme le montre la figure (3.1)

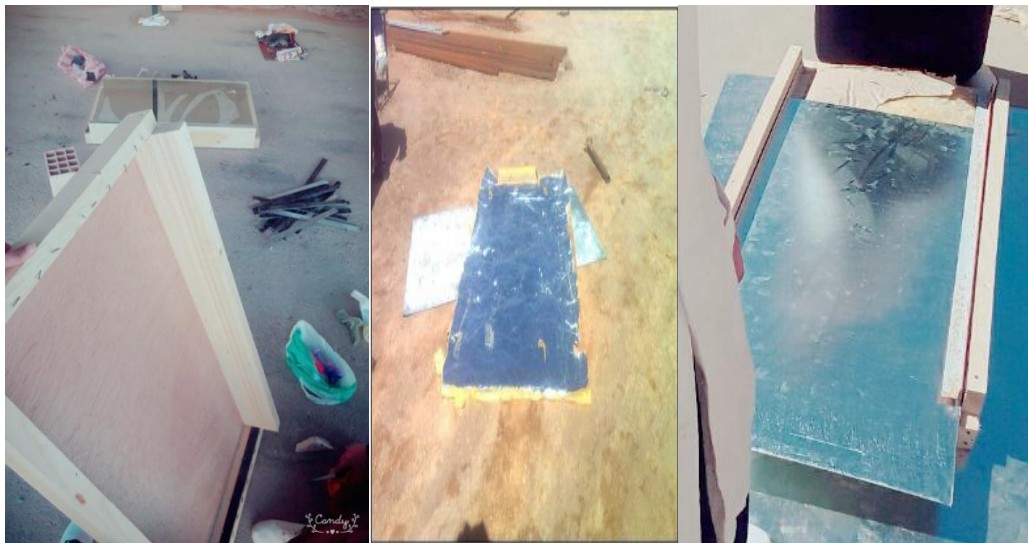


Figure (3.1) : Laine de verre et plaque absorbante

La plaque absorbante, peinte en noir mat, est en acier galvanisé, comme indiqué dans les figures (3.2).

Le montage des absorbeurs et des couvertures est effectué d'une façon standard, tel que le montage des absorbeurs au dessus de la couche de la laine de verre (surface absorbante), le montage des couvertures s'effectue dans la position supérieure du capteur, fixée avec de la silicone.



Figure 3.2: Photos représentant la pigmentation de l'absorbeur en noir mat et l'emplacement de la vitre

3.2: Préparation de la chambre :

Afin de compléter et mener à bien notre expérience, nous avons apporté le matériel nécessaire à la fabrication de la chambre en bois, comme indiqué sur la photo (3.7). Les murs qui ne présentent aucun défaut, sont isolés thermiquement par la laine de verre.

Nous avons installé des thermocouples comme indiqué sur la photo (3.12), puis une sonde solaire à air afin d'effectuer des mesures expérimentales avec prise en compte des conditions météorologiques.

3.3 Installation de ventilateur

Le ventilateur a pour but d'aspirer l'air de la chambre pour avoir une distribution de température à l'intérieur.



Figure 3.3: photo représentant le ventilateur

3.4: Description du protocole expérimental

Différents éléments du protocole expérimental

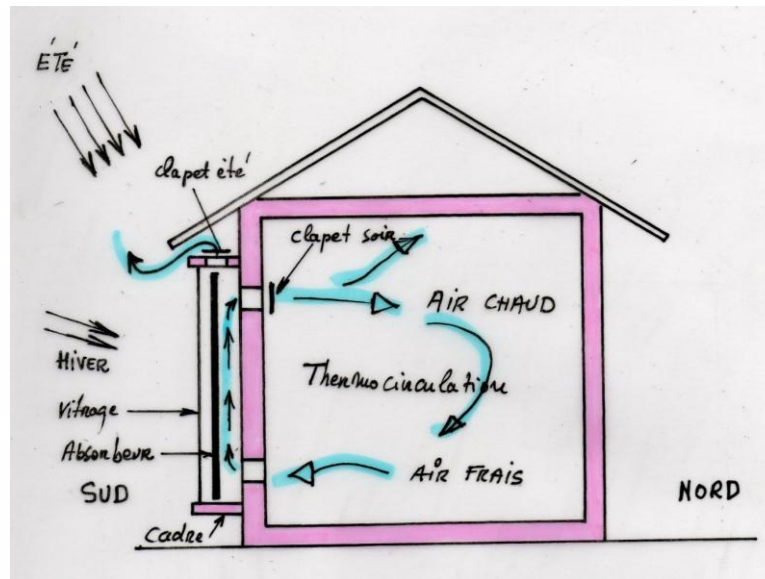


Figure 3.4: protocole expérimental dans la chambre

Les capteurs étudiés sont portés sur un support en bois de 1 m x 0,5 m.

3.5: Capteur solaire simple

Le capteur simple contient une couverture transparente en verre d'épaisseur 4 mm, une tôle galvanisée peinte en noir mat faisant fonction d'absorbeur et d'un isolant thermique (laine de verre) d'épaisseur 6 cm.

3.6: Capteur solaire avec chicanes

Ce type de capteur est un capteur simple où on a intégré des obstacles au sein de l'écoulement d'air. Ces obstacles ont le rôle de créer le mode tourbillonnaire et éloigner le chemin traversé par l'air, ce qui provoque l'amélioration de l'échange convectif dans le capteur.



Figure (3.5) : Capteur solaire à air

3.7: Propriétés des capteurs solaires

Les capteurs solaires installés ont des propriétés confondues :

- L'absorbeur est en acier galvanisé peint en noir mat.
- L'isolant est en laine de verre avec une épaisseur de 6 cm.
- La couverture étant en verre $e_{\text{vitre}} = 4 \text{ mm}$.
- Les obstacles (les chicanes) sont également en acier galvanisé.

Pour le capteur avec chicanes, les chicanes sont en acier galvanisé de 3x50 cm.

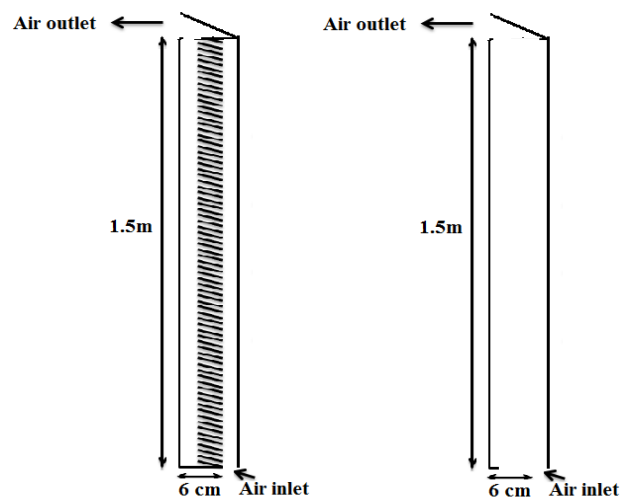


Figure 3.6: Schémas des capteurs

3.8: Chambre à chauffer

La chambre étudiée est de dimensions (1.5x1.5x2.0) m, les murs comportent deux slices en bois séparées par de la laine de verre et toutes installées sur un support d'aluminium comme le montre la figure ci dessous.



Figuer 3.7 : Chambre d'étude

3.9: Intégration des capteurs verticaux:

Le capteur étudié devient intégré à la chambre



Figure 3.8: Capteurs intégrés à la chambre

3.10: Mesures expérimentales

3.10.1: Matériel

Pour la réalisation de ce travail on utilise le matériel suivant :

Les thermocouples : Il existe différents types de thermocouples, correspondant chacun à une gamme de température ou à une plus ou moins grande précision. Leurs propriétés peuvent également dépendre du type d'isolation (gaine) utilisé pour les fils métalliques (type J, type K et type T).

Solari-mètre : Il est utilisé pour la mesure de rayonnement solaire.

L'acquisition : Elle est utilisée pour l'enregistrement des données de température.

Les panneaux PV et ventilateur : les panneaux PV pour alimenter le ventilateur qui va aspirer l'air de la chambre.

L'anémomètre: il est utilisé pour la mesure de la vitesse du vent.



Figure 3.9: Solari mètre et acquisition.



Figure 3.10: Anémomètre + Panneaux PV + ventilateur

3.10.2: Position des thermocouples

a. Capteur solaire simple : 6 thermocouples sont installés sur le capteur : deux sur la plaque absorbante, deux sur la vitre, un à l'entrée et un à la sortie.

b. Capteur solaire avec chicanes : 6 thermocouples sont installés : deux sur les chicanes, un proche de l'entrée et l'autre proche de la sortie, deux sur la vitre, à l'entrée et à la sortie.



Figure (3.11): Position des thermocouples

c. Dans la chambre, pour avoir la distribution de température, 6 thermocouples ont été placés sur trois niveaux: bas, milieu et en haut. La figure (3.12), illustre le schéma des positions.

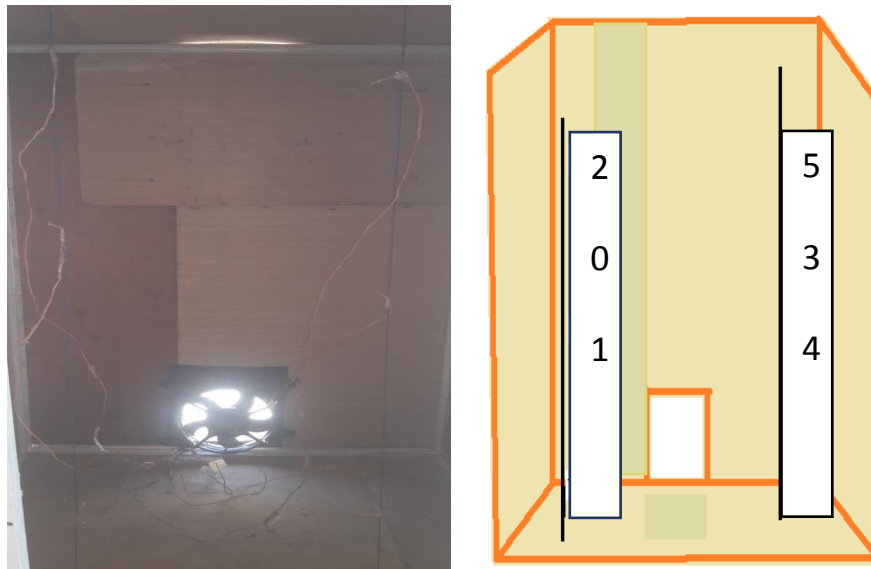


Figure (3.12): chambre et distribution des thermocouples.

3.11: Déroulement des expériences

A: Résultats expérimentaux

Les expériences ont été réalisées dans les conditions climatiques et la situation géographique de la ville d'Ouargla. Elles ont été effectuées durant 3 jours (14 et 15 avril 2019) pour les deux capteurs non intégrés, le 29 Avril et 4 Mai 2019 pour le capteur simple

intégré à la chambre, le 5 Mai 2019 pour le capteur avec chicanes intégré à la chambre. Le flux massique de l'air varie en fonction du vent (Tableau 3.1),

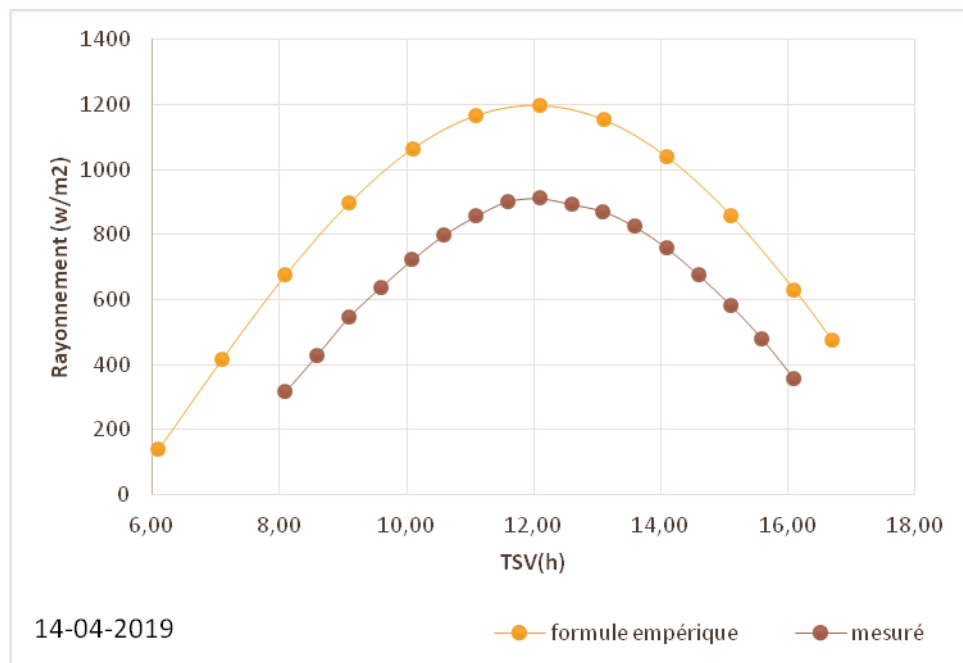
Les résultats expérimentaux présentés dans les graphes décrivent les profils de température et de rayonnement en fonction du temps solaire vrai.

Tous les résultats ci-dessous étaient sauvegardés, les valeurs étaient enregistrées toutes les 10 minutes, par un système informatique en utilisant la base de l'acquisition (NI c DAQ-9174) relié à l'instrument d'enregistrement (figure 3.9).

La figure (3.13) montre le profil de rayonnement solaire, le rayonnement est calculé par la corrélation de Capderou [27], et le temps solaire vrai TVS est calculé par l'équation suivante [13] :

$$TVS = 12 + \omega/15$$

La figure (3.13) présente le rayonnement solaire enregistré pour les deux expériences et pour les deux capteurs non intégrés.



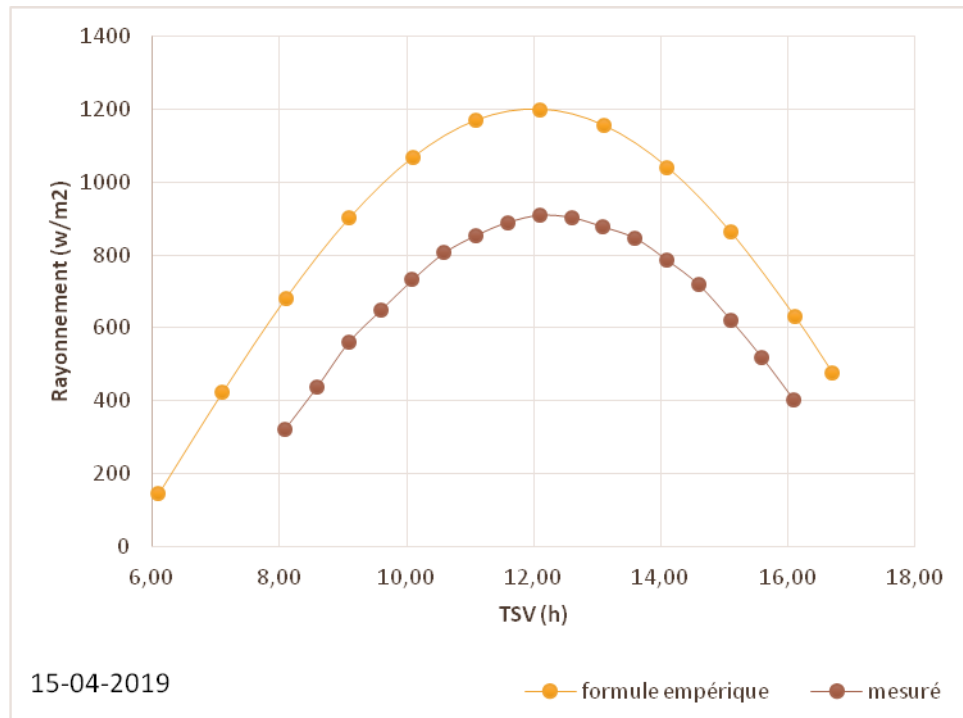


Figure (3.13) : Rayonnement solaire

Le tableau (3.1) illustre les variations de vitesse de vent V au cours du temps. Cette vitesse était un peu faible, variant entre 0,6 et 1,4 m/s.

Tableau 3.1: Vitesse d'entrée de l'air et sa variation (m/s)

TSV	14-Apr	15-Apr
8.09	0.7	0.42
8.59	1.2	0.57
9.09	1	0.47
9.59	1.3	0.42
10.09	0.6	0.41
10.59	0.38	0.4
11.09	0.35	0.53
11.59	0.44	0.77
12.09	0.57	0.59
12.59	0.65	0.39
13.09	0.38	0.87
13.59	0.64	0.82

14.09	0.47	0.67
14.59	0.26	0.47
15.09	0.35	0.42
15.59	0.29	0.29
16.09	0.34	0.38

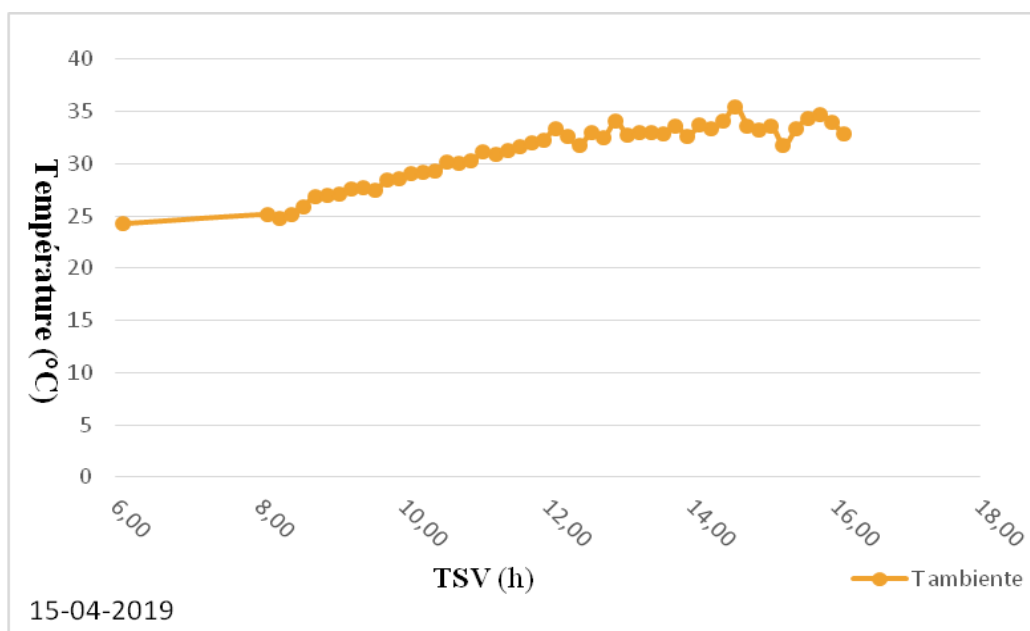
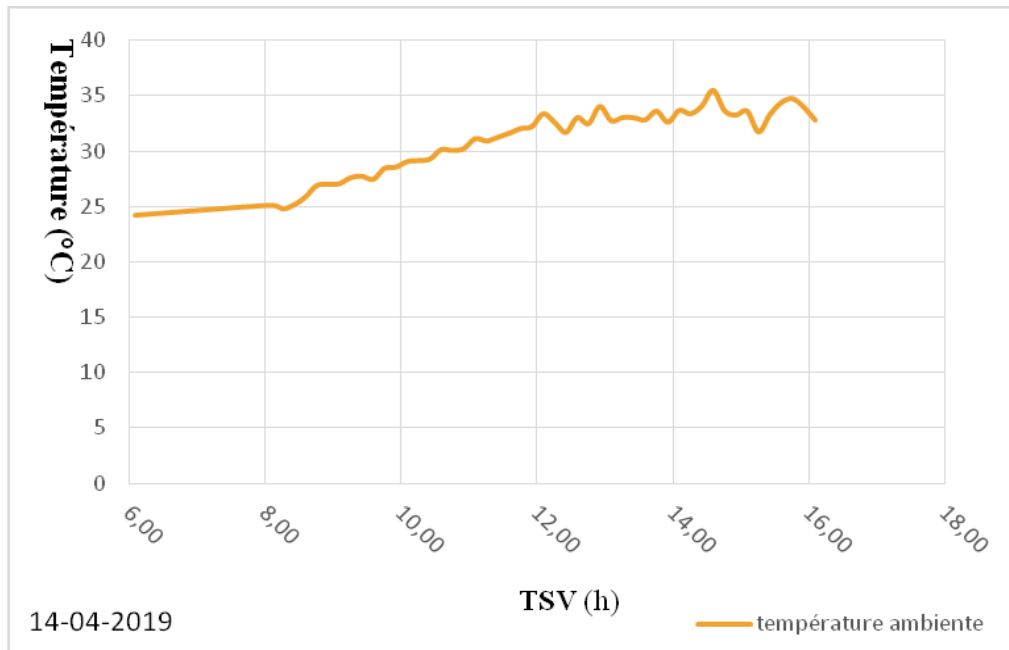
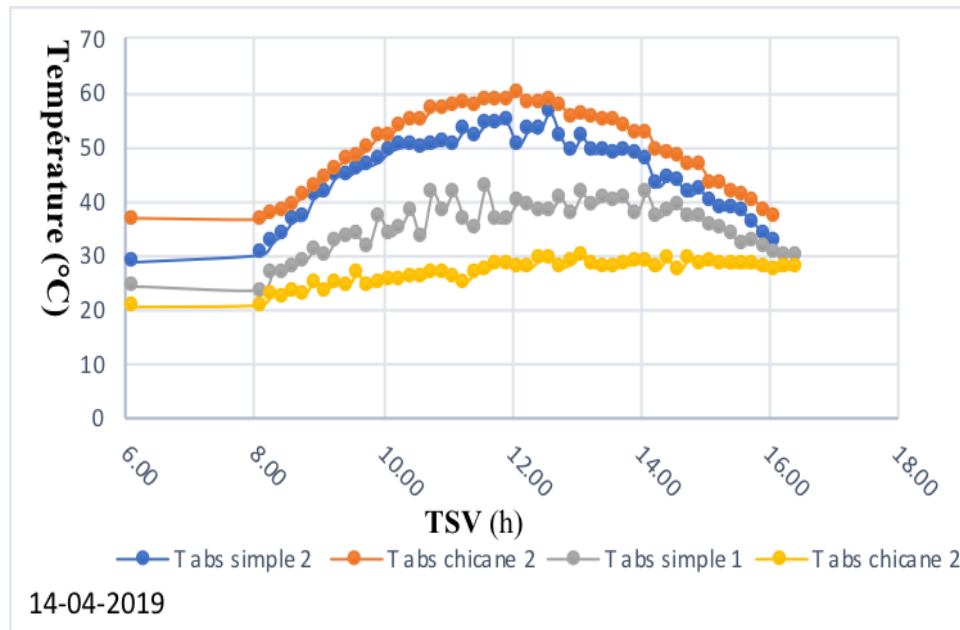


Figure (3.14): Température ambiante en fonction de TSV

La figure (3.14) est représentée la température en fonction de TSV, on constate l'augmentation de la température ambiante de 25° C à 9h00 à 35° C à 13h00 et une diminution à partir de 32 ° C à 16h00. Si nous comparons avec la température d'entrée de l'air, nous trouvons le même profil, la fluctuation existe en raison de l'effet du vent.



La figure (3.15) présente la variation de la température dans l'absorbeur à deux positions, elle montre qu'il y'a un autre échange par conduction au long du capteur du à la différence de températures, qui ont à peu près la même forme.

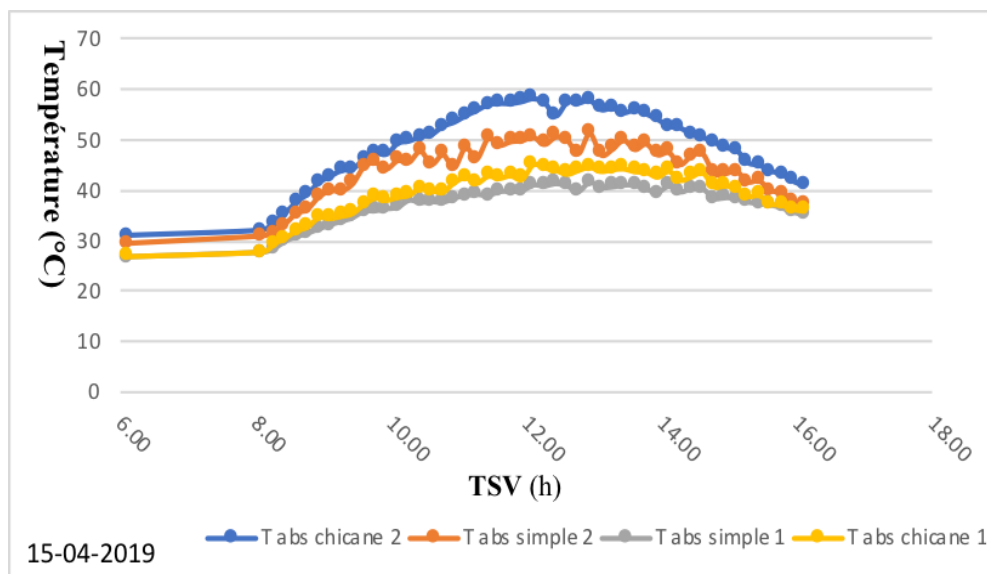


Figure (3.15): Températures de l'absorbeur.

Les températures d'entrée et de sortie de l'air sont présentées, la température d'entrée a un profil identique à celui de la température ambiante, l'écart entre les deux température varie de 10 ° C à 31 ° C, de sorte que l'air a un temps de contact prolongé pendant l'échange.

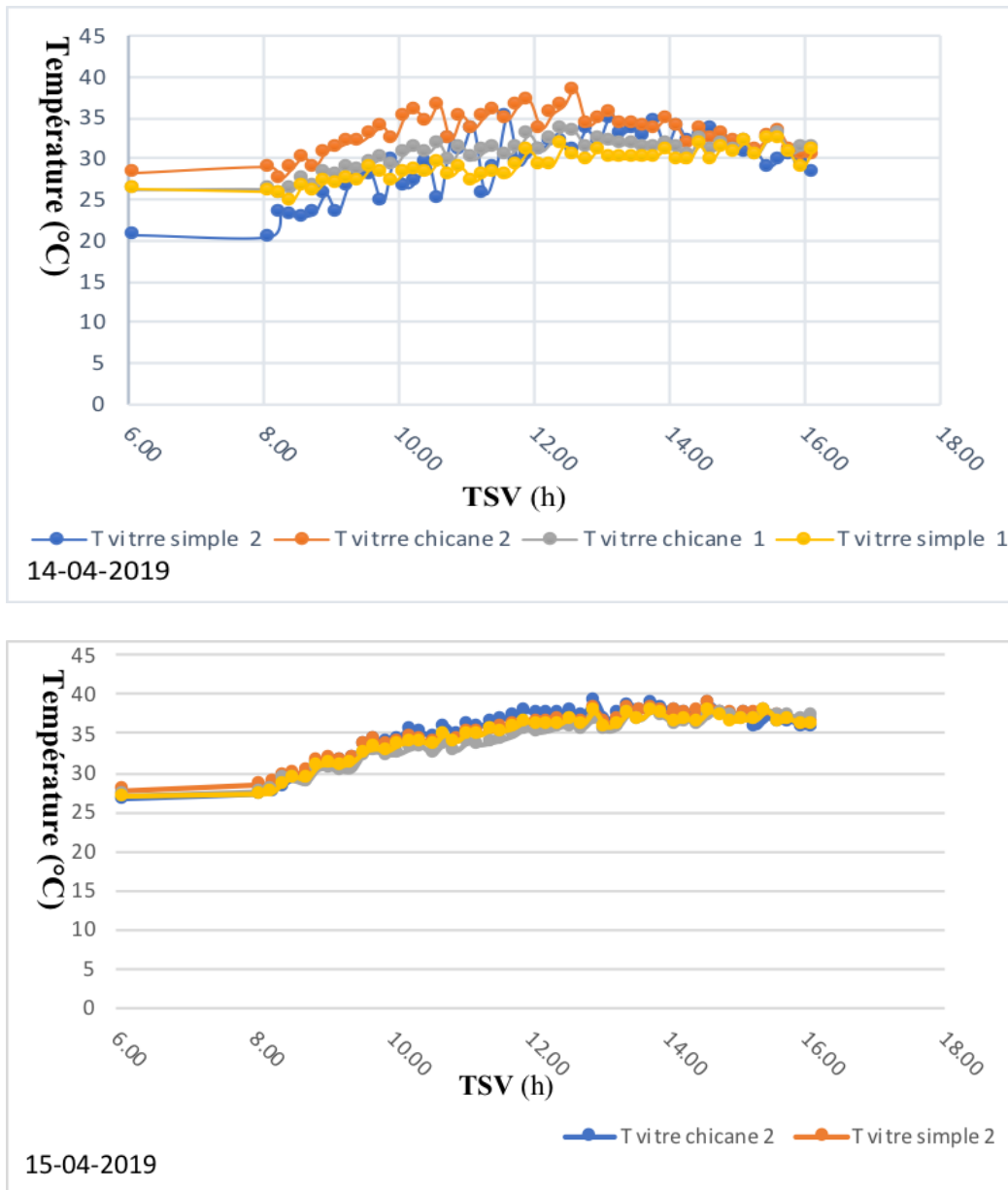


Figure (3.16): Températures de la vitre.

En figure (3.16), nous avons la température de vitrage en deux positions : l'une proche de l'entrée et l'autre proche de la sortie ; il existe un écart entre les deux positions ce qui génère un flux par conduction au long du capteur d'une part, et une quantité d'énergie perdue grâce à la différence existante avec la température ambiante, d'autre part. Pour les mêmes

positions à l'entrée des deux capteurs, les valeurs des températures sont presque identiques, donc l'espace entre la vitre et les chicane est à son optimum.

A.1: Profil des températures d'entrée et de sortie de l'air.

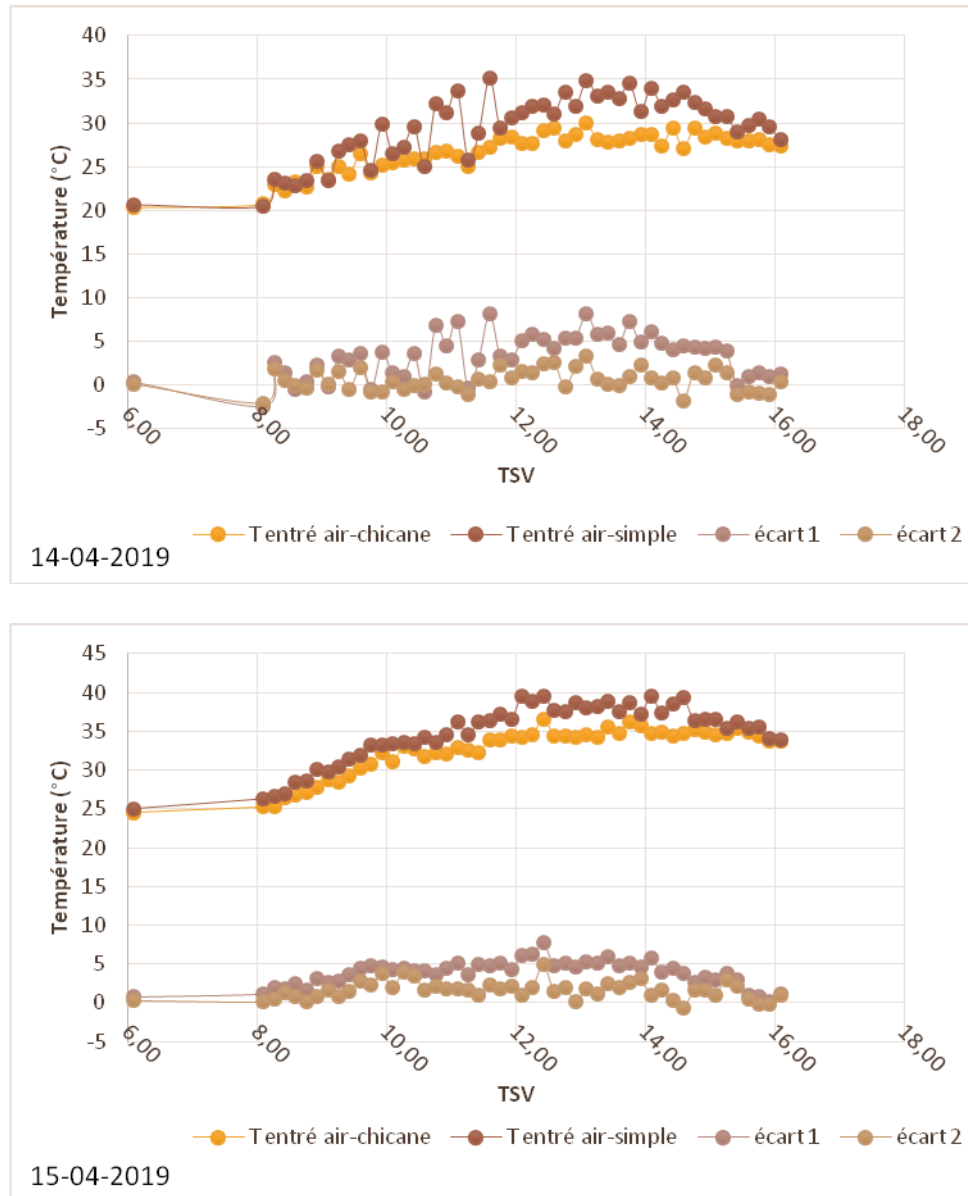


Figure (3.17): Températures d'entrées de l'air.

Ecart 1 : C'est la différence entre la température d'entrée au capteur simple et la température ambiante.

Ecart 2 : C'est la différence entre la température d'entrée au capteur avec chicane et la température ambiante.

Ou constate que la température d'entrée au capteur avec chicane est presque la même que la température d'entrée au capteur simple, d'où une différence très faible entre les 2 températures.

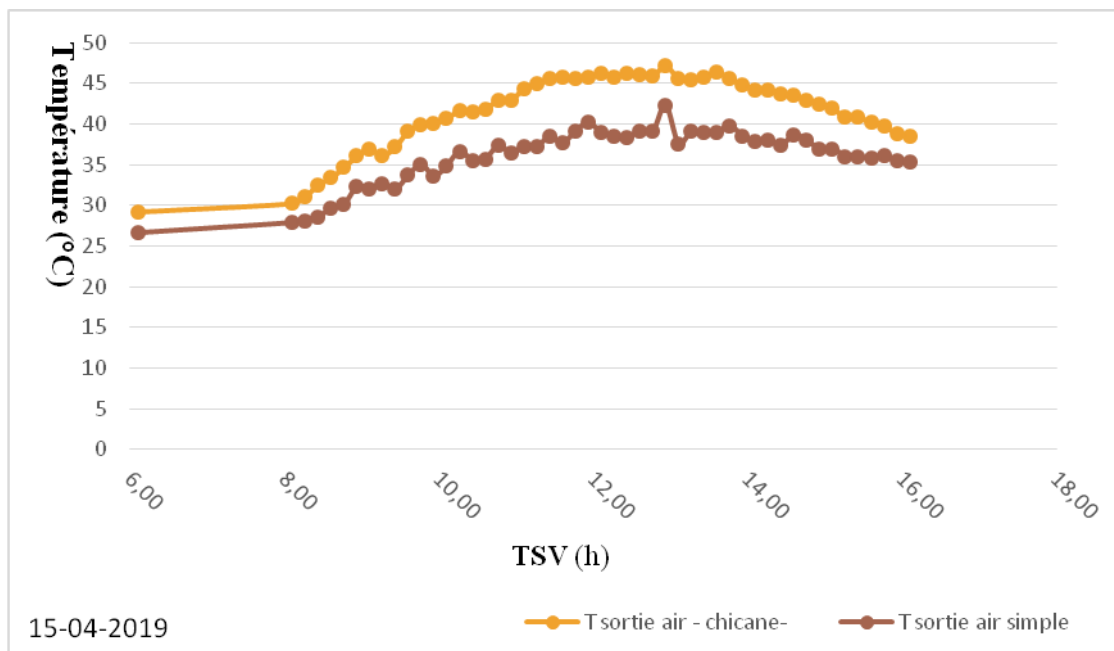
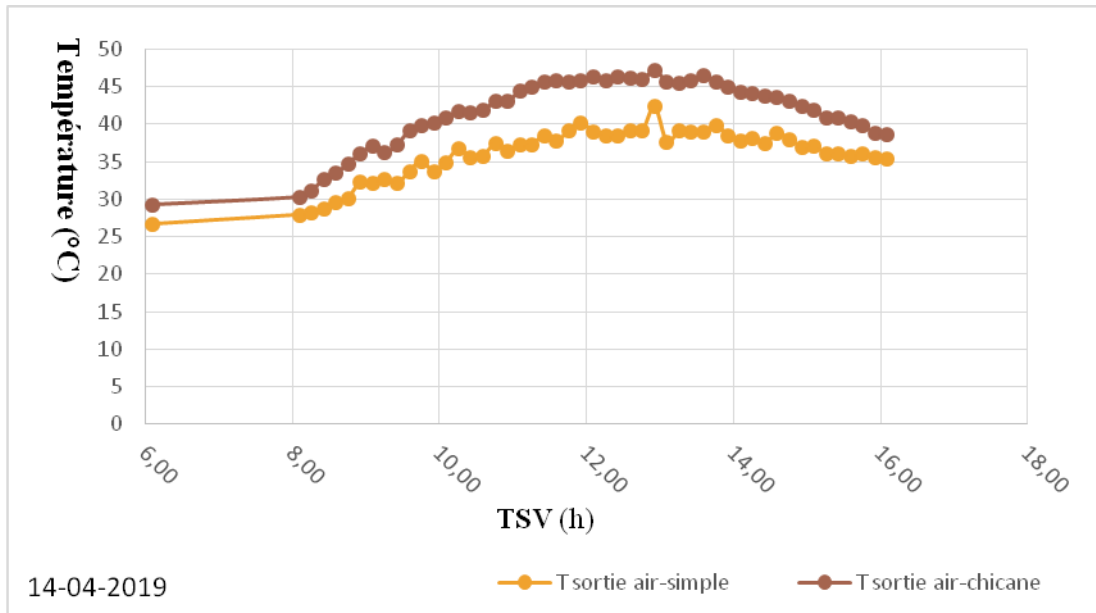


Figure (3.18): Températures de sorties de l'air.

Les figures (3.18), suivantes représentent la température de sortie des deux capteurs pour deux jours, on constate que les deux courbes ont une forme parabolique. La température augmente jusqu'un maximum puis redescend. Pour une valeur x de temps constante, la température de sortie du capteur est plus grande pour le capteur à chicanes que pour le capteur

simple durant les deux jours d'expérience. L'écart entre les deux températures atteint un maximum à 13h00.

A.2: Efficacité énergétique

Le rendement thermique d'un collecteur est défini comme étant le rapport de l'énergie thermique utile par le rayonnement incident solaire total moyen sur le même intervalle de temps. Mathématiquement, l'efficacité d'un collecteur est exprimée comme suit:

$$\eta = \frac{\rho_f C_{p_f} Q_v (T_s - T_e)}{G \cdot A_c}$$

- Exemple de calcul :

Calcul d'efficacité de deux capteurs : (journée 14-04-2019)

Les données :

$$G_m = 680.94 \text{ (W/m}^2\text{)} ; V_{\text{vent m}} = 0.58 \text{ (m/s)} ; C_{p_{\text{air}}} = 1005 \text{ (J.kg}^{-1} \cdot \text{k}^{-1}\text{)} ; \rho_{\text{air}} = 1.29 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$L = 51 \text{ cm}, l = 6 \text{ cm} ; L_{\text{cap}} = 100 \text{ cm}, l_{\text{cap}} = 51 \text{ cm}$$

$$q_v = 0.58(0.0306) = 0.017748 \text{ m}^3/\text{s} \quad A_c = 100 * 51 = 5100 \text{ cm}^2 = 0.51 \text{ m}^2$$

Capteur avec les chicanes :

$$T_{e \text{ moy}} = 29.261 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{s \text{ moy}} = 39.716 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\eta_m = \frac{\rho_{\text{air}} \cdot C_{p_{\text{air}}} \cdot q_v (T_s - T_e)}{G \cdot A_c}$$

$$\eta_m = \frac{1.29 * 1005 * 0.017748 (39.716 - 29.261)}{680.94 * 0.51} = 0.69$$

$$\eta_m = 69\%.$$

Capteur simple :

$$T_{e \text{ moy}} = 26.655 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{s \text{ moy}} = 36.016 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\eta_m = \frac{1.29 * 1005 * 0.017748 (36.016 - 26.655)}{680.94 * 0.51} = 0.62$$

$$\eta_m = 62\%.$$

D'après les calculs, on constate que l'efficacité du capteur avec chicanes est plus grande que celle de capteur simple, il atteint 69% avec chicanes, et 62% pour le capteur simple sans chicanes.

3.12: Étude de l'intégration des capteurs

Le tableau n°2 illustre les variations de la vitesse de vent V avec le temps. Cette vitesse est relativement faible, variant entre 0,6 et 1,42 m/s.

Tableau 3.2: Vitesse du vent (m/s)

TSV	29-Apr	5-May
8.09	0.95	0.61
8.59	1.05	1.01
9.09	1.1	0.43
9.59	1.35	1.03
10.09	1.16	0.54
10.59	1.28	0.92
11.09	1.42	1.06
11.59	0.56	0.96
12.09	0.48	1.03
12.59	0.68	0.35
13.09	1.26	0.61
13.59	0.68	0.33
14.09	0.5	0.71
14.59	0.75	0.51
15.09	0.37	0.6
15.59	0.19	0.89
16.09	0.83	0.56

La figure (3.19) présente le rayonnement solaire enregistré pour les deux expériences et pour les deux capteurs intégrés à la chambre.

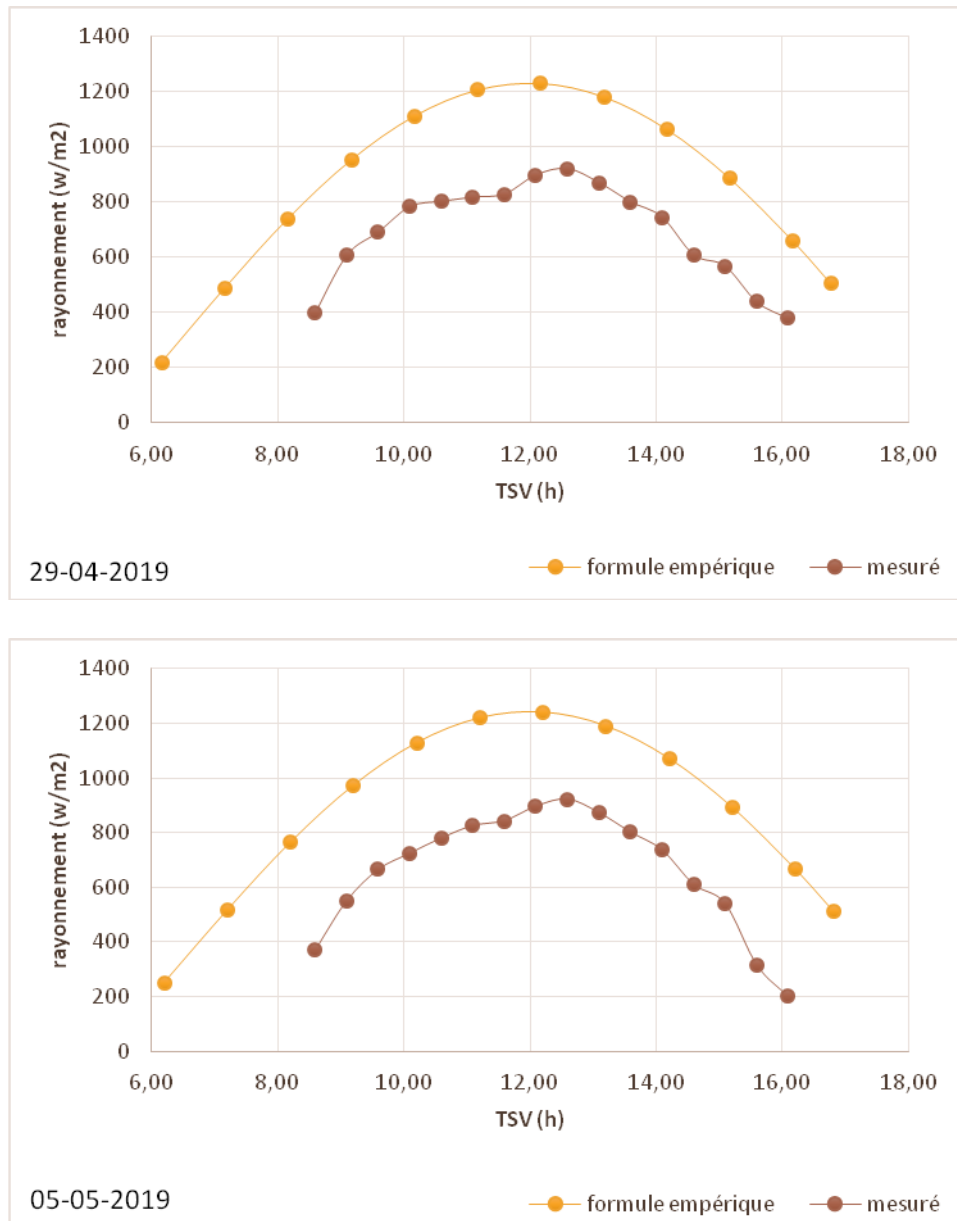


Figure (3.19): rayonnement solaire

3.12.1: Profil des températures dans la chambre

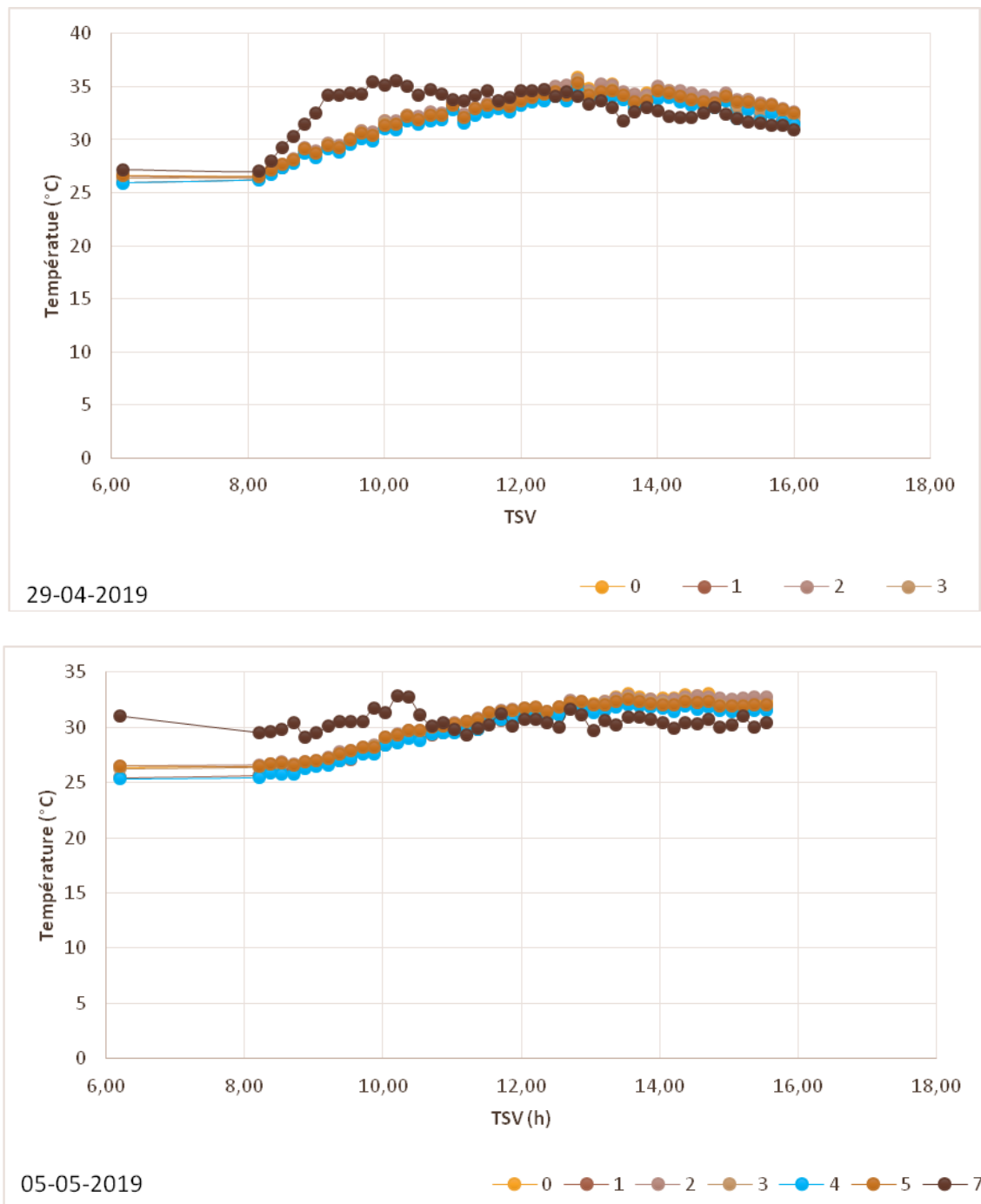


Figure3.20 : Distribution des températures dans la chambre

7 : Température ambiante

Figure (3.20): Distribution de la température dans la chambre et température ambiante

3.13: Interprétation des résultats :

L'air a une propriété tel qu'il monte vers le haut quand il s'échauffe. Pour notre cas, et vu que le ventilateur existe dans le mur arrière en bas, on constate que les graphes ne présentent pas un écart important entre le haut et le bas, grâce à l'isolation de la chambre. La température ambiante est supérieure à celle de la chambre, au début de l'opération. La chambre va donc recevoir de la chaleur qui provient du capteur solaire. Après un certain temps, la température de la chambre devient plus importante que celle de l'ambiance grâce au capteur (figure 3.20)

Presque tous les graphes ont une forme parabolique; ils ont commencé à partir de la température de 24 ° C le matin et augmentent avec des valeurs différentes jusqu'à 14h00 où ils atteignent un maximum avant de commencer à diminuer.

L'interprétation de l'augmentation de la température de sortie dans le capteur avec chicane par rapport à celle du capteur simple, est due à la réduction de la vitesse de l'air au niveau des chicanes, d'où un échange de chaleur plus important.

3.14: Conclusions

L'étude de l'intégration des capteurs solaires dans les bâtiments comporte plusieurs paramètres à prendre en considération tels que l'orientation, la forme, l'isolation ...etc.

Dans cette étude expérimentale, nous avons travaillé sur un prototype orienté vers le sud avec une isolation en laine de verre. Les résultats obtenus montrent que :

- Grace aux chicanes installées, nous avons eu une amélioration du rendement global.
- Les chicanes bien positionnées n'influent pas beaucoup sur la vitre.
- Un profil de températures acceptable avec une bonne distribution.
- Il faut un nombre optimal de chicanes bien positionnées, pour éviter négative sur le comportement thermique du capteur.

Conclusion générale

Cette étude nous a permis d'évaluer le comportement d'un capteur solaire à air, simple ou à chicanes, en vue de la production de chaleur servant à chauffer des habitations. Grâce aux moyens techniques de mesure, nous avons pu déterminer la température des différentes couches du capteur, ainsi que le rendement énergétique, suite à un bilan thermique. Les résultats obtenus montrent que d'un point de vue énergétique, les installations intégrant des capteurs thermiques dans les bâtiments sont très prometteuses et pourraient se montrer compétitives face à d'autres installations. Les critères d'évaluation des performances énergétiques doivent cependant être encore élargis aux aspects environnementaux et économiques : impact environnemental et étude technico-économique. Du point de vue esthétique, les capteurs plans à air sont facilement intégrables à la façade des habitations pour assurer le chauffage.

Les mesures effectuées durant notre travail expérimental ont concerné la mesure du rayonnement solaire global, la vitesse du vent, le débit d'air, la température ambiante et les températures de l'air à l'entrée et à la sortie du capteur. Les résultats de ces mesures ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- 1 - La température de l'air à la sortie du capteur varie en fonction du rayonnement solaire incident.
- 2- Durant les journées choisies pour les mesures, nous avons constaté une augmentation de la température ambiante de 25°C à 35°C de 9h à 13h00, ensuite une diminution de la température à partir de 32 °C à 16h00.
- 3- L'intégration des capteurs solaires plans à la façade de la chambre du banc d'essai a permis d'obtenir des températures importantes dans la chambre.
- 4- L'efficacité énergétique du capteur avec chicanes est plus importante que celle du capteur sans chicanes, d'où l'utilité de ce genre de capteur.
- 5- L'étude de l'impact environnemental et l'étude technico économique seraient comme perspectives pour compléter cette étude avec tous ses volets

Références bibliographiques

- [01] Afedes, Momosol, Memento d'héliotechnique, Edition européennes thermique et industrie, Paris 1979.
- [02] A, Mefti ; M, Y, Bouroubi ; H, Mimouni. Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, p. 12, Décembre 2002.
- [03]N. Bellel, Etude des transferts thermiques le long d'un tube cylindrique appliquée à deux géométries ; thèse de Doctorat, Université de Constantine 2004.
- [04] T, Enrênez ; J, P, Bibring ; M, Blanc ; M, A, Barucci ; F, Roques, P, Zarka. Le système solaire, Éditions et EDP Sciences, Paris 2003.
- [05] Bemmer, C, Durst, F, McEligot, DM. 1984 "Numerical study of fluid flow and heat transfer in a parallel plate channel with baffles", Journal of Heat Transfer, pp. 106-743.
- [06] Berner, C, Durst, F, McEligot, D.M, (1984) "Flow around baffles", Trans. ASME J. Heat Transfer 106, pp. 743-749.
- [07] Berner, C, Durst, F, Mc Eligot, D.M., (1984) "Streamwise-periodic flow around baffles", in: Proceedings of the 2nd International Conference on Applications of Laser Anemometry to Fluid Mechanics, Lisbon, Portugal.
- [08] J, Bernard. Energie solaire : calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing 2004.
- [09] Guy Isabel; Les capteurs solaire à Air : Réaliser-installer-Gérer; Groupe Eyroller; 2012, ISBN:978-2212-13403-2.
- [10] Guo, Z. and Anand, N.K, 1997 "Three Dimensional Heat Transfer in a Channel with a Baffle in the Entrance Region" Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 31, pp 21-30.
- [11] Hadj Belkacemi Mohammed; Modélisation et Etude Expérimentale d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé; Mémoire de Master; Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen ; 2011.
- [12] Yves Jannot, Thermique solaire, 2007.
- [13] J.A. Duffie, W. b. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes. Canada: John Wiley & Sonc 4 th edition.

- [14] H. Abdi, Contribution à la détermination des performances de capteurs plans à contact direct eau-plaque d'absorption; Mémoire de Magister, Université de Blida, 1999.
- [15] K. Kaci; A. Belloua, Etude et réalisation d'un capteur solaire plan à contact direct eau plaque absorbante : configuration 'convexe'; Mémoire d'Ingénieur Energétique, Université de Blida, 1997.
- [16] F. Mokhtari et D. Semmar, Etude Expérimentale d'un Capteur Solaire à Air, Revue des Energies Renouvelables, 2016.
- [17] A. Moumeni, and B. Bouchekima, Longitudinal Obstacle Effect in Solar Air Collector Integrated Vertically in Building, American Institute of Physics AIP Journal, 2016
- [18] C. P. Brichambaut, C. Vauge, 'Le Gisement Solaire-Evaluation de la Ressource Energétique, Edition Lavoisier, Tec & Doc, Paris, 1982.
- [19] W. Saadaoui, 'Modèle dynamique de prédiction des paramètres climatiques', Faculté des Sciences de Sfax, Mémoire, 2006,
- [20] N. Moumami, A. Moumami, S. Benlahmidi, 'Contribution à la réalisation d'un logiciel de simulation des performances des systèmes', Université de Biskra, ICRE 2007.
- [21] M. Daguene, 'Les Séchoirs Solaires, Théorie et Pratique, Unesco, 1985.
- [22] S. Benkaci Ali, K. Gairaa, 'Modèles d'estimations du rayonnement global incident sur un plan incliné', Unité de Recherche Appliquée aux Energies Renouvelables (URAER), Ghardaïa, 2009.
- [23] S. Youcef-Ali, 'Étude numérique et expérimentale des séchoirs solaires indirects à convection forcée : Application à la pomme de terre', Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France, 2001.
- [24] N.E Wijesundera, M. Iqbal, 'Effect of plastic cover thickness on top loss coefficient of flat-plate collectors', Solar Energy 46, pp. 83-87, 1991.
- [25] T. Letz, 'Modélisation et dimensionnement économique d'un système de chauffage domestique bi-énergie', Thèse de Doctorat INSA Lyon, 1985.
- [26] Tomas Matuska, Borivoj .Sourek, Façade solar collectors, Solar Energy 80(2006) 1443-1452.

- [27] Capderou, M. (1987). Atlas solaire de l'Algérie. Alger: Office des publications universitaires.
- [28] k.Aoues, N.Moummi, M.Zellouf, A.Moummi, A.Labed, E.Achouri et A.Benchabane, Amélioration des performances thermique d'un capteur solaire plan à air: Etude expérimentale dans la région de Biskra, 2009, Université Mohamed khider.
- [29] Bouhediba Malika, 'Simulation thermique d'une maison solaire pour la Production d'eau chaude sanitaire (ECS)', En vue de l'obtention du diplôme de Master, 2011/2012, Université Hassiba Benbouali de Chlef.
- [30] HAMMOUMI Mohamed et MORGHAD Hassan; Étude Expérimentale d'un capteur solaire plan à air spécifique au séchage; En vue de l'obtention du diplôme de Master; 2013; Université ABOU-BEKR BELKAID –Tlemcen.

Annexes

01: Caractéristiques thermo physiques de l'air [29]

1.1: Conductivité thermique: λ [w/m °C]

$$\lambda = 7.57 \times 10^{-5} \times T_f + 0.0242$$

1.2: Masse volumique: ρ [kg /m³]

$$\rho = 353 / (T_f + 273)$$

1.3: Viscosité dynamique: μ [Pa/s]

$$\mu = 10^{-5} \times (0.0046 \times T_f + 1.7176)$$

1.4: Diffusivité thermique: a [m² /s]

$$a = 10^{-5} \times (0.0146 \times T_f + 1.8343)$$

1.5: Coefficient de dilatation volumique: β [1/°K]

$$\beta = 1 / T_f$$

Tableau 01: Degré d'émissivité de quelques matériaux

Le tableau 01 donne les propriétés thermiques de quelques matériaux pouvant servir d'isolants.

Matériau	Conductivité Thermique (W/m.K)	Masse volumique (kg /m ³)	Chaleur Massique (J/kg.K)	Diffusivité Thermique 10 ⁻⁷ m ² /s
Air à 20 °C	0.025	1.2	1003	208
Mousse de polyuréthane	0.029	30	1600	6
Laine de verre	0.036	40	840	10.7
Polystyrène expansé	0.04	20	1500	13.3
Laine de roche	0.04	40	840	11.9
Laine (vêtement)	0.04	450	1880	0.47
Feutre d'amiante	0.047	116	800	5.1
Liège expansé	0.048	120	1380	2.9

NOMBRES ADIMENSIONNELS

A.1. Nombre de Nusselt [30]

La combinaison du coefficient d'échange de chaleur par convection, de la longueur caractéristique et de la conductivité thermique du fluide est appelée module ou nombre de Nusselt. C'est le rapport du gradient de température dans le fluide en contact immédiat avec la surface au gradient de température de référence. Il caractérise l'intensité de l'échange de chaleur sur la limite fluide - surface.

$$\mathbf{Nu} = \mathbf{0.86. Re}^{0.5} \cdot \mathbf{Pr}^{0.66} \quad (\mathbf{A.1})$$

A.2. Nombre de Prandlt

Ce nombre représente le rapport de la viscosité cinématique à la diffusivité thermique; il caractérise les propriétés physiques du fluide.

$$\mathbf{Pr} = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} \quad (\mathbf{A.2})$$

μ : La viscosité dynamique [kg/m.s]

λ : Conductivité thermique [w/m °C]

Plus la viscosité est grande plus l'énergie dépensée nécessaire pour véhiculer le fluide est élevée et plus la diffusivité est grande plus le fluide extrait facilement la chaleur de la paroi.

A.3. Nombre de Reynolds

Ce nombre est une mesure de la grandeur relative des forces d'inertie par rapport aux forces de viscosité dans l'écoulement.

$$\mathbf{Re} = \frac{v_m \times L_c}{\nu} \quad (\mathbf{A.3})$$

V_m : est la vitesse moyenne du fluide [m/s]

L_c : Longueur de capteur [m]

Exemple:

$$V_m = 0.58 \text{ m/s} \quad \mu_{\text{air}} = 1.72 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s} \quad \nu_{\text{air}} = 1.33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$L_1 = 100 \text{ cm.} \quad L_2 = 51 \text{ cm}$$

$$L_c = 2 L_1 \cdot L_2 / (L_1 + L_2)$$

$$L_c = \frac{2(100 \times 10^{-2}) \cdot (51 \times 10^{-2})}{100 \times 10^{-2} + 51 \cdot 10^{-2}}$$

$$L_c = 0.675 \text{ m}$$

$$Nu = 0.86 \cdot Re^{0.5} \cdot Pr^{0.66}$$

$$Re = \frac{v_m \times L_c}{\nu}$$

$$Re = \frac{0.58 \times 0.675}{1.33 \cdot 10^{-5}}$$

$$Re = 29436.09$$

$$Pr = \frac{\mu \cdot Cp}{\lambda}$$

$$Pr = \frac{1.72 \cdot 10^{-5} \times 1005}{0.025}$$

$$Pr = 0.69144$$

$$Nu = 0.86 \cdot (29436.09)^{0.5} \times (0.69144)^{0.66}$$

$$Nu = 115.678$$

$$Nu = \frac{h \cdot L_c}{\lambda}$$

$$h = Nu \times \frac{\lambda}{L_c}$$

$$h = 115.678 \times \frac{0.025}{0.675}$$

$$h = 4.28 \text{ W/m}^2/\text{k}$$

Résumé :

Dans cette étude, on présente les résultats d'un travail expérimental sur l'intégration d'un capteur solaire à air à la façade d'une maison. Nous avons fabriqué un capteur solaire simple et un autre avec des chicanes. En premier lieu, on décrit la méthode de réalisation du prototype expérimental en se référant aux modèles standards des capteurs à air, ensuite on mène campagne de mesures afin de juger les performances thermiques de ce système.

Les résultats montrent que le capteur solaire avec les chicanes donne un rendement supérieur à celui du capteur solaire simple. Les paramètres mesurés nous ont permis d'appuyer l'analyse théorique, de valoriser le capteur solaire à air pour une éventuelle utilisation dans le chauffage des bâtiments dans le cadre de l'amélioration du confort thermique.

Mots clés: capteur solaire de façade; Intégration thermique; Fraction solaire; Rénovation de bâtiments; solar energie aplecation

Abstract :

In this study, we present the results of an experimental work on the integration of an air solar collector at the facade of a house. We manufactured a single solar collector and another with baffles. Firstly, the method of producing the experimental prototype is described with reference to the standard air sensor models, then a measurement campaign is run to judge the thermal performance of this system.

The results show that the solar collector with the baffles gives a higher yield than the single solar collector. The measured parameters allowed us to support the theoretical analysis, to valorize the solar air collector for a possible use in the heating of the buildings within the framework of the improvement of the thermal comfort.

Keywords: façade solar collector; Thermal integration; Solar fraction; Building retrofit; solar energy application.