



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSIGEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE KASDI MERBAH D'OUARGLA
Faculté des Collège des hydrocarbures, des énergies renouvelables, des sciences
de la terre et de l'univers

Département de énergies renouvelables

Mémoire

MASTER Professionnel

Domaine : Sciences et techniques

Filière : Génie mécanique

Spécialité : énergies renouvelable en mécanique

Présenté par :

Ayman BELIAD

Abd el ghani BAKKARI

Thème

Contribution à la conception des enveloppes
pour la meilleure performance d'isolation du
bâtiment

Le : 2020/09/ 20

Devant

M ^r . Y. BELLOUFI	Université kasdi merbah Ouargla	Président
M ^r . A.ROUAG	Université kasdi merbah Ouargla	Examineur
M ^r . Y. REZAIGUIA	Université kasdi merbah Ouargla	Encadreur

Année universitaire : 2019 / 2020

Dédicace

En cet honorable lieu, d'un simple geste tracé par écrit, mais qui jaillie du profond sentiment de reconnaissance, permettez-moi de citer les noms comme un mémorandum pour ceux qui ont une place particulière:

A mon cher père

A ma très chère mère

A mes très chers frères et sœurs.

A toute ma famille.

A tous mes ami(e)s sans exception.

A la promotion de la 2ème année master énergie renouvelable 2019/2020

A tous ; je dédie cette mémoire , qui est le sens de mes études supérieurs, tel un présent du cœur, en priant ALLAH tout puissant à le mettre au service de notre nation et du bien de l'humanité, et qu'il sera une lumière sur mon parcours professionnel.

ABD ELGHANI

Dédicace

En cet honorable lieu, d'un simple geste tracé par écrit, mais qui jaillie du profond sentiment de reconnaissance, permettez-moi de citer les noms comme un mémorandum pour ceux qui ont une place particulière:

A ma très chère mère

A mon très cher père

A mes très chers frères et sœurs

A toute ma famille

A tous mes ami(e)s sans exception.

A la promotion de la 2ème année master énergie renouvelable 2019/2020

A tous ; je dédie cet mémoire, qui est le sens de mes études supérieurs, tel un présent du cœur, en priant ALLAH tout puissant à le mettre au service de notre nation et du bien de l'humanité, et qu'il sera une lumière sur mon parcours professionnel.

AYMAN

Remerciement

En premier lieu, nous tenons à remercier notre Dieu, notre Créateur, pour le courage et la patience qu'il nous a donné pour Accomplir ce travail.

Nous remercions notre encadreur Mme . Y. REZAIGUIA pour son orientations et conseils. Nous tenon à notifier un remerciement Spécial à tous mes professeurs qui ont contribué à notre formation de Master.

Nous tenons aussi à exprimer nos profonds remerciements au

Membres de jury qui ont accepté de jury ce modeste travail.

Nous tenons aussi à remercier nos enseignants de département de énergie renouvelable pour la formation que nous avons reçue.

Nos derniers remerciements et qui ne sont pas les moindres, vont À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement De ce travail .

AYMAN & ABD ELGHANI

Sommaire

Dédicaces	
Remerciement	
Listes des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Introduction Générale	
I -1 Introduction :	1
I-2. Définition de l'isolation thermique des bâtiments:	2
I-3 Les isolants thermiques:	2
I -4 Description :	3
I-5 Les raisons d'isoler :	4
I-6 Principe de fonctionnement :	5
I -7 Mise en œuvre:	6
I -8 Transfert de chaleur par convection :	7
I -9 Convection naturelle :	8
I-10 Paramètres :	9
I -11 Différents études numériques et expérimentales de la convection naturelle dans les cavités d'air :	10
I -11-1 Cavite non inclinée chauffée différentiellement :	10
I -11-2 Cavité inclinée chauffée différentiellement :	12
II-1 Introduction :	16
II-2 protocole expérimentale et méthode de travail :	16
II-2-1 Conception et réalisation du dispositif expérimental :	16

II-2-2 Géométrie du dispositif expérimental:	16
II-2-3 Caractéristiques des matériaux utilisés :	18
II-2-3 Les étapes de construction de dispositif expérimentale :	19
II-2-3-1 Coupez et installez le panneau de bois:	19
Après le processus de découpe de la planche de bois, elle est installée comme suit:	19
II-2-3-2 Monter le cadre et Installera couche de Polystyrène :	20
II-2-3-5 Dispositif expérimental :	21
II-3-1 Mesure du rayonnement solaire :	22
II-3-2 Mesure de l'humidité et la température ambiante :	23
II-3-3 Mesure de La vitesse du vent :	24
II-3-4 Mesure de la vitesse de l'air et du débit volumique :	24
II-3-5 Mesure de la température aux les interfaces des couches.....	25
III-1-Introduction.....	29
III-2 Analyse et interprétation des résultats expérimentaux :	26
III-2-1 Effet du rayonnement solaire sur la température externe du mur :	27
III-2-2 Effet de la vitesse du vent sur la température externe du mur	28
III-2-3 L'effet du rayonnement sur les températures du mur :	30
III-2-4 L'effet de la vitesse de entrée sur les températures du La chambre :	32
Conclusion Générale.....	35
Bibliographique	

Résumé

Annexe

Liste des figures

Liste des figures

Figure I. 1	Isolant mince réfléchissant Multicouche	Page 04
Figure I.2	Isolant Multicouche à bulles	Page 04
Figure I.3	Comportement radiatif d'un PMR	Page 05
Figure I.4	Les différents placements des PMR	Page 07
Figure I.5	Schéma du transfert de chaleur convectif	Page 08
Figure I.6	Schéma du phénomène de transfert de chaleur par convection	Page 09
Figure I.7	Représentation schématique de l'enceinte dans un repère cartésien	Page 13
Figure I.8	comparaison entre les profils du nombre de Nu calculé et ceux du nombre de Nusselt mesuré Num	Page 15
Figure I.9	Débit massique obtenus par la corrélation numériquement et résultat obtenu par CFD	Page 15
Figure II-1	Démontages de dispositif expérimental	Page 17
Figure II-2	Panneau en bois après découpe et pose	Page 19
Figure II-3	Après l'installation du polystyrène	Page 20
Figure. II-4	Couper et installer des laines de verre	Page 21
Figure. II-5	Couper et installer le verre	Page 21
Figure II-6	Dispositif expérimental	Page 22
Figure. II-7	Pyranomètre mesure de Le rayonnement solaire	Page 23
Figure. II -8	Pyranomètre mesure de la température ambiante et l'humidité	Page 23
Figure. II-9	anémomètre attaché à un module C.A1051	Page 24
Figure. II-10	anémomètre à de marque testo 416	Page 24
Figure. II-11	une station d'acquisition et thermocouples	Page 25
Figure II-12	Coupe partielle de la toiture montre la disposition des thermocouples	Page 25

Liste des figures

Figure III-1	Courbe 1:Variation de température externe et rayonnement en fonction du temps 29Avril 2018	Page 27
Figure III-2	Courbe 2:Variation de température externe et rayonnement en fonction du temps 03 Mai 2018	Page 27
Figure III-3	Courbe 3:Variation de température externe et rayonnement en fonction du temps 07 Mai 2018	Page 28
Figure III-4	Courbe 4:Variation de température externe et vitesse de vent en fonction du temps 29 Avril 2018	Page 29
Figure III-5	Courbe 5:Variation de température externe et vitesse de vent en fonction du temps 03 Mai2018	Page 29
Figure III-6	Courbe 6:Variation de température externe et vitesse de vent en fonction du temps 07 Mai 2018	Page 30
Figure III-7	Courbe 7 :Variation des différentes températures et l'intensité de rayonnement solaire en fonction du temps 29 Avril 2018	Page 31
Figure III-8	Courbe 8 : Variation des différentes températures et l'intensité de rayonnement solaire en fonction du temps 03 Mai 2018	Page 31
Figure III-9	Courbe 9: Variation des différentes températures et l'intensité de rayonnement solaire en fonction du temps 07 Mai 2018	Page 32
Figure III-10	Courbe 10: Variation de la vitesse de entrée sur les températures du La chambre 29 Avril 2018	Page 33
Figure III-11	Courbe 11: Variation de la vitesse de entrée sur les températures du La chambre 03 Mai 2018	Page 33
Figure III-12	Courbe 12 Variation de la vitesse de entrée sur les températures du La chambre 07 Mai 2018	Page 34

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau II-1	Les dimensions géométrique du dispositif expérimental	Page 17
Tableau II-2	Caractéristiques de Polystyrène	Page 18
Tableau II-3	Caractéristiques de laine de verre	Page 18
Tableau II-4	Caractéristiques de la vitre	Page 19
Tableau III-1	Le tableau représente les valeurs de rayonnement et de la température sur un verre	Page 28
Tableau III-2	Le tableau représente les valeurs de la vitesse du vent et de la température sur un verre	Page 30
Tableau III-3	Le tableau représente les valeurs de Rayonnement et de la température du mur	Page 32
Tableau III-4	Le tableau représente les valeurs de vitesse entre et de la température	Page 34

Nomenclature

Lettres latines

Symbole	Désignation	Unité
T	Température	K
t	Temps	H
H	Hauteur	M
L	Longueur	M
Φ	Flux thermique convective	W
H	Coefficient d'échange convectif	W/m ² .°C
S	Surface	M
Cp	Chaleur spécifique du fluide	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Q	Flux thermique par conduction	W
∂Q	La quantité d'énergie thermique	J
C	La capacité thermique	J/k
R	La résistance thermique	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Ta	Température ambiante	K
TR	Température de référence	K
g	La gravité	m.s ⁻²
Vvent	Vitesse du vent	m.s ⁻¹
ṁ	Débit massique	kg/s
HP	Epaisseur de paroi polystyrène	Cm
EP	Epaisseur de polystyrène	Cm
E1	Epaisseur de la lame d'air non ventilé	Cm
EL	Epaisseur de laine de verre	Cm
E2	Epaisseur de la lame d'air ventilé	Cm
EV	Epaisseur du vitrage	Cm
L	Largeur	Cm
qi	désigne la densité de flux incident	W.m ⁻²
qr	désigne la densité de flux réfléchi	W.m ⁻²
qa	désigne la densité de flux absorbé	W.m ⁻²
qe	désigne la densité de flux émis	W.m ⁻²

Lettres Grecques

ρ	Densité	$kg.m^{-3}$
λ	Conductivité thermique	$w/m^{\circ}c$
C_p	Chaleur massique	$J/kg\ k$
E	Epaisseur	M
ε	Coefficient d'Emissivité	/
α	coefficient d'absorption	/
τ	Coefficient de transmission	/
θ	Angle d'inclinaison par rapport à horizontale	$^{\circ}$
B	Coefficient de dilatation thermique	$1/K$

Nombres adimensionnels

Nu	Nombre de Nusselt	$\frac{hd}{\lambda}$
Pr	Nombre de Prandt	$\frac{\rho.v.d.c_p}{\lambda}$
Re	Nombre de Reynolds	$\frac{\rho.v.d}{\mu}$
Ra	Nombre de Rayleigh	$\frac{d^3.\beta.g\Delta T P_r}{\nu^2}$
A	Allongement	$\frac{H}{b}$
Gr	Nombre de Grashof	$\frac{Ra}{Pr}$

Indice :

a	absorbé
e	émis
i	incident
r	réfléchi
s	sortie
ext	extérieur
cond	conduction

Abréviations :

CFD	Computational fluid Dynamics
PMR	Produit mince réfléchissant



Introduction Générale

Introduction Générale

Grâce à certaines des projections sur l'hypothèse que la croissance économique au cours des dernières années se poursuivra tout au long du 21^{ème} siècle comme si notre consommation d'énergie va croître indéfiniment et il peut donc suivre l'isolation thermique de la consommation d'énergie dans le secteur des bâtiments La convection naturelle a toujours été un mode de transfert attrayant dans l'ingénierie thermique. En effet, un grand nombre d'études des cavités rectangulaires, inclinés, vertical minces et peu profondes avec différentes conditions aux limites ont été intensivement considérées par des chercheurs. En fait, beaucoup de perte de chaleur est par les murs et le plafond et le plancher, Par conséquent, la recherche a augmenté la chaleur dans l'enveloppe du bâtiment, en particulier l'isolation thermique, qui joue un rôle important dans le contrôle principalement sur l'amélioration de la performance thermique de l'isolation thermique Parmi ces isolateurs PMR (produits minces réfléchissants). [34]

Cette dernière technique d'isolation par isolants minces réfléchissants regroupe la Performance isolante des parois ainsi que celle des lames d'air qui, délimitées par des barrières à faible émissivité thermique, réduisent les transferts de chaleur par rayonnement. l'objectif principal de ce travail est de réaliser une caractérisation complète des PMR intégrés dans les bâtiments , Et l'étude de les écoulement de convection naturelle par la modélisation et étude numérique pour obtenir une meilleure connaissance des phénomènes physiques induits par ce type de produits d'isolation.

La présentation de ce mémoire est comme suit:

Le premier chapitre consacre des généralités et une synthèse bibliographique des travaux théoriques, expérimentaux et numériques ayant trait à la convection naturelle dans des cavités chauffé différentiellement. L'étude expérimentale est présentée dans le deuxième Chapitre. Dans le troisième chapitre, nous discuterons et commenterons les résultats expérimentaux

Chapitre I:



Les isolants thermiques

I -1 Introduction :

Afin de réduire la consommation d'énergie dans le secteur des bâtiments, les recherches s'accroissent pour viser une meilleure isolation de l'enveloppe et minimiser les pertes thermiques à travers les murs, les planchers, la toiture et les parois vitrées du bâtiment quand l'intérieur est chauffé ou climatisé.

Pour cela et afin de limiter la propagation de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur et vice-versa, il est indispensable de recourir à l'usage des isolants thermiques. Les isolants traditionnels, dits « de masse », sont les plus courants. Les isolants fibreux minéraux (laine de verre, laine de roche) et les produits plastiques alvéolaires (polystyrène, mousse de polyuréthane) en sont des exemples. Ces isolants, utilisés au niveau de la toiture, des murs et des planchers, limitent le transfert thermique uniquement par conduction grâce à leurs faibles conductivités thermiques.

En période estivale, et surtout sous les climats chauds, la réduction de l'usage de la climatisation et l'amélioration du confort d'été sont aujourd'hui traités par des systèmes passifs de ventilation associés à une forte inertie thermique et surtout des solutions de réduction des apports solaires pour l'ensemble du bâtiment.

De nos jours, des solutions de revêtements réfléchissants sont de plus en plus utilisées afin d'intercepter le rayonnement solaire et diminuer l'absorption d'énergie surtout par les systèmes de toiture isolée. D'autres produits, vendus dans la catégorie des isolants, utilisent également des revêtements réfléchissants. Ils sont connus sous le nom de Produits Minces Réfléchissants (PMR).

Ces PMR ont envahi les marchés mondiaux sans qu'ils disposent d'une certification, par exemple ACERMI en France. Le CSTB a récemment établi une étude du marché de ces produits [1] en se basant sur un sondage réalisé auprès des industriels de produits d'isolation. L'étude montre qu'en France, le marché des PMR représente un chiffre d'affaires qui atteint 110 M€ alors qu'au niveau européen, il est d'une valeur de l'ordre de 200 M€. Au niveau mondial par contre, il a été très difficile d'obtenir un chiffre d'affaires mais les recherches ont montré que ce genre de produits est largement implanté aux Etats-Unis, au Canada, en Australie et en Argentine.

I-2. Définition de l'isolation thermique des bâtiments :

L'isolation thermique désigne l'ensemble des techniques mises en œuvre pour limiter les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid.

L'isolation thermique est utilisée dans nombreux domaines incluant notamment : le bâtiment (maintien d'une température de confort à l'intérieur des habitations), l'industrie, l'automobile, et le textile

I-3 Les isolants thermiques :

Les isolants thermiques diffèrent les uns des autres par de nombreux paramètres. Les noms présentons ci-après un aperçu des principales caractéristiques par type d'isolant [1]

● La laine de verre minérale MW

La laine de verre minérale se présente sous différentes formes (matelas ou panneaux). Les produits sont fabriqués par un mélange de matières premières en fusion (pour la laine de roche il s'agit essentiellement de diabase et de calcaire, pour la laine de verre essentiellement de sable et de débris de verre) jusqu'à l'obtention de fibres de consistance laineuse.

● Le polystyrène expansé (EPS)

On distingue le polystyrène expansé modifié non résistant au feu et le polystyrène expansé modifié résistant au feu. La masse volumique et, donc les propriétés spécifiques d'isolation thermique sont adaptées en cours de fabrication. En effet, la conductivité thermique par exemple est liée à la masse volumique. La masse volumique est fonction de la taille des billes, de leur vitesse d'introduction et du débit de vapeur.

● Le verre cellulaire (CG)

Les isolants en verre cellulaire se présentent sous forme de panneaux à bords ou de pièces découpées dans les panneaux. La masse volumique ou les propriétés spécifiques d'isolation thermique sont adaptées en cours de fabrication. Le produit est obtenu par fusion pure et d'additifs, puis passe dans une étireuse, vitrifié et broyé.

● Le polystyrène extrudé (XPS)

Le polystyrène extrudé se présente sous forme de panneaux à bords droits à rainure et languettes ou butée. Les propriétés spécifiques d'isolement thermique sont adaptées en cours de fabrication. Le produit est obtenu par mélange de granulats de polystyrène et d'additifs (agents expansifs notamment) jusqu'à l'obtention d'une pâte que l'on a introduit dans une extrudeuse pour produire l'épaisseur désire. Le produit doit ses propriétés isolantes spécifiques tout type d'agent expansif utilise ainsi qu'une vitesse de montée en température et une vitesse d'intrusion. L'adjonction de l'agent expansif qui se stabilise avec le temps.

● La laine de bois

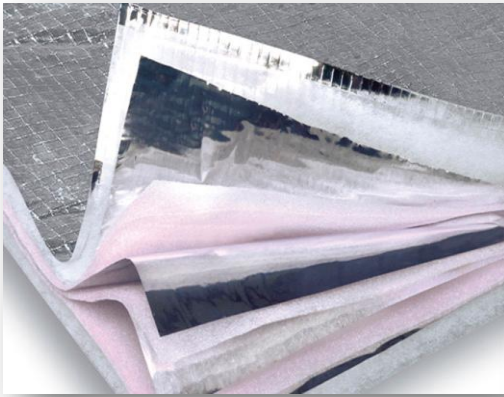
Les panneaux de laine de bois sont élaborés à partir de fibres de bois, le liant étant la lignine de bois. Ce matériau naturel possède un coefficient de conductivité thermique identique aux autres laines isolantes, une structure rigide à assemblage rainuré garantissant une très grande longévité.[1]

ce travail pour la caractérisation complète des PMR intégrés dans le bâtiment.

I -4 Description :

Un Produit Mince Réfléchissant (PMR), encore connu sous le nom de Barrière Thermique Réfléchissante (BTR), est un produit monocouche ou multicouche comportant une ou plusieurs feuilles peu émissives. Ces feuilles, de faible émissivité thermique, contribuent à l'isolation thermique des parois opaques du bâtiment en limitant les transferts par rayonnement. Les couches peuvent être constituées, de films avec ou sans bulles, de ouate synthétique, de mousse plastique expansée, de laine minérale ou d'origine animale ou végétale. Ces produits sont présentés sous forme de rouleaux, plaques ou panneaux et ont une épaisseur totale généralement comprise entre 5 et 30 mm[2].

Il existe deux grandes familles de produits réfléchissants : les produits à bulles représentés à la (figure 1.2) par un film de polyéthylène emprisonnant des bulles d'air et les produits multicouches qui sont constitués d'une mousse plastique, ou une matière fibreuse en plusieurs couches séparées par des feuilles réfléchissantes intermédiaires (cf. figure 1.1).



**Figure I.1 : Isolant mince réfléchissant
Réfléchissant Multicouche**



**Figure I.2- Isolant mince à
à bulles**

I-5 Les raisons d'isoler :

➤ Isoler, en augmentant la température des surfaces intérieure des parois, limite la déperdition thermique du corps par rayonnement et permet d'augmenter ce qu'on appelle le confort thermique.

Isoler permet de:

- diminuer la facture de chauffage
- diminuer la dépendance aux énergies fossiles et de cette manière réduire les émissions de gaz à effet de serre
- diminuer la dépendance aux énergies nucléaires et de cette manière réduire les déchets radioactifs.

Isoler est aussi un moyen de créer des emplois, au moins en partie financés par les économies de chauffage.

I-6 Principe de fonctionnement :

Les PMR sont des produits dont les faces ont une faible émissivité thermique, qui peut varier de 0,05 à 0,2 selon les produits. Ces derniers ont donc la caractéristique de réfléchir une grande partie du rayonnement thermique incident et d'en émettre très peu.

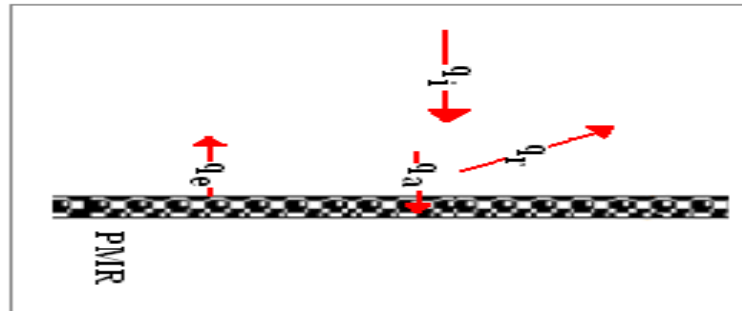


Figure 1.3 - Principe de fonctionnement du PMR

Si l'on considère le PMR de la figure 2, d'émissivité $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-2}$, où

- ✓ q_i : désigne la densité de flux incident [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
- ✓ q_r : désigne la densité de flux réfléchi [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
- ✓ q_a : désigne la densité de flux absorbé [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
- ✓ q_e : désigne la densité de flux émis [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
- ❖ On peut écrire :
 - $q_r = \rho \cdot q_i = (1 - \varepsilon) \cdot q_i$, Ce qui signifie que 95% de l'énergie incidente est réfléchi (coefficient de réflexion du PMR)
 - $q_a = \alpha \cdot q_i$. ce qui implique qu'en se plaçant dans l'approximation des corps gris ($\varepsilon = \alpha$), seulement 5% de l'énergie incidente est absorbée (α coefficient d'absorption du PMR)
 - $q_e = \varepsilon \cdot M^0 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$, M^0 désignant l'émission d'un corps noir dans les mêmes conditions de température ; l'émission du PMR considéré vaut ainsi 5% de celle qu'aurait un corps noir dans les mêmes conditions de température.
 - (*) Valable car les PMR ne sont pas exposés directement au soleil, par suite on est à de grandes longueurs d'ondes pour l'absorption et l'émissivité.

Il ressort de ces équations que, pour une émissivité de 0,05 des faces réfléchissantes du PMR, seulement 5 % de l'énergie incidente est absorbée. Par ailleurs, en considérant que l'émissivité des matériaux généralement utilisés dans le bâtiment est de l'ordre de 0,9, un

PMR, dans les mêmes conditions de température, émettra 5,5 % de l'énergie émise par les autres matériaux du bâtiment.[2]

I -7 Mise en œuvre :

La faible épaisseur des PMR et leur flexibilité permet de concevoir plusieurs configurations pour leur installation. Celle-ci est toutefois conditionnée par la présence obligée d'une ou de deux lames d'air de quelques centimètres d'épaisseur dont le rôle a été explicité précédemment. Ainsi, cinq dispositions sont possibles, illustrées sur la (Figure I-4). Leur souplesse permet d'envisager l'isolant en position tendu ou semi-tendu. Ce choix est en général guidé par des considérations d'ordre pratique.

- a. Cette disposition est obtenue en fixant directement l'isolant sur le support de la toiture; celui-ci est tendu entre les pannes et il faut prendre garde à ce que la face réfléchissante soit orientée vers le bas.
- b. Ici, il est proposé de placer le film semi-tendu entre les pannes de la charpente ; la lame d'air est constituée naturellement par l'affaissement du film réflecteur et celui-ci peut disposer de deux faces réfléchissantes. Cette disposition est pratique à réaliser dans le cas de l'équipement d'un bâtiment neuf.
- c. Le film est tendu entre les pannes et agrafé sur celles-ci. On peut réaliser cette opération indifféremment dans un bâtiment neuf ou lors d'une réhabilitation. Là encore, une lame d'air est présente entre le film et le toit.
- d. Le film est dans ce cas agrafé sur la base inférieure des pannes de la charpente et il est conseillé de placer la face réfléchissante vers le bas.
- e. cette disposition présente le PMR fixé tendu, directement sur le faux plafond ; la face à faible émissivité doit être orientée vers le bas pour que celle-ci s'avère efficace [4].

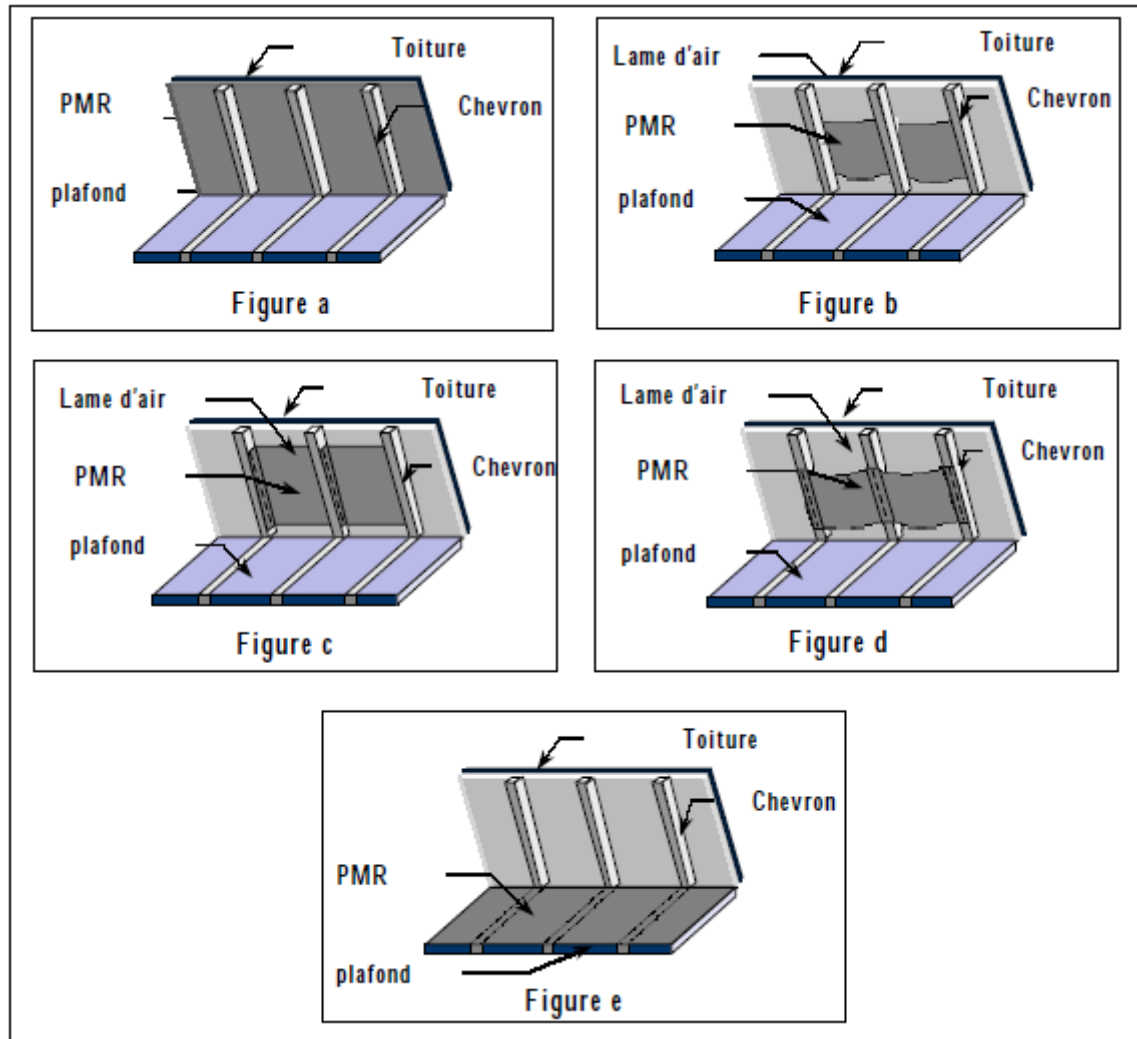


Figure I.4: Les différents placements des PMR

I -8 Transfert de chaleur par convection:

La convection est un transfert de chaleur se produisant dans un milieu matériel avec mouvement de matière. Ce mode de transfert a lieu au sein des fluides ou entre un solide et un fluide. Dans le domaine du bâtiment en particulier, on distingue deux types de convection : la convection naturelle et la convection forcée. La convection naturelle recouvre les écoulements des fluides interstitiels, induit par les variations de masse volumique dues aux différences de température. La convection forcée se produit quand le mouvement du fluide est imposé par une intervention extérieure d'origine mécanique (pompe, mise en pression, ventilateur, etc. ...). La convection mixte mêle de manière équivalente les deux modes de convection précédemment cités. La convection est un phénomène très complexe où la thermique et la mécanique des fluides sont couplées[5]. Dans le cas d'un transfert entre un

solide et un fluide (figure I-5), le flux thermique échangé entre la surface et le fluide en mouvement est donné par la loi de Newton :

$$\varphi = h s (T_p - T_\infty)$$

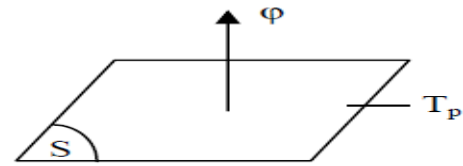


Figure I.5: Schéma du transfert de chaleur convectif

Avec :

- φ Flux de chaleur transmis par convection (W)
- h Coefficient de transfert de chaleur par convection ($\text{W m}^{-2} \text{°C}^{-1}$)
- T_p Température de surface du solide (°C)
- T_∞ Température du fluide loin de la surface du solide (°C)
- S Aire de la surface de contact solide/fluide (m^2)

La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection h est fonction de la nature du fluide e , de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide .

I -9 Convection naturelle :

En convection naturelle, les mouvements du fluide sont provoqués par des gradients de densité dus à la différence de la température. Les couches chaudes, donc de poids spécifique plus faible, sont soumises à des forces dirigées vers le haut, suivant un mécanisme analogue à celui de la poussée d'Archimède. Dans les régions à température élevée, le fluide prend donc un mouvement ascendant sur (figure I-6).

La convection 'libre' ou 'naturelle' est la forme d'échange convectif la plus couramment observé. Elle apparait dans le champ des forces de masse extérieures dont la nature peut être différente. Donc la convection naturelle est le régime d'écoulement obtenu lorsque l'on chauffe un fluide sans qu'il n'y ait d'écoulement 'extérieur' imposé[3].

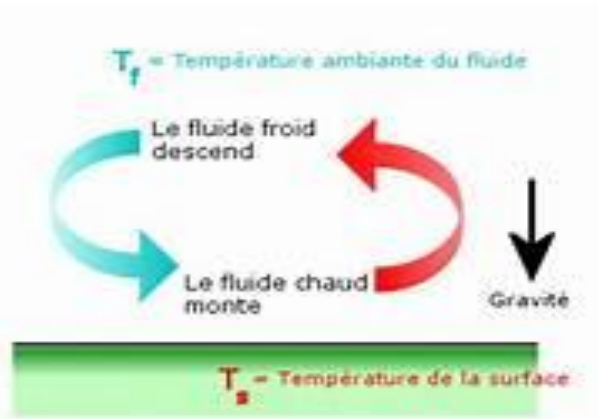


Figure I.6 : Schéma du phénomène de transfert de chaleur par convection.

I-10 Paramètres :

Adimensionnels en convection naturelle thermique Différents nombres adimensionnels vont permettre de caractériser les paramètres de l'étude comme par exemple :

- Le nombre de Rayleigh qui caractérise la vigueur des écoulements de convection

Naturelle pour une longueur de référence L_{ref} :

$$Ra_{Lref} = \frac{g\beta\Delta T L_{ref}^3}{\alpha\nu} \text{ avec } \Delta T = T_c - T_f$$

Que l'on peut voir comme le rapport des effets favorisant la convection (la flottabilité $\rho_0 g \beta \Delta T = \Delta \rho g$), sur les effets s'y opposant, la diffusion thermique (qui casse les gradients de température), et la viscosité (qui s'oppose à l'écoulement du fluide).

- Le nombre de Nusselt qui représente le rapport entre le flux convectif et le flux Conductif à travers une interface :

$$Nu_{Lref} = \frac{\Phi_{convectif}}{\Phi_{conductif de référence}}$$

- Le nombre de Prandtl qui caractérise le fluide :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$

Qui tient uniquement compte des propriétés du fluide. Ce rapport compare la diffusion de la quantité de mouvement, via sa viscosité, à sa capacité à diffuser la chaleur via sa

diffusivité thermique. Dans le cas de l'air, par exemple, avec un Prandtl de 0,71, les effets de la diffusion thermique et de la viscosité sont du même ordre.

- Les rapports de forme verticale, horizontal et transverse de la cavité :

$$A_V = \frac{H}{L} \qquad A_H = \frac{D}{L} \qquad A_T = \frac{H}{D}$$

Qui donnent les caractéristiques géométriques sur l'aspect de la cavité [7].

I -11 Différents études numériques et expérimentales de la convection naturelle dans les cavités d'air :

I -11-1 Cavité non inclinée chauffée différentiellement :

Les premiers travaux portant sur la convection naturelle ont été entrepris, dans les années 60 du siècle dernier, par G. De Vahl Davis et al [9] et [10]. Ces auteurs ont utilisé la méthode des différences finies pour résoudre le problème de convection naturelle dans une cavité carrée différentiellement chauffée. Ces études ont eu le mérite de lancer une compétition internationale sur le sujet. Elles ont montré que la distribution de température à mi-hauteur de la cavité est presque linéaire et le gradient thermique vertical tend vers zéro pour les valeurs du nombre de Rayleigh inférieures à 10^4 .

Stewart et Weinberg [11] furent parmi les premiers à étudier la convection naturelle au sein d'une cavité rectangulaire bidimensionnelle avec des parois horizontales adiabatiques, et des parois verticales isothermes, pour des valeurs du nombre de Prandtl qui varient de 0.0127 à 10 ; ils ont comparé le comportement de l'écoulement de plusieurs types de fluides, et ont démontré que le comportement de l'écoulement dans les métaux liquides est différent de celui des fluides usuels.

Récemment, la convection en cavité différentiellement chauffée a fait l'objet de nombreuses recherches à la fois expérimentales et numériques; parmi elles, on peut citer les contributions de J. Imberger [12], Markatos et al [13], W. Schoph et J. Patterson , J.M. Hyun et J.W. Lee [14], J. Patterson et R. A. W. M. Henkes et C. J. Hoogendoorn [15].

A la fin des années quatre-vingt, et grâce au développement des algorithmes de résolution et l'amélioration des puissances de calcul des ordinateurs, G. De Vahl Davis [16], a proposé une solution standard dite Benchmark pour le cas de la cavité carrée

différentiellement chauffée en régime laminaire. Plus tard, les résultats de simulation, pour des grandes valeurs du nombre de Rayleigh, ont été obtenus par P. Le Quéré [17], M.R. Ravi et al [19].

De Vahl Davis [16], Macatos et al [13] ont étudié numériquement, le phénomène de la convection naturelle, dans une cavité carrée rempli d'air et différentiellement chauffée pour des valeurs du nombre de Rayleigh comprises dans l'intervalle $10^3 \leq Ra \leq 10^6$. La formulation du problème utilisée par Davis, en 1983, est la formulation fonction de courant–vorticité.

Les équations modifiées par l'interaction d'un terme transitoire sont discrétisées par la méthode des différences finies. Le système d'équation algébrique résultant de l'opération de discrétisation, est résolu par l'algorithme ADI (Alternating direction implicit). En 1984, Marcatos et al [13] ont adopté la méthode des volumes finis pour aboutir à des équations discrétisées, et résolues par l'algorithme SIMPLE. Récemment, en 2006, Viviane et al [20] ont traité le même problème par l'algorithme SIMPLE. Un bon accord a été constaté entre Les résultats obtenus avec un écart maximal de plus ou moins 1.5% ; d'autre part, l'analyse faite sur le transfert thermique a permis d'aboutir à la corrélation suivante :

$$\text{Nu} = 0.143\text{Ra}^{0.229} \qquad 10^3 \leq \text{Ra} \leq 10^6$$

Très rapidement, le début de l'in stationnarité est localisé. La valeur du Rayleigh critique vaut $Rac = 1.82 \times 10^8$ (P. Le Quéré et Behnia [21]) dans le cas d'une cavité carrée avec des parois horizontales adiabatiques. L'écoulement dans une telle cavité devient chaotique lorsque le nombre de Rayleigh dépasse la valeur de 3×10^8 . Pour le cas d'une cavité avec des parois horizontales conductrices, le nombre de Rayleigh critique est égal à $Rac = 3.5 \times 10^5$ (S. Xin, P. Le Quéré [22]).

R. J. Janssen et R. A. W. Henkes [23] ont traité l'effet du nombre de Rayleigh et du nombre de Prandtl sur la convection naturelle. D. R. Chenoweth et S. Paolucci [24] ont analysé l'influence du rapport de forme. R. A. Kuyper et C.J. Hoogendoorn [25] ont étudié l'effet de

l'angle d'inclinaison de la cavité. Les résultats obtenus sous diverses conditions paramétriques ont permis d'acquérir un nombre important de corrélations permettant ainsi, d'évaluer les taux de transfert de chaleur.

Wright [26] a proposé une corrélation pour modéliser le transfert thermique dans une cavité d'air différentiellement chauffée. Cette corrélation est déterminée par plusieurs résultats expérimentaux de la littérature pour des allongements supérieurs à 40 et pour des nombres de Rayleigh inférieurs à 10^6 . Il a déduit, d'après son étude, que le nombre de Nusselt ne dépend plus de l'allongement dans ces plages particulières de Ra et de A (rapport de forme):

$$\text{Nu} = 0.0673838\text{Ra}^{0.3} \quad 5 \times 10^4 < \text{Ra} \leq 10^6$$

Dans ses travaux, Zhao [27] a effectué des simulations numériques sur des cavités d'air verticales dont l'allongement varie entre 5 et 80 en utilisant la méthode des éléments finis. Il a ensuite comparé les résultats numériques obtenus avec des résultats expérimentaux et a proposé une corrélation qui présente une déviation maximale de plus ou moins 6 % entre les résultats expérimentaux et numériques.

I -11-2 Cavité inclinée chauffée différentiellement :

Pour les cavités d'air inclinées, ElSherbiny [28] dans ses différents travaux, insiste sur l'importance de l'angle d'inclinaison de la couche d'air et les conséquences de ce paramètre sur le phénomène de convection naturelle. Pour le transfert de chaleur, les corrélations qu'il a établies dépendent de l'angle d'inclinaison de la cavité ainsi que du nombre de Rayleigh. Elles sont valables pour une valeur du rapport de forme égal à 20 et pour un angle d'inclinaison variant de 120° à 180° . ElSherbiny, a développé d'autres corrélations pour des angles d'inclinaison variant de 60° à 90° , les corrélations trouvées pour $120^\circ < \theta < 180^\circ$ sont les suivantes :

$$\text{Nu} = [1 + (0.212 \times \text{Ra}^{0.136})^{11}]^{\frac{1}{11}} \quad \text{Pour } \theta=180^\circ$$

$$\text{Nu} = [1 + (0.0566 \times \text{Ra}^{0.332})^{4.76}]^{\frac{1}{4.76}} \quad \text{Pour } \theta=120^\circ$$

$$\text{Nu}(\theta) = \text{Ra}(180^\circ) + \frac{180-\theta}{60} [\text{Nu}(120^\circ) - \text{Nu}(180^\circ)] \quad \text{Pour } 120^\circ < \theta < 180^\circ$$

A. Osorio, R. Avila, Jorvantes [29] ont étudié numériquement et expérimentalement la structure de l'écoulement et le transfert thermique dans une cavité d'eau inclinée différenciellement chauffée, à une température proche de celle correspondant à sa densité maximale, en utilisant la méthode des éléments spectraux (S E M), comme méthode numérique. Ce travail a permis d'évaluer la distribution de température dans le plan de la cavité et de mesurer le nombre moyen de Nusselt pour chaque angle d'inclinaison. Les résultats numériques montrent un accord raisonnable avec les mesures expérimentales [18].

R. Zarrit et al [30] ont présenté une étude numérique de la convection naturelle instationnaire et bidimensionnelle dans une cavité rectangulaire inclinée et chauffée différenciellement. Le nombre de Rayleigh varie entre $103 \leq Ra \leq 104$, le rapport de forme ($1 \leq A \leq 6$) et l'angle d'inclinaison θ comprise entre $\theta=0^\circ$ et 180° . En utilisant l'approximation de Boussinesq, les équations de Navier Stokes sont écrites avec la formulation fonction de courant-vorticité ($\psi-\Omega$), puis elles sont discrétisées par la méthode des différences finies. Nos calculs mettent en évidence l'influence de l'angle d'inclinaison et le rapport de forme sur la structure de l'écoulement et le transfert de chaleur.

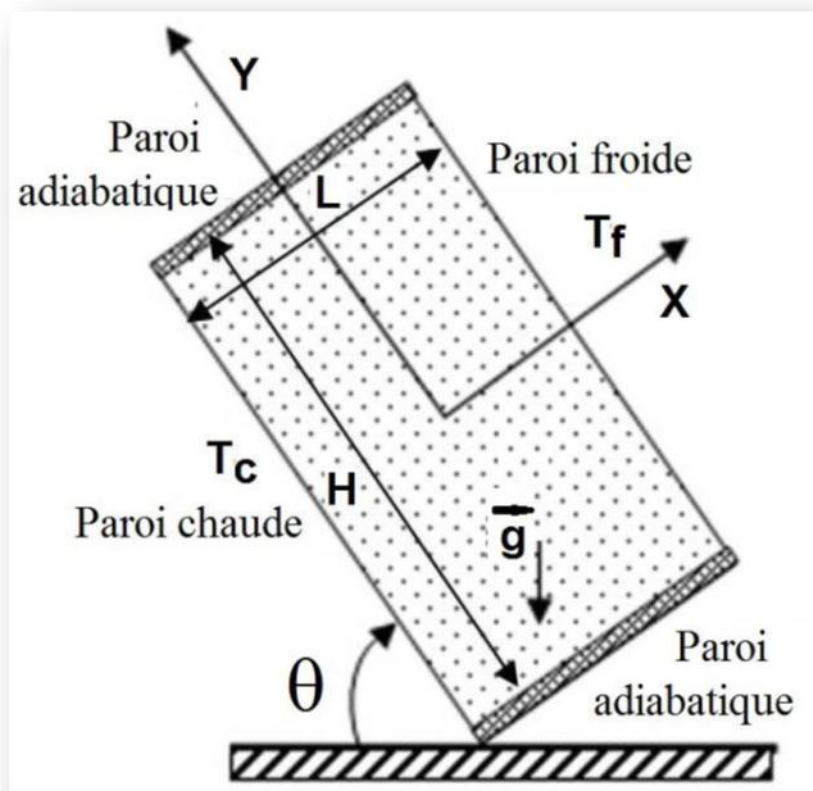


Figure I.7 : Représentation schématique de l'enceinte dans un repère cartésien

H. Wang .M.S .Hamed [31] ont étudié numériquement les modes de transition de l'écoulement de la convection naturelle dans une cavité rectangulaire bidimensionnelle, inclinée, différentiellement chauffée pour un nombre de Rayleigh limité entre 10^3 et 10^4 , un rapport de forme horizontal $A_y=4$, un nombre de Prandtl égal à 0.70 et où l'angle d'inclinaison est compris entre 0° et 90° . Ils ont étudié l'effet de différentes configurations de gradient de température sur les modes de transition. Ils ont aussi analysé l'influence de la discontinuité de température sur le nombre de Nusselt. La simulation numérique de l'écoulement est basée sur la méthode des volumes finis avec un algorithme SIMPLE. Les résultats obtenus montrent que les modes de transition de l'écoulement par convection thermique et l'efficacité du transfert de chaleur dans la cavité dépendent des conditions thermiques des parois actives.

A. Bairi [32] a étudié expérimentalement la convection naturelle dans une cavité cubique inclinée. Les parois chaude et froide de la cavité sont maintenues à des températures constantes (isothermes) ; les autres parois de la cavité sont adiabatiques. Les mesures expérimentales et la simulation numérique sont effectuées pour les différentes configurations géométriques et thermiques suivantes:

- la valeur de nombre de Rayleigh est limitée entre 10 et 10^{10} .
- l'angle d'inclinaison varie entre 0° et 360° .

Il a mené un calcul numérique bidimensionnel basé sur la méthode des volumes finis, et il a examiné l'influence du nombre de Rayleigh et de l'angle d'inclinaison sur la structure de l'écoulement et le taux de transfert de chaleur par convection. Les résultats obtenus indiquent un bon accord entre les résultats numériques et les mesures expérimentales comme le schématise la (figure I-8). D'autre part, des corrélations du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Rayleigh pour différents angles d'inclinaison ont été proposées.

$$Nu = 0.15Ra^{0.29} \quad \varphi = 0^\circ, 30^\circ$$

$$Nu = 0.14Ra^{0.30} \quad \varphi = 60^\circ, 90^\circ$$

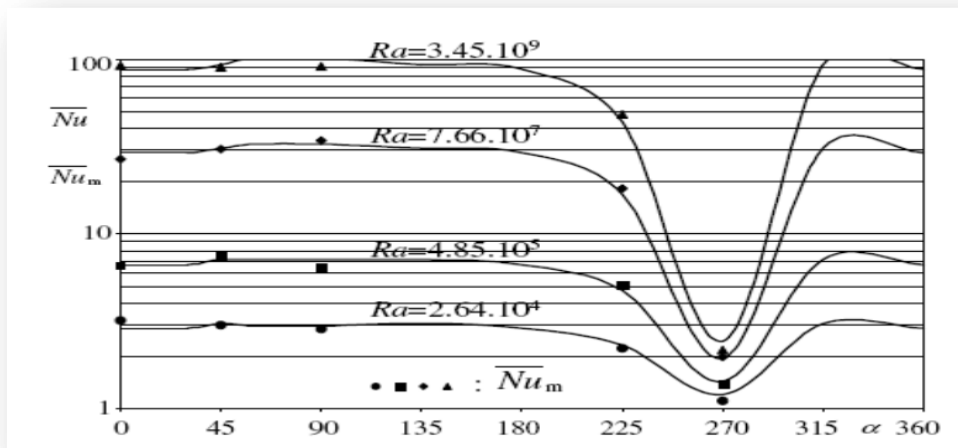


Figure I.8 : comparaison entre les profils du nombre de Nu calculé et ceux du nombre de Nusselt mesuré Num

La vérification de l'étude des différents résultats obtenus à partir des résultat expérimental et CFD pour la préparation de l'écoulement d'air entraîné par la flottabilité est né en thermosiphon. Modèle CFD développés représente ce phénomène, et sont validés les résultats obtenus à partir du flux d'air à travers les résultats expérimentaux menés par des chercheurs [33]. Voir les figures (Figure I.9) .

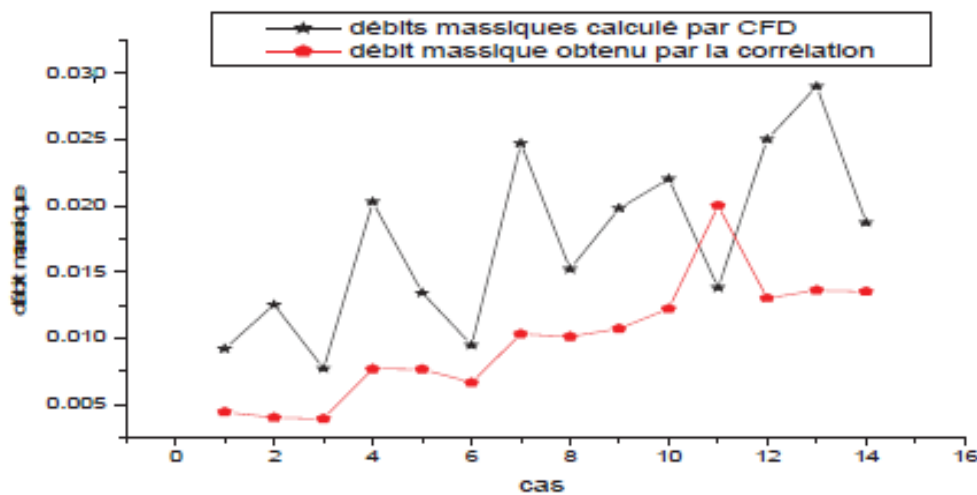


Figure I.9 : Débit massique obtenus par la corrélation numériquement et résultat obtenu par CFD

Chapitre II :



Etude expérimental

II-1 Introduction :

Ce chapitre est consacré la description de la diapositive expérimentale et les appareils de mesures utilisés. L'étude expérimentale est donc permet de confirmer certaines des théories mises en avant lors de l'étude bibliographique, et savoir la performance thermique de la laine de verre comme un isolant dans les régions chaud et arides(Ouargla). Dans cette contexte, deux type de mur sont effectuées. Dans le premier cas, de laine de verre est assemblé avec deux couches de lame d'air non ventilés, et dans le deuxième cas, l'un de ces couches de lame d'air est ventilé. Plusieurs expériences et mesures ont été effectués durant la période de 29 Avril au 13 Mai 2018 qui nous donne la variation des paramètres nécessaire pour achever notre objective.

II-2 protocole expérimentale et méthode de travail :

II-2-1 Conception et réalisation du dispositif expérimental :

II-2-2 Géométrie du dispositif expérimental:

La structure globale du toiture est sous forme d'une cavité rectangulaire, de 100cm de longueur et de 60cm de largeur avec 12.9cm d'épaisseur *Inclinaison 30*

. Cette cavité se compose des Feuilles de bois en Bottom et de verre en TOP, entre ces deux extrémités, se trouve une couche de polystyrène, puis une lame d'air stagnée, après une couche de laine de verre doublée et l'air circule entre cette dernière et la tôle de verre.

L'objectif de ce prototype est de mesurer les températures réelles, en utilisant des thermocouples, de type K, à partir de plusieurs points, sur :

- la couche de polystyrène. On a évité de prendre les mesures de température directement de la tôle de fer galvanisé, vers l'extérieur, vu que la température extérieure est très élevée, se qui n'interprète pas l'effet de l'isolation.
- Sur et sous la couche de laine de verre
- Sur et sous le verre, qui est exposé directement au rayonnement solaire

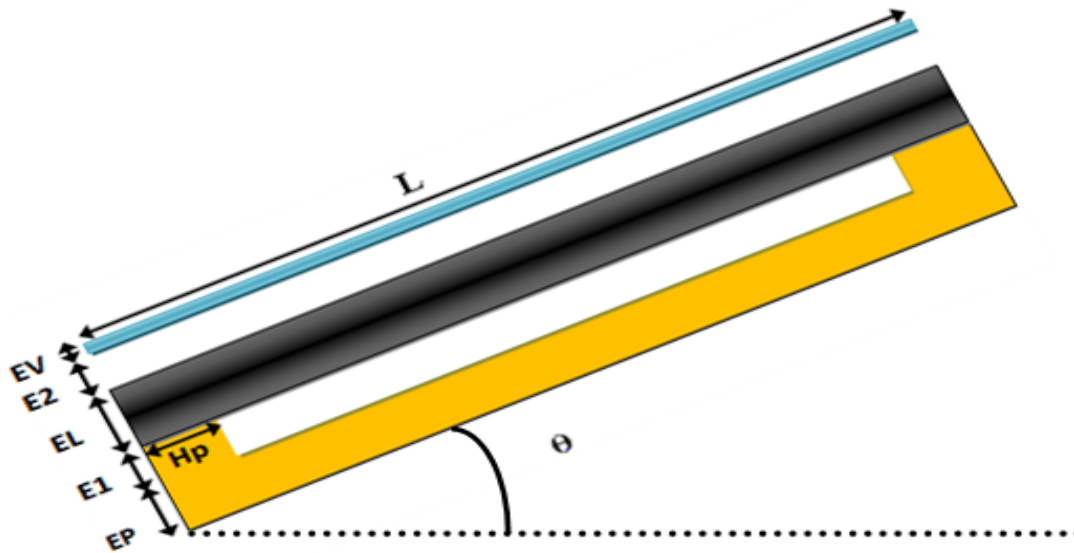


Figure II-1 •Démentions de dispositif expérimental

Les dimensions géométriques du dispositif étudié sont donne par le tableau (II.).

Tableau II-1:les dimensions géométrique du dispositif expérimental

Dimension	Valeurs [cm]
Epaisseur de paroi polystyrène (Hp)	2.5
Epaisseur de polystyrène (EP)	3
Epaisseur de la lame d'air non ventilé (E1)	2
Epaisseur de laine de verre (EL)	4
Epaisseur de la lame d'air ventilé (E2)	2
Epaisseur du vitrage (EV)	0.4
Longueur du dispositif expérimental (L)	100
Largeur du dispositif expérimental	60

II-2-3 Caractéristiques des matériaux utilisés :**Tableau II-2: Caractéristiques de Polystyrène**

Désignation	La quantité
Epaisseur	0.03 m
Densité	$\rho = 700 \text{ kg /m}^3$.
Chaleur massique :	$C_p = 2310 \text{ J/kg k}$.
Conductivité thermique :	$\lambda = 0,032 \text{ w/m}^\circ\text{c}$.
coefficient d'absorption :	$\alpha = 0.0$
Coefficient d'Emissivité:	$\varepsilon = 0.97$

Tableau II-3: Caractéristiques de laine de verre

Désignation	La quantité
Epaisseur	0.04 m
Densité	$\rho = 14 \text{ kg /m}^3$.
Chaleur massique :	$C_p = 900 \text{ J/kg k}$.
Conductivité thermique :	$\lambda = 0,038 \text{ w/m}^\circ\text{c}$.
coefficient d'absorption	$\alpha = 0.9$
Emissivité de verre :	$\varepsilon = 0.10$

Tableau II-4: Caractéristiques de la vitre

Désignation	La quantité
Epaisseur	0.004 m
Densité	$\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$.
Chaleur massique :	$C_p = 840 \text{ J/kg K}$.
Conductivité thermique :	$\lambda = 0.81 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.
coefficient d'absorption	$\alpha = 0.06$
Emissivité de verre :	$\varepsilon = 0.90$
Coefficient de transmission	$\tau = 0.85$

II-2-3 Les étapes de construction de dispositif expérimentale :

II-2-3-1 Coupez et installez le panneau de bois:

Après le processus de découpe de la planche de bois, elle est installée comme suit (figure II-2)



Figure II-2: Panneau en bois après découpe et pose

II-2-3-2 Monter le cadre et Installera couche de Polystyrène :

Après on a préparé les pièces, l'étape suivant est de construire le cadre principale de mur se forme d'un capteur plan de dimension de 100cm de longueur et de 60cm de largeur. Ensuite, en utilisons de la silicone Pour supporter la couche de polystyrène à l'intérieur de cette cadre (Figure. II-3....).



Figure II-3: Après l'installation du polystyrène

II-2-3-3 Intégration de la laine de verre:

Après avoir laissé une épaisseur de 2,3 cm de l'espace d'air non ventilé et installé une couche de 25 mm de polystyrène au fond, une couche de laine de verre doublée d'une épaisseur de 4 cm a été installée (figure II-4).



Figure. II-4 Couper et installer des laines de verre

II-2-3-4 Verre:

Après avoir laissé une couche d'air ventilé de 2 cm sous la couche de laine de verre, une épaisseur de verre de 0,4 cm au-dessus a été installée.(figure II-5)



Figure. II-5 Couper et installer le verre

II-2-3-5 Dispositif expérimental :

La diapositive qu'on a montée est illustrée dans la figure (II-6). L'enveloppe est de type toiture inclinée composée de plusieurs couches liées en séries.

L'installation du tube noir a été nécessaire pour installer et enlever le thermocouple après l'achèvement de la combinaison de Dispositif expérimental



Figure II-6:Dispositif expérimental

Remarque: En raison des conditions pandémiques (problème covid 19) qui nous ont empêchés de faire de prendre des mesures sur le protocole expérimental, nous avons pris les résultats des température, vitesse et ...obtenus par des masters en 2018

II-3 Appareillages de mesures :

Afin de mesurer les différents paramètres physiques nécessaires pour étudier la performance de notre mure, et pour fournir les données nécessaires pour faire la simulation numérique. Les mesures ont été réalisées durant une période de climat tempéré avec un ciel clair. Les mesures sont prises entre 8h et 17h avec un pas de temps égal à trente minutes (30min). Les paramètres physiques sont la température, la vitesse de vent et l'irradiation solaire...etc.

Au cours de la période de mesure, les mesures obtenues sont sauvegardés sur l'ordinateur.

II-3-1 Mesure du rayonnement solaire :

Pyranomètre est un capteur de flux de chaleur utilisé pour mesurer la quantité d'énergie solaire à la lumière naturelle et est utilisé en météorologie. Permet la mesure de la force totale du rayonnement solaire en w/m^2 . Ils sont sensibles dans une gamme spectrale allant de 100 à 2500 nm en fonction du filtre utilisé. Connecté à l'appareil KEITHLEY model 2750 et les résultats apparaissent dans l'ordinateur.



Figure. II-7 : Pyranomètre mesure de Le rayonnement solaire

II-3-2 Mesure de l'humidité et la température ambiante :

La température ambiante et l'humidité sont mesurées à l'aide de l'échelle des dimensions et de l'échelle d'essai par une station de données (cobra3 Basic-unit). Connecté à l'ordinateur où les résultats apparaissent directement.



Figure. II-8 : Pyranomètre mesure de la température ambiante et l'humidité

II-3-3 Mesure de La vitesse du vent :

La mesure de la vitesse du vent se effectuer à l'aide d'un Thermo anémomètre attaché à un module C.A1051. Caractéristiques : Étendue de mesure : 0 à 3 m/s et 3,1 à 35 m/s - Débit : 0 à 65000 m³/h.



Figure. II-9 : anémomètre attaché à un module C.A1051.

II-3-4 Mesure de la vitesse de l'air et du débit volumique :

La vitesse et le débit volumique de l'air à l'entrée et à la sortie du dispositif expérimental sont calculés à l'aide d'un anémomètre de type testo 416. Étendue de mesure : 0.6 à 40 m/s. Précision : $\pm (0.2 \text{ m/s} + 1.5 \% \text{ v.m.})$. Résolution : 0.1 m/s



Figure. II-10 anémomètre à de marque testo 416

II-3-5 Mesure de la température aux interfaces des couches :

La mesure des températures dans les interfaces est réalisé par une station d'acquisition des données assistée par ordinateur de type NI cdaQ9174 12voies, avec un pas du temps réglable (30 MINUTE). Les thermocouples sont placés aux différents endroits de la toiture. Les thermocouples de température sont du type K (figure III.7), Usage continu de 0 °C à 1 100 °C ; usage intermittent de -180 °C à 1 200 °C. Sa table de référence s'étend à 1 370 °C. Stabilité moins satisfaisante que d'autres thermocouples : Son hystérésis entre 300 °C et 550 °C provoque plusieurs degrés d'erreur. Au-dessus de 800 °C.

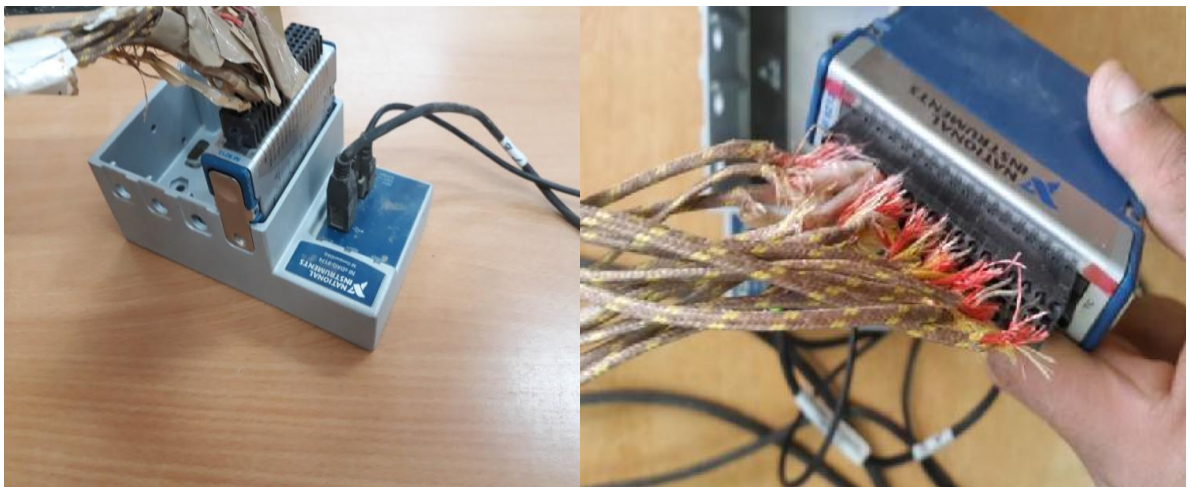


Figure. II-11: une station d'acquisition et thermocouples

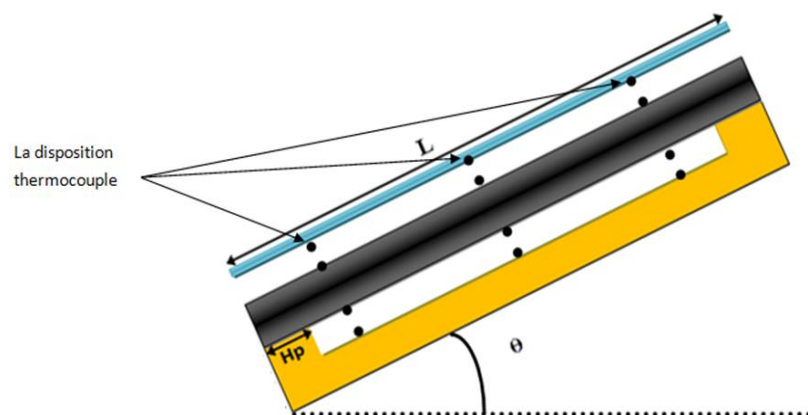


Figure II-12. : Coupe partielle de la toiture montrant la disposition des thermocouples.

Les sites de mesure de température :

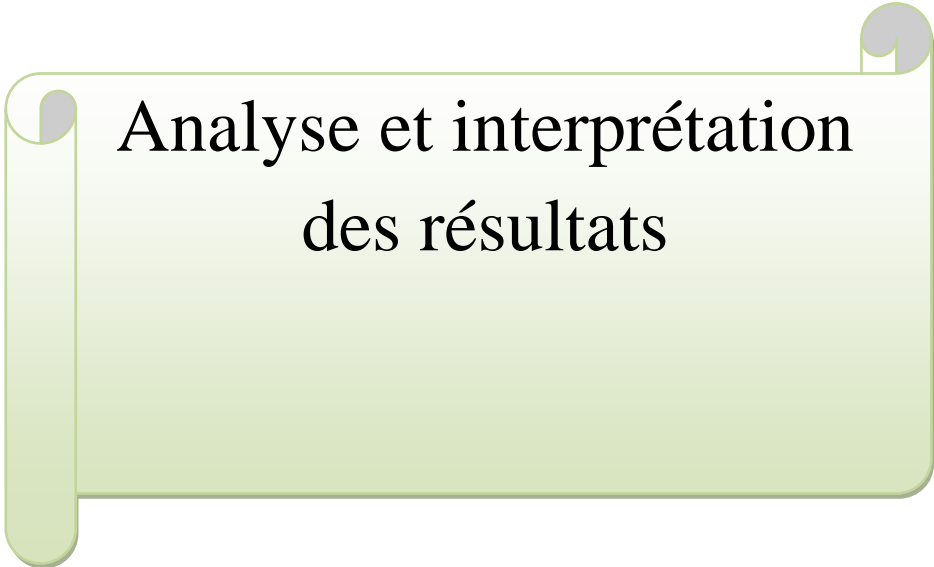
T1 : Température sous verre.

T2 : Température au dessus de la laine de verre.

T3 : Température sous laine de verre.

T4 : Température

Chapitre III :



Analyse et interprétation
des résultats

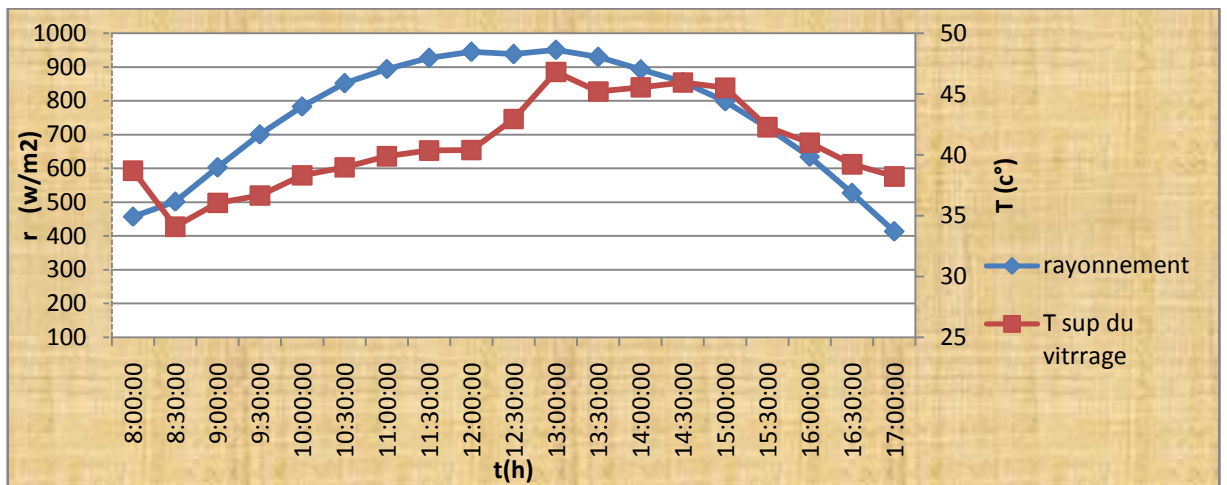
III-1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous traduirons les résultats expérimentaux obtenus de l'étude précédente en courbes afin d'analyser et d'interpréter les résultats expérimentaux obtenus.

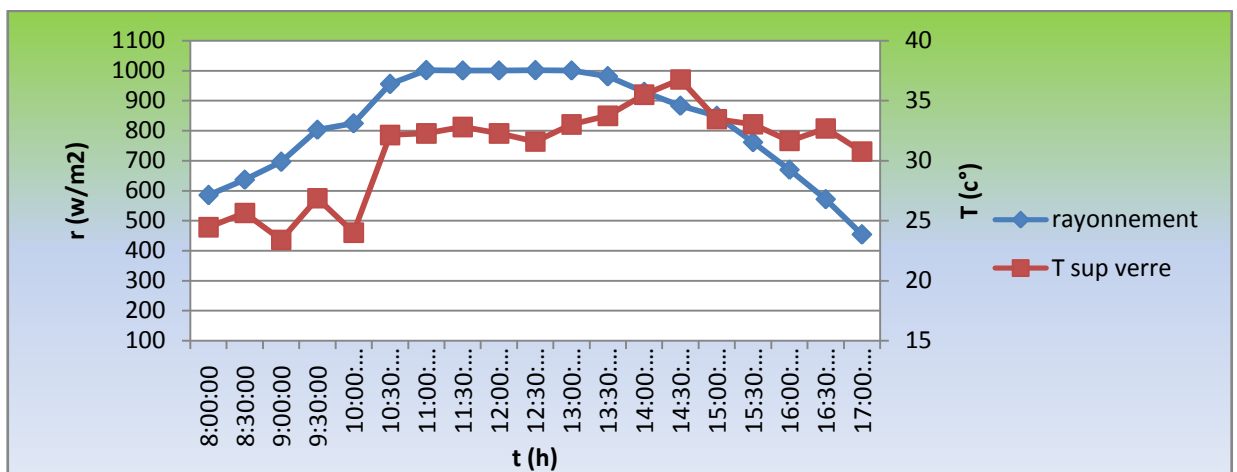
III-2 Analyse et interprétation des résultats expérimentaux :

III-2-1 Effet du rayonnement solaire sur la température externe du mur :

Les 3 courbe (Figure III-1-2-3) représente la variation de température externe du mur et l'intensité du rayonnement solaire en fonction du temps correspondant les journées du 29 Avril , 03 Mai et 07 Mai 2018 .



**Figure III-1:Variation de température externe et rayonnement en fonction du temps.
29 Avril 2018**



**Figure III-2:Variation de température externe et rayonnement en fonction du temps.
03 Mai 2018**

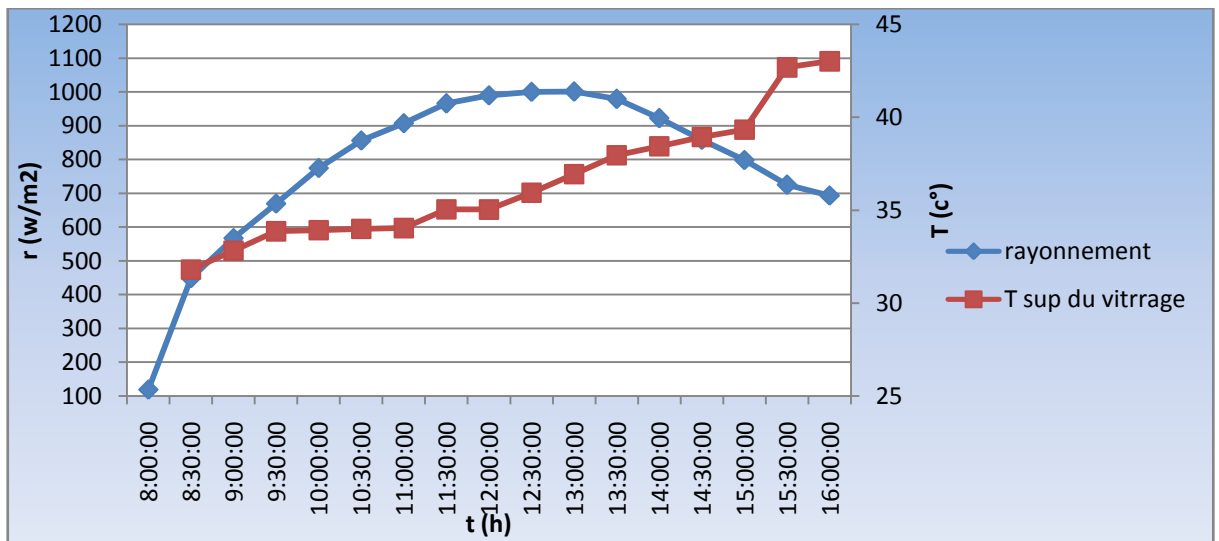


Figure III-3: Variation de température externe et rayonnement en fonction du temps 07 Mai 2018.

La tendance des valeurs expérimentales minimales ,maximales et moyennes sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau III-1: Le tableau représente les valeurs de rayonnement et de la température sur un verre de la journée 29 Avril ,03Mai et 07 Mai 2018

journée	Rayonnement			T sur du verre		
	min	moye	Max	Min	Moye	Max
29Avr2018	450	725	1000	36.66	42.36	46.83
03Mai2018	453	726	1000	23.39	30.76	36.76
07Mai2018	119	559	1000	31.80	37.95	43.93

III-2-2 Effet de la vitesse du vent sur la température externe du mur :

Les 3 courbe (Figure III-4-5-6) représente la variation de la température externe du mur et de la vitesse de vent en fonction du temps correspondant aux journées du 29 Avril , 03 Mai et 07 Mai 2018 On remarque sur la courbe la diminution des températures de la face supérieure du capteur (vitre) en fonction de l'augmentation de la vitesse du vent et la diminution de rayonnement solaire

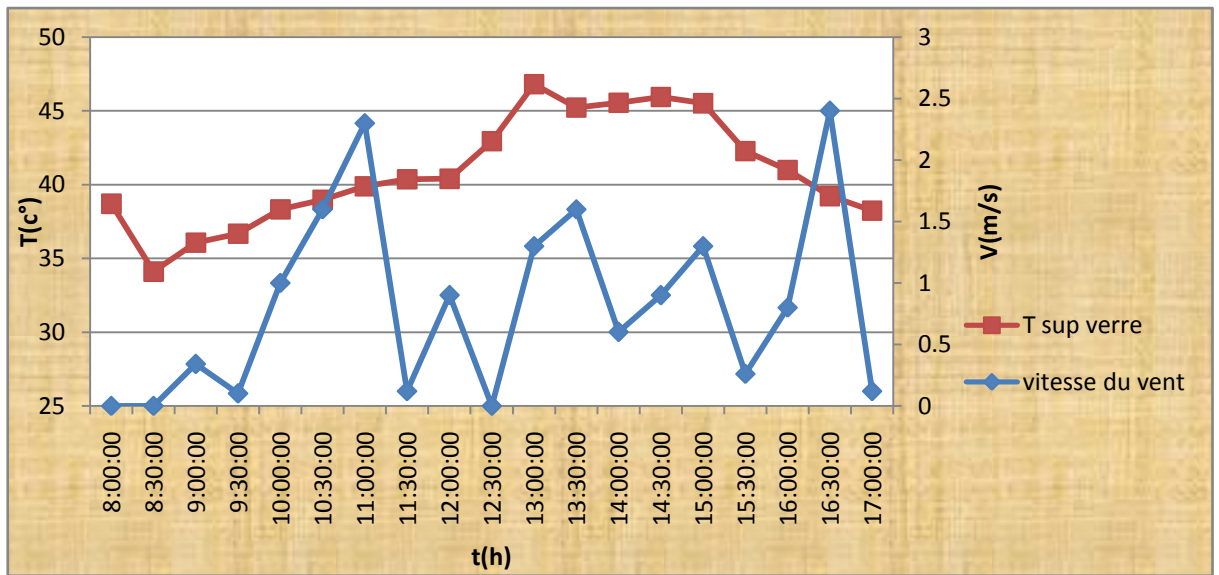


Figure III-4: Variation de température externe et vitesse de vent en fonction du temps

29 Avril 2018

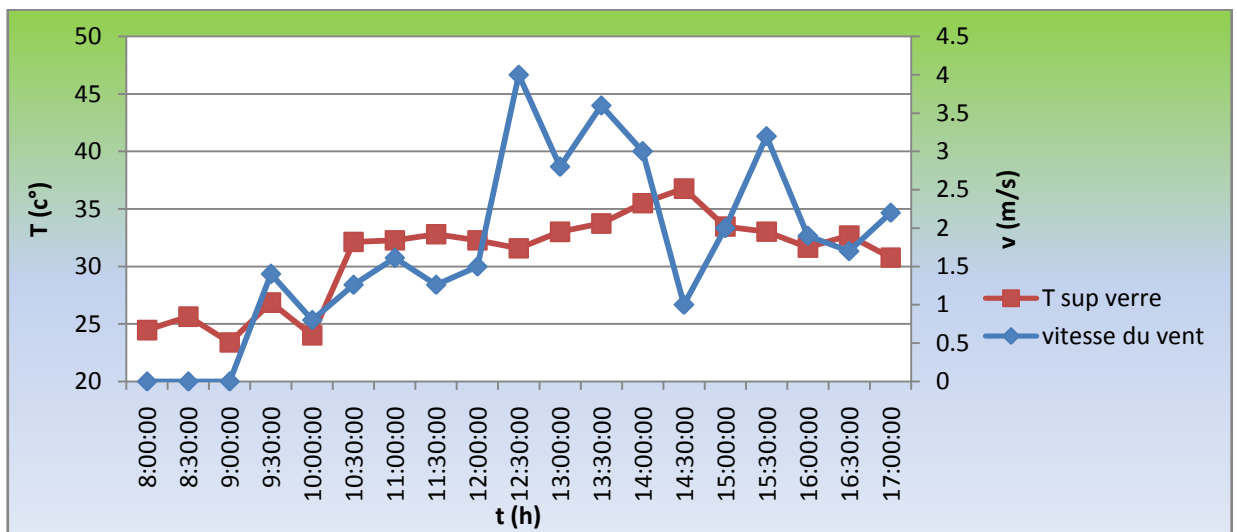
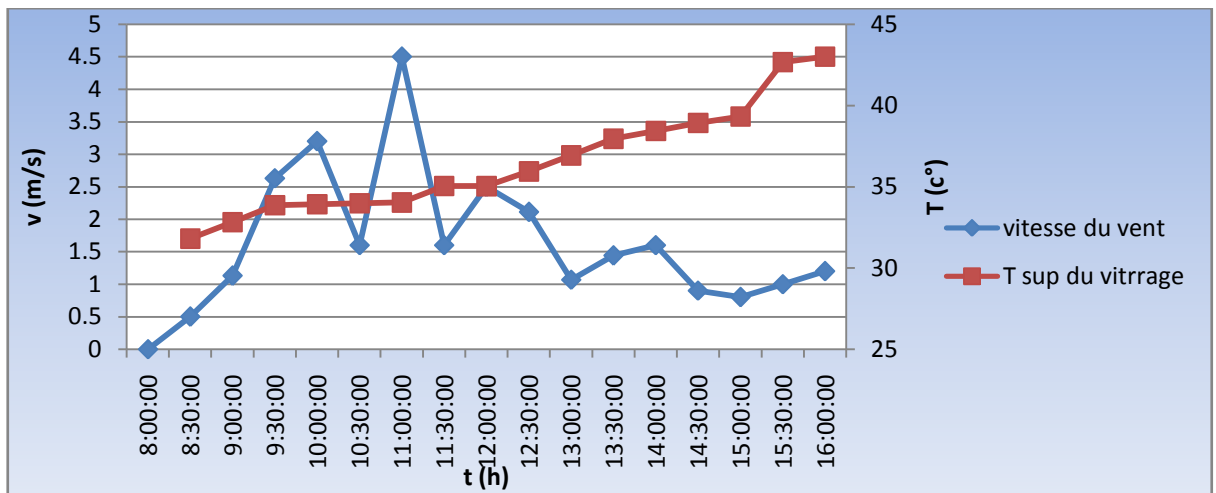


Figure III-5: Variation de température externe et vitesse de vent en fonction du temps

03 Mai 2018



**Figure III-6: Variation de température externe et vitesse de vent en fonction du temps
07 Mai 2018**

La tendance des valeurs expérimentales minimales ,maximales et moyennes sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau III-2: Le tableau représente les valeurs de la vitesse du vent et de la température sur un verre de la journée 29 Avril ,03Mai et 07 Mai 2018

Journée	Vitesse du vent			T sur du verre		
	min	Moye	Max	min	Moye	Max
29Avr2018	0	0.8	1.6	36.66	42.36	46.83
03Mai2018	0	1.1	2.2	23.39	30.76	36.76
07Mai2018	0	2.25	4.5	31.80	37.95	43.93

III-2-3 L'effet du rayonnement sur les températures du mur :

Les 3 courbe (Figure III-7-8-9) représente la variation de température sur la surface de verre, laine de verre, et l'intérieur de mur et de l'intensité du rayonnement solaire en fonction du temps pour les journées typiques du 29 Avril , 03 Mai et 07 Mai 2018 On remarque que l'allure des courbes de différentes températures mesurées le long du capteur est identique à l'allure de la courbe du rayonnement solaire

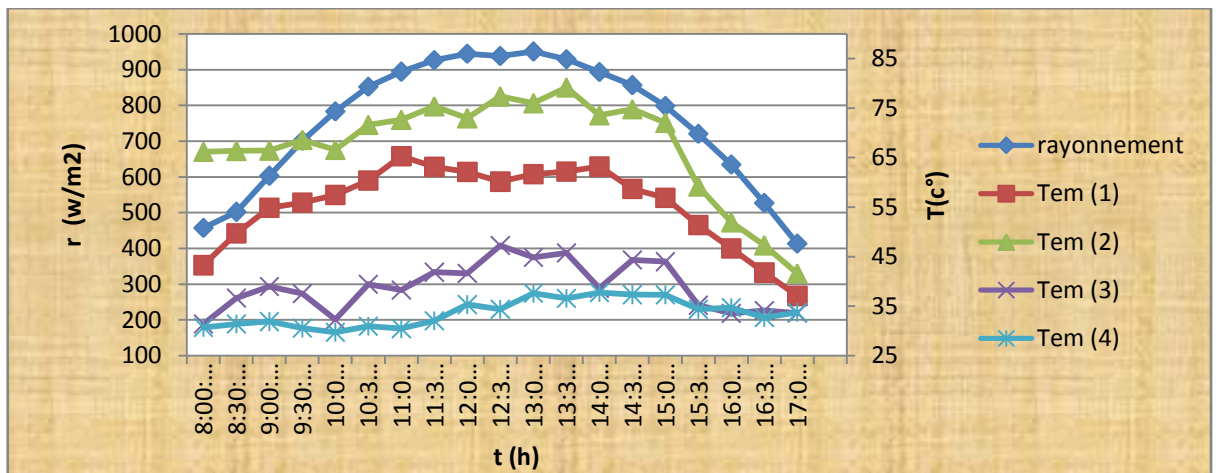


Figure III-7: Variation des différentes températures et l'intensité de rayonnement solaire en fonction du temps 29 Avril 2018

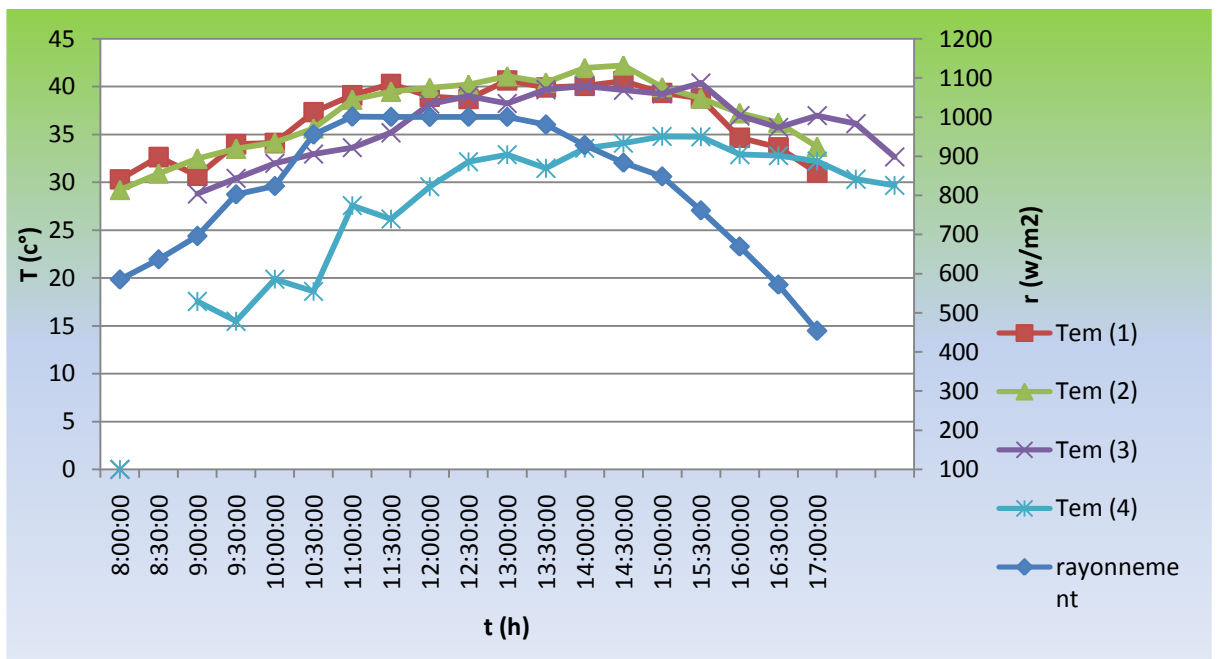


Figure III-8: Variation des différentes températures et l'intensité de rayonnement solaire en fonction du temps 03 Mai 2018

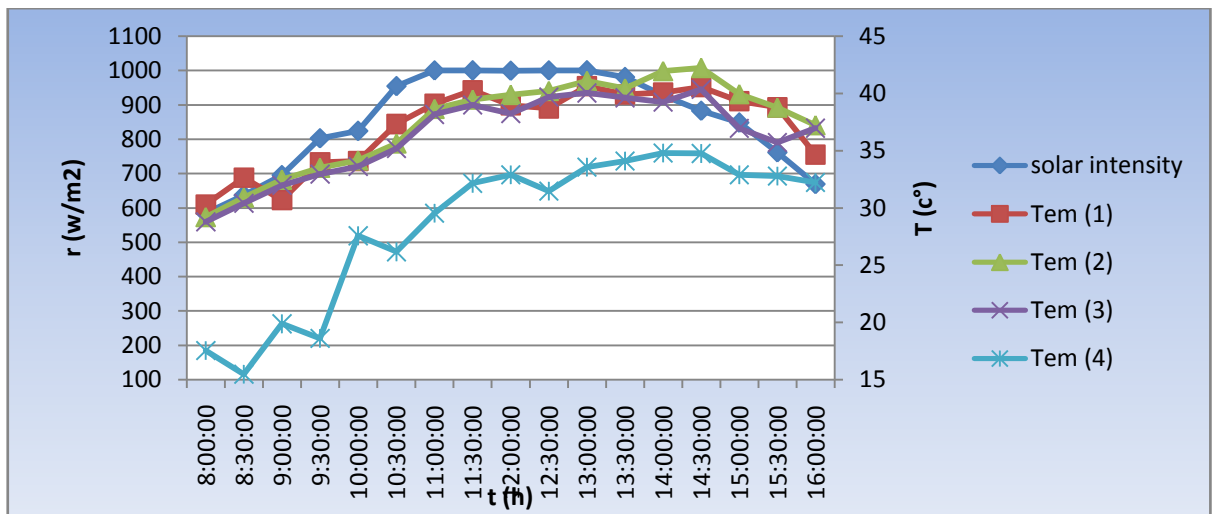


Figure III-9: Variation des différentes températures et l'intensité de rayonnement solaire en fonction du temps 07 Mai 2018

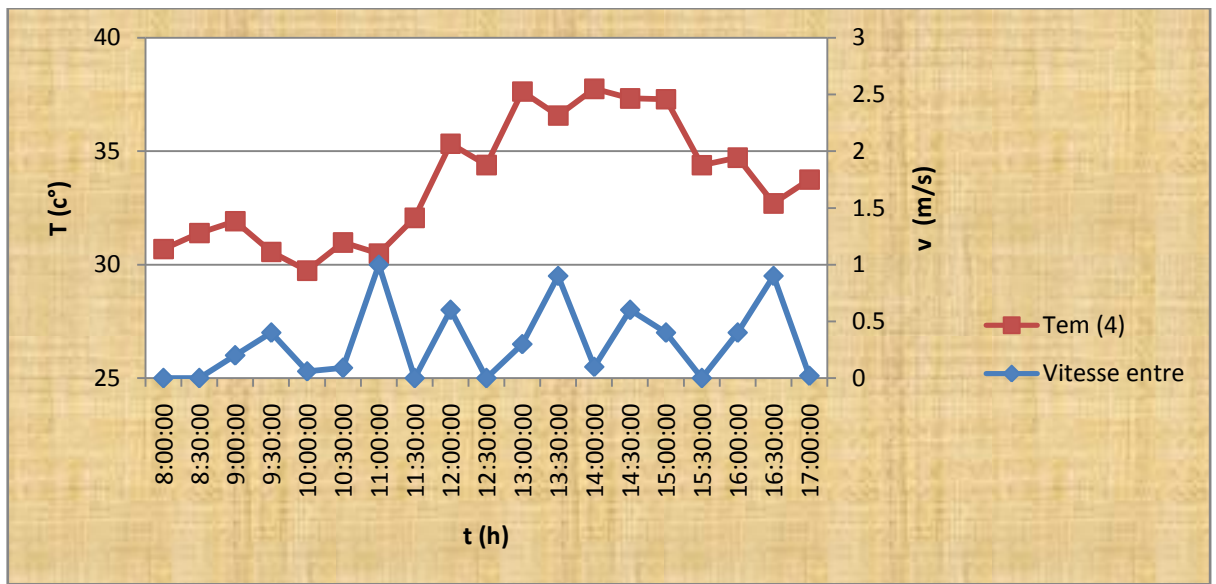
La tendance des valeurs expérimentales minimales ,maximales et moyennes sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau III-3: Le tableau représente les valeurs de Rayonnement et de la température du mur de la journée 29 Avril ,03Mai et 07 Mai 2018

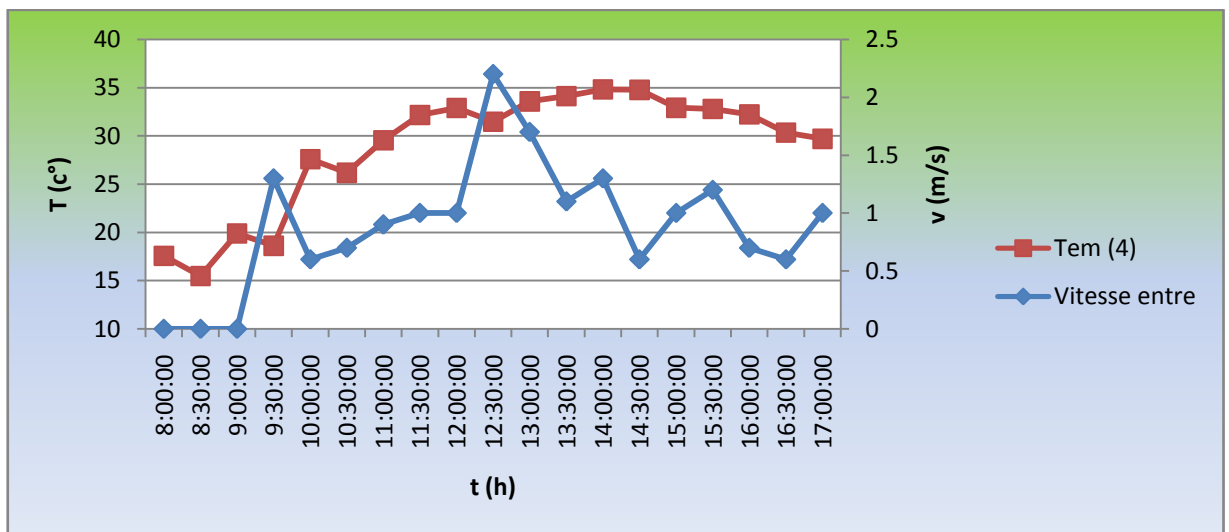
journée	Rayonnement			T1			T2			T3			T4		
	Min	moye	Max	min	moye	max	min	moye	max	Min	moye	max	Min	moye	Max
29Avr2018	450	725	1000	37	51	65	41	60	79	31	39	47	29	33	37
03Mai2018	453	726	1000	30	35	40	29	35.5	42	28	34	40	15	24.5	34
07Mai2018	119	559	1000	30	39.5	49	45	52	59	27	38	49	22	30.5	39

III-2-4 L'effet de la vitesse de entrée sur les températures du La chambre :

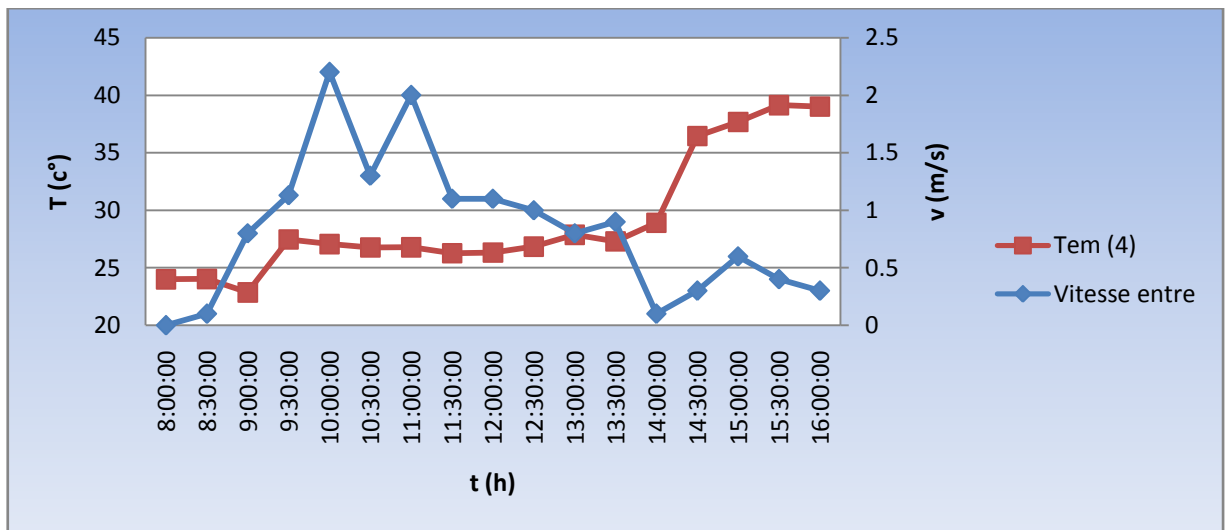
Les 3 courbe (Figure III-10-11-12) représentent la différence de température interne du mur (T4) et la vitesse entre en fonction de la météo correspondante pour les jours du 29 avril, 3 mai et 7 mai 2018. Remarque sur la courbe lorsque la vitesse augmente entre l'augmentation des températures (T4)



**Figure III-10: Variation de la vitesse de entrée sur les températures du La chambre
29 Avril 2018**



**Figure III-11: Variation de la vitesse de entrée sur les températures du La chambre
03 Mai 2018**



**Figure III-12: Variation de la vitesse de entrée sur les températures du La chambre
07 Mai 2018**

La tendance des valeurs expérimentales minimales ,maximales et moyennes sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau III-4: Le tableau représente les valeurs de vitesse entre et de la température

Journée	Vitesse entre			T 4		
	min	moye	Max	min	Moye	Max
29Avr2018	0	0.5	1	29	33	37
03Mai2018	0	1.1	2.2	15	24.5	34
07Mai2018	0	1.1	2.2	22	30.5	39



Conclusion Générale :

Conclusion Générale :

Conclusion Générale :

Cette étude nous a permis d'étudier l'effet de PMR sur les performances thermiques d'un capteur solaire plan

La méthodologie de travail est basée sur l'étude de l'influence de l'isolation par laine de verre sur la température intérieure du capteur solaire plan, pour cela nous avons mesuré les variations des paramètres opératoires de l'expérience

Les principaux résultats obtenus montrent que :

Une augmentation progressive par rapport à la température et à la vitesse du vent, et à la deuxième heure après le méridien, on remarque une diminution de la température avec la fluctuation de la vitesse du vent, car la vitesse du vent affecte la température de l'air

une augmentation de l'émission de rayonnement solaire en période matinale, acceptée par une élévation de température au niveau de la laine de verre, qui atteint environ 40 degrés Celsius avec une lente augmentation de la température au niveau intérieur de la pièce T4 malgré une diminution de l'émission de rayonnement solaire au niveau de la surface extérieure nous notons que la température du milieu intérieur est beaucoup plus basse par rapport à la température de la surface extérieure, et avec cela nous concluons que l'isolant thermique (laine de verre) a un grand effet sur la diminution de la température de l'environnement interne

Une légère augmentation de la température interne et des fluctuations causées par la vitesse de l'air à l'intérieur où l'augmentation de la vitesse de l'air à basse température et cela montre que la laine de verre doit être inerte avec le lame d'air.

Une augmentation de la température jusqu'à la fin de la soirée car la vitesse du vent n'affecte que le matin.

Bibliographie

- [1] Rapport d'avancement d'étude du CSTB, Projet Prébat, Méthode d'évaluation des performances thermiques des produits réfléchissants (été, hiver), 13 juin 2007
- [2] Meukam, P., *Valorisation des briques de terre stabilisées en vue de l'isolation thermique de bâtiments*. Université de Yaoundé I, 2004(5.00)
- [3] ROUX, M.J.-J., *Nada CHAMI*, 2009, Citeseer.
- [4] Frédéric MIRANVILLE. Modélisation, Expérimentation et Validation Expérimentale de Complexes de Toitures incluant des Produits Minces Réfléchissants en climat tropical humide.thèse doctorat. L'Université de La Réunion.P(302). Le 13 décembre 2002.
- [5] . Sotehi, N., *Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de L'isolation*. Univ. Mentouri-Constantine, 2010.
- [6] ABDELKRIM, F., *Etude de la convection naturelle thermique dans une enceinte fermée*, 2018, Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila.
- [7] Pierre Belleoud. Etude de la convection naturelle turbulente en cavité verticale différentiellement chauffée : Analyse des structures et des transferts turbulents, thèse doctorat DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE MÉCANIQUE ET D'AÉROTECHNIQUE.7 août 2006.p11.
- [8] LETTRE D'INFORMATION - N°52 isolant mince réfléchissant PDF.
- [9]. G.DE Vahl Davis, "laminar natural convection in an enclosed rectangular cavity vol.1 L, pp.1675-1693 Int. J. Heat Mass Transfer, 1960
- [10] G. De Vahl Davis, C.F. Kettleborough, Natural Convection in an Enclosed Rectangular Cavity, Trans. I. E. Aust., MC1, 43-49, 1968.
- [11]M.J. Stewart and F.Weinberg." Fluid flow in liquid metals. Thoracel analysis, J.Crystal Growth. 12,217-227, 1972.
- [12] J.Patterson and J.Imberger, "unsteady natural convection in a rectangular cavity", J.Fluid, vol.100, pp.65-86, 1980.
- [13] Markatos and Pericleous, laminar and turbulent natural convection in an enclosed cavity, I.J.H.M. vol.27N°5, 1984.
- [14] JM.Hyun and J.W.Lee, "numerical solution for transient natural convection in a square cavity with different sidewall temperatures", Int.J.Heat and fluid flow, vol.10,N°2,1989.
- [15] R.A.W.M.Henkes and C.J.Hoogendoorn, "scaling of the turbulent natural convection in a heated square cavity", Int.J.Heat Mass Transfer.vol, 116, 1994.
- [16] G. De Vahl Davis, Natural convection of air in a square cavity: A benchmark numerical solution, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 3, pp. 249_264, 1983.
- [17] P.Le.Quéré, "étude de la transition à l'instationnarité des écoulements de convection naturelle en cavité verticale différentiellement chauffée par méthode spectrale Chebyshev", thèse de doctorat en sciences physiques université de Poitiers, 1987.

- [18] boukraa moustafa. Étude de la convection naturelle dans une cavité inclinée. Mémoire de magister university du houari Boumediene 12/01/2012.
- [19] M.R.Ravi, R.A.W.M.Henkes and C.J.Hoogendoorn, "on the high Rayleigh number structure of steady laminar natural-convection flow in a square enclosure", J.Fluid Mech, vol.262, pp.325-351, 1994.
- [20] VIVIANA. C. M, IVAN. M. B, Numerical studies of natural convection in a square cavity. Thermal Engineering, Vol. 5 - N° 01, 2006.
- [21] J P.Le Quéré and Behnia, "from onset of unsteadiness to chaos in differentially heated square cavity", rapport interne du LIMSI, 94-02, 1994.
- [22] S. Xin, P. Le Quéré, Direct numerical simulations of two-dimensional chaotic natural convection a differentially heated cavity of aspect ratio 4, Journal of Fluid Mechanic, 304, pp. 87-118, 1995.
- [23] R.J.A.Janssen and R.A.W.M.Henkes, "influence of Brandt number on instability mechanism and transition in a differentially heated square cavity", J.Fluid Mech, vol.290, pp.319-344, 1995.
- [24] D.R.Chenoweth and Paolucci, "natural convection in an enclosed vertical air layer with large horizontal temperature differences", J.Fluid Mech, vol, pl. 169,pp. 173-210,1986.
- [25] R.A.Kuyper, C.J.Hoogendoorn and R.A.W.M.Henkes, "numerical study of laminar and turbulent natural convection in an inclined square cavity", Int J.Heat Mass Transfer.vol.36,N011 ,pp.2899-2911,1993.
- [26] J.L. Wright, A correlation to quantify convective heat transfer between vertical window glazings, ASHRAE Trans; 102 (1) (1996) 940-946, 1996.
- [27] [Zhao, 1997, 2] Y. Zhao, D. Curcija, W.P. Goss, Prediction of the multicellular flow regime of natural convection in fenestration glazing cavities, ASHRAE Transactions: Symposia 1009-1020, 1997.
- [28] S.M. ElSherbiny, Free convection in inclined air layers heated from above, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 39, No.18, 3925-3930, 1996.
- [29] A. Osorio , R. Avila , J. Cervantes,On the natural convection of water near its density inversion in an inclined square cavity, International Journal of Heat and Mass Transfer 47 - 4491–4495, 2004.
- [30] R. Zarrit, M.S. Boumaza, S. Kherrou et B. Dadda. Convection naturelle dans une cavité rectangulaire inclinée de différents rapports de forme 25 Mars 2016.
- [31] H. Wang .M.S .Hamed Flow mode-transition of natural convection in inclined rectangular enclosures subjected to bidirectional temperature gradients, International Journal of Thermal Sciences 45 (2006) 782–795, 2005.
- [32] A. Bari, Nusselt–Rayleigh correlations for design of industrial elements: Experimental and numerical investigation of natural convection in tilted square air filled enclosures, Energy Conversion and Management 49 - 771–782, 2008.

[33] SEHAILIA MOHAMED ET FETNI MEBARKA. Etude des écoulements de convection naturelle. MEMOIRE MASTER Génie Mécanique 04/06/2016.

[34] O.Vandooren. G. Flamant .Quelles performances thermiques offrent les produits minces réfléchissants. Cet article est également paru dans le CSTC-contact. Roof Belgium .n°2. Aout 2005.

Annexe



La station d'acquisition de données type NI cDAQ-9174



**THERMO-
ANEMO A
HELICE**



L'ANEMOMETRE



SOLARI-METRE



**THERMO
HYGROMETER
HANNA-HI9565**

Annexe A

Mesure de variables physiques expérimentales

Les tableaux suivants contiennent le rayonnement solaire et la température ambiante et l'humidité et la vitesse du vent et la vitesse entrée et sortie et Température de l'appareil expérimental :

- **T0** : Au-dessus du verre.
- **T1** : Sous le verre.
- **T2** : Au-dessus de la laine de verre.
- **T3** : Sous la laine de verre.
- **T4** : Au-dessus du polystyrène.
- **T5** : Sous le dispositif expérimental.

Time	rel, Humidity	Température amb	solar intensity	Vitesse entre	Vitesse sortie	vitesse du vent	Tem (5)	Tem (4)	Tem (3)	Tem (2)	Tem (1)	Tem (0)
t/min	rH/%	T/°C	W/m ²	v/m/s	v/m/s	v/m/s	T/°C	T/°C	T/°C	T/°C	T/°C	T/°C
08:00:00	33,14	24,19	457,7992971	0	0	0	32,508432	30,686149	31,39826	66,21251	43,276423	38,705948
08:30:00	29,23	27,25	501,9454194	0	0	0	29,398086	31,39826	36,672697	66,37128	49,715657	34,10274
09:00:00	25,17	29,31	602,9199992	0,2	0,19	0,34	39,638303	31,91094	38,985679	66,431932	54,877552	36,071006
09:30:00	23,51	31,19	700,9568965	0,4	0,01	0,1	32,252184	30,560833	37,568936	68,617465	55,915486	36,672697
10:00:00	21,45	32,44	783,658132	0,06	0,02	1	34,087162	29,737849	32,280819	66,619725	57,467154	38,332327
10:30:00	19,59	34,19	852,1836984	0,09	0,06	1,6	36,229496	30,97979	39,421567	71,632086	60,388539	38,985679
11:00:00	18,71	35,13	893,9849962	1	0,8	2,3	34,670606	30,481945	38,259369	72,667804	65,289282	39,892168
11:30:00	17,49	35,25	926,8549512	0	0	0,12	35,949575	32,062904	41,856052	75,402824	63,160568	40,368233
12:00:00	16,02	38,06	944,7046287	0,6	0,3	0,9	36,291588	35,326864	41,634827	72,975089	62,134493	40,400967
12:30:00	15,29	38,19	938,1984321	0	0	0	38,93073	34,391568	47,252289	77,358947	60,159604	42,951003
13:00:00	14,31	39,25	950,5073968	0,3	0,01	1,3	37,950092	37,628155	44,863664	76,014752	61,685899	46,820433
13:30:00	14,55	38,38	929,5933083	0,9	0,6	1,6	34,701101	36,572173	45,753797	79,210252	62,18595	45,225979
14:00:00	13,57	39,06	893,3272018	0,1	0,07	0,6	36,90568	37,747937	38,634421	77,58618	63,197525	45,562129
14:30:00	13,82	38,31	856,5416354	0,6	0,2	0,9	34,770912	37,325223	44,347032	74,811426	58,693456	45,949257
15:00:00	13,57	38,25	798,6031658	0,4	0,1	1,3	34,717636	37,285828	43,992043	72,061159	56,905914	45,520675
15:30:00	13,82	37	720,5956459	0	0	0,26	32,987462	34,386029	35,210136	59,191125	51,415735	42,284258
16:00:00	12,84	37,19	634,6941688	0,4	0,2	0,8	31,939398	34,713543	33,569238	51,943216	46,666599	41,003399
16:30:00	11,86	36,13	527,1804186	0,9	0,6	2,4	31,285243	32,699764	34,139193	47,287167	41,797587	39,231257
17:00:00	12,11	36,06	413,4724996	0,02	0,01	0,12	30,911783	33,752733	33,619357	41,625046	37,070822	38,234682

Tableau 1: 29 Avril 2018

Time	rel, Humidity	Température amb	solar intensity	Vitesse entre	Vitesse sotie	vitesse du vent	Tem (5)	Tem (4)	Tem (3)	Tem (2)	Tem (1)	Tem (0)
t/min	rH/%	T/°C	W/m ²	v/m/s	v/m/s	v/m/s	T/°C	T/°C	T/°C	T/°C	T/°C	T/°C
08:00:00	34,56	19,31	585,1079	0	0	0	22,802717	17,550827	28,799559	29,218924	30,309412	24,459493
08:30:00	32,16	20,25	636,6943	0	0	0	24,310742	15,474462	30,420821	30,92212	32,649491	25,637491
09:00:00	28,79	21,06	695,9369	0	0	0	22,420322	19,882954	31,985245	32,473435	30,689109	23,396224
09:30:00	23,7	23,19	802,8984	1,3	0,6	1,4	24,608427	18,606246	32,959276	33,512689	33,987827	26,86291
10:00:00	20,42	24,38	882,42	0,6	0,3	0,8	24,59765	27,577218	33,63219	34,164444	34,113677	23,999412
10:30:00	18,22	25,06	955,1424	0,7	0,4	1,26	26,160867	26,174996	35,191543	35,636937	37,339627	32,135262
11:00:00	14,99	27	1015,914	0,9	0,6	1,61	25,897841	29,53889	38,175304	38,657749	39,107206	32,267808
11:30:00	15,09	27,13	1052,482	1	0,6	1,26	27,84233	32,16109	38,999758	39,470699	40,27192	32,803956
12:00:00	14,36	28,31	1073,122	1	0,8	1,5	27,553847	32,896528	38,247005	39,883445	38,971557	32,270363
12:30:00	13,33	28,44	1083,823	2,2	1,6	4	28,406877	31,472054	39,708591	40,233885	38,707114	31,91583
13:00:00	12,65	29	1073,405	1,7	1	2,8	28,786361	33,574502	40,04716	41,088616	40,649485	33,016999
13:30:00	13,09	29,06	980,615	1,1	0,6	3,6	29,297734	34,106341	39,634998	40,453181	39,919395	33,735213
14:00:00	13,09	30,25	928,2749	1,3	0,6	3	29,588754	34,810087	39,258049	41,971472	40,09339	35,501646
14:30:00	12,11	32,31	883,4252	0,6	0,3	1	30,871281	34,76431	40,371701	42,236395	40,576335	36,769783
15:00:00	12,01	32	848,2728	1	0,8	2	29,282504	32,907424	36,95867	39,955258	39,343552	33,464024
15:30:00	12,65	31,44	761,8427	1,2	0,6	3,2	29,680073	32,785184	35,728952	38,769257	38,788154	33,027551
16:00:00	13,09	29,8	669,46	0,7	0,4	1,9	29,523885	32,224356	36,971373	37,23295	34,659147	31,647867
16:30:00	13,18	29,44	571,7347	0,6	0,2	1,7	29,358766	30,336532	36,133115	36,241759	33,675201	32,691231
17:00:00	13,09	29,2	453,766	1	0,6	2,2	28,408515	29,690987	32,666777	33,739526	31,011216	30,762797

Tableau 2: 03 Mai 2018

Time	rel, Humidity	Température amb	solar intensity	Vitesse entre	Vitesse sotie	vitesse du vent	Tem (5)	Tem (4)	Tem (3)	Tem (2)	Tem (1)	Tem (0)
t/min	rH/%	T/°C	W/m ²	v/m/s	v/m/s	v/m/s	T/°C	T/°C	T/°C	T/°C	T/°C	T/°C
08:00:00	32,16	24,19	119,1634	0	0	0	26,012547	24,001247	27,547892	45,236582	30,987546	31,804438
08:30:00	30,21	26,19	448,8635	0,1	0	0,5	26,523511	24,028713	27,771386	45,347254	31,030881	32,820411
09:00:00	27,03	28,38	566,8609	0,8	0,13	1,13	27,61316	22,859785	27,72912	50,58802	33,086897	33,861121
09:30:00	22,38	31,13	669,2227	1,13	0,8	2,63	30,657652	27,460291	36,78456	48,870109	40,401893	33,922836
10:00:00	18,71	32,25	774,6279	2,2	0,9	3,2	31,803695	27,059078	39,238655	48,619571	43,930374	33,98696
10:30:00	17,1	33,25	856,2195	1,3	0,7	1,6	31,650613	26,777054	41,515541	47,360492	42,665589	34,035553
11:00:00	15,29	34,19	907,5399	2	1,3	4,5	32,71549	26,78859	44,076867	48,90649	41,711139	35,046314
11:30:00	13,82	35,19	965,4067	1,1	0,9	1,6	33,551703	26,274336	44,909048	48,644754	43,615309	35,035933
12:00:00	12,99	35,38	989,5239	1,1	0,6	2,5	33,959064	26,324726	45,717242	48,94308	43,668992	35,944001
12:30:00	12,11	36,31	1001,11	1	0,5	2,11	35,608866	26,84428	46,659572	52,975228	49,398299	36,933671
13:00:00	11,13	37,25	1005,477	0,8	0,6	1,07	35,914109	27,868398	47,421039	52,769062	49,77166	37,954207
13:30:00	10,88	38,44	978,9063	0,9	0,4	1,44	36,702161	27,305538	49,049115	53,107598	46,476233	38,435049
14:00:00	10,64	38,13	921,9277	0,1	0,01	1,6	36,452752	28,905377	47,43892	51,85685	47,11013	38,934804
14:30:00	10,2	39,19	858,2066	0,3	0	0,9	37,457892	36,452752	47,998594	50,25487	49,215478	39,329423
15:00:00	9,91	40,06	798,37	0,6	0,1	0,8	38,907564	37,677936	49,790871	53,900784	48,88521	42,681468
15:30:00	9,37	41,25	724,8581	0,4	0,09	1	40,856207	39,132195	49,24888	59,791433	49,07432	43,009426

16:00:00	8,68	42,19	692,8306	0,3	0,06	1,2	39,123458	39,012458	49,124587	59,212458	48,214578	43,939028
----------	------	-------	----------	-----	------	-----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Tableau 3: 07 Mai 2018

Résumé

L'objectif principal de cette étude est de tester la capacité d'isolation thermique (laine de verre) d'un bâtiment typique afin de connaître les propriétés thermiques de ce type de matériau.

En raison des conditions épidémiologiques (problème Covid 19) qui nous ont empêché de faire des mesures sur le protocole expérimental, nous avons pris les résultats de température, vitesse et ... que les maîtres ont obtenus en 2018 afin d'identifier les propriétés thermiques ou la capacité d'isolation thermique réelle de ce matériau là où la température est En mai, dans la région de Ouargla, elle dépasse les 35 ° C.

Cette étude a permis d'éclairer la capacité de l'isolation thermique (laine de verre) utilisée comme isolant, qui a un grand mérite sur le confort thermique dans un bâtiment situé dans une zone très chaude du sud de l'Algérie.

Mots clés Capacité d'isolation thermique, confort thermique, les fibres de palmier dattier.

Abstract

The main objective of this study is to test the thermal insulation capacity (glass wool) covering a typical building in order to know the thermal properties of this type of material.

Due to the epidemiological conditions (Covid 19 problem) that prevented us from making measurements on the experimental protocol, we took the results of temperature, velocity and ... that the masters obtained in 2018 in order to identify the thermal properties or the actual thermal insulation capacity of this material where the temperature is In May, in the Ouargla region, it exceeds 35 ° C.

This study enabled to shed light on the ability of thermal insulation (glass wool) used as an insulator, that it has great merit on the thermal comfort in a building located in a very hot area in southern Algeria.

Keywords: Thermal insulation capacity, thermal comfort, the date palm fibers.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو اختبار قدرة العزل الحراري (الصوف الزجاجي) المغطية لبناء نموذجي من أجل معرفة الخصائص الحرارية لهذا النوع من المواد.

نظراً للظروف الوبائية (مشكلة كوفيد 19) التي منعتنا من إجراء قياسات على البروتوكول التجريبي ، فقد أخذنا نتائج درجة الحرارة والسرعة و ... التي حصل عليها الماجستير في عام 2018 وذلك للتعرف على الخصائص الحرارية أو قدرة العزل الحراري الفعلية لهذه المادة حيث تكون درجة الحرارة في شهر مايو، في منطقة ورقلة، تتجاوز 35 درجة مئوية.

مكنت هذه الدراسة من تسليط الضوء على قدرة العزل الحراري (الصوف الزجاجي) المستخدم كعازل، ان له فضل كبير على الراحة الحرارية في بناء يقع في منطقة ساخنة جدا في الجنوب الجزائري..

