



**Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et  
Renouvelables**  
**The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable  
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



# L'Apport de l'Emissivité Thermique, Cas d'un Mur Type Opaque Muni de Cavités d'Air

S.M.A. Bekkouché<sup>1</sup>, T. Benouaz<sup>2</sup>, M.K. Cherier<sup>1</sup>, M. Hamdani<sup>1</sup>, M.R. Yaiche<sup>3</sup> et N. Benamrane<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER,  
B.P. 88, ZI, Garet. Taam Ghardaïa, Algérie.  
[smabekkouché@yahoo.fr](mailto:smabekkouché@yahoo.fr)

<sup>2</sup> Laboratoire de Physique Electronique et Modélisation, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen,  
BP. 119, Tlemcen R.P. 13000, Algérie

<sup>3</sup> Centre de Développement des Energies Renouvelables CDER, BP 62, 16340  
Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie.

**Abstract** – L'enveloppe d'une construction a fait l'objet de nombreuses études tant du côté des scientifiques que des architectes: comportement des matériaux aux sollicitations extérieures et démarche de conception intégrant tous les aspects thermiques et énergétiques des matériaux de construction disposés en surface intérieure. Dans cet article, on détermine une des principaux paramètres qui influent sur la résistance thermique d'un mur muni de cavités d'air. Les calculs et les simulations numériques effectuées pour les différentes configurations étudiées ont donné des prédictions satisfaisantes. La résistance d'une cavité d'air peut être équivalente à une couche d'isolation thermique conventionnelle, avec une épaisseur qui dépend des caractéristiques du matériau de construction utilisé "l'émissivité thermique".

**Mots clés** – Cavité d'Air – Mur – Emissivité – Résistance Thermique – Epaisseur.

## I. INTRODUCTION

Avec les renforcements des normes, les recherches au niveau de la thermique du bâtiment se sont accentuées, en particulier l'isolation thermique de l'enveloppe qui joue un rôle important dans la maîtrise de la consommation d'énergie. En effet, une grande part des déperditions thermiques est liée aux pertes de chaleur à travers les murs, la toiture et le plancher. Pour cela, les recherches s'orientent principalement dans l'amélioration des performances thermiques des matériaux de construction existants sur le marché.

La résistance des matériaux de construction et les charges appliquées sur un bâtiment ont une certaine variabilité dont il faut connaître les caractéristiques. Le propos permet de comprendre que, si la qualité thermique des matériaux n'est pas contrôlée, leur variabilité étant alors inconnue. La résistance thermique d'une couche d'air est dépendante du type de couche d'air, de la direction du flux thermique à travers la couche d'air, de son épaisseur, de la géométrie et de la pente de la couche d'air, de l'émissivité des surfaces délimitantes et des possibilités de ventilation de la couche d'air. Suivant les cas, la résistance thermique de la couche d'air peut être déterminée soit avec précision par des essais ou des calculs soit à l'aide des valeurs par défaut qui peuvent être sélectionnées dans des tableaux [1].

La circulation d'air dans une cavité vide est généralement provoquée par un écart entre la température des parois. Catton [2], Yang [3] et Ostrach [4,5] ont réalisé une synthèse sur ce sujet où les résultats expérimentaux et de modélisations ont été présentés. D'après ces auteurs, deux types d'écoulement sont générés par les forces de flottabilité. Le premier type d'écoulement est appelé "convection conventionnelle" qui se produit lorsque le gradient de densité (qui est dû à un gradient de température ou de concentration) est perpendiculaire au champ de pesanteur. Dans ce cas, la convection démarre sans seuil. C'est typiquement le cas lorsqu'une paroi verticale d'une cavité rectangulaire est chauffée et celle située en face est refroidie. Le deuxième type d'écoulement est appelé "convection instable"; il se produit lorsque le gradient de densité est parallèle mais opposé au vecteur de gravité. Ce type d'écoulement est observé quand la paroi horizontale du bas est chauffée et celle du haut est refroidie. Un mouvement de convection n'apparaît alors qu'à partir d'un certain écart de température.

Ce travail apporte des études sur certains paramètres cruciaux (l'émissivité et l'épaisseur de la cavité d'air) qui influent sur la résistance thermique des matériaux dont les cavités d'air sont soumises à des transferts par convection naturelle. On tient compte des axes de symétrie en supposant chaque fois que le transfert est unidirectionnel et perpendiculaire ces axes.

## II. MECANISME DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UNE CAVITE D'AIR D'UN ELEMENT DE CONSTRUCTION

L'apparition de nouvelles exigences qualitatives sur notre environnement, a conduit les architectes à se réintéresser aux matériaux et à leur mise en œuvre. Ces recherches s'accompagnent d'une prise en compte des nouveaux facteurs de notre économie, par exemple le coût écologique et le choix des matériaux de construction. L'intensité du flux de chaleur dépend de sa direction, de la différence de température, de la nature et de l'épaisseur des matériaux.

Dans notre cas, la résistance thermique de la cavité n'est pas calculée séparément mais est déjà comprise dans la valeur équivalente de l'élément de construction dans lequel cette



cavité ou ce creux sont présents. Les valeurs de la résistance thermique des cavités d'air traitées dans cet article sont applicables aux couches d'air répondant à certaines conditions:

- la cavité doit être délimitée par deux plans parallèles qui sont perpendiculaires à la direction du flux thermique et dont les surfaces sont non réfléchissantes ( $\epsilon = 0.9$ ).
- la couche d'air doit avoir une épaisseur (mesurée dans la direction du flux thermique) qui ne dépasse pas 300 mm;
- il ne doit y avoir aucune possibilité d'échange d'air entre la couche d'air et l'environnement intérieur.

Il est connu donc que l'intensité du rayonnement thermique provenant d'une surface dépend non seulement de la température de cette surface, mais aussi de son émissivité. D'une façon générale, la plupart des corps sont de bons émetteurs de rayonnement thermique, c'est-à-dire qu'ils rayonnent facilement de la chaleur sous forme d'énergie radiante infrarouge. L'émissivité d'un corps mesure son aptitude à émettre un rayonnement thermique. La plupart des matériaux de construction ont une émissivité de 0,9 environ, ce qui signifie qu'ils rayonnent 90% du maximum théorique d'énergie radiante correspondant à une température donnée.

Les figures 1 et 2 décrivent explicitement les mécanismes de transfert de chaleur dans une cavité d'air d'un matériau de construction. Ce sont des résultats qui ont été approuvés par Sivert Uvsløkk et Heidi Arnesen [6-8]. Les conditions principales pour les calculs sont les suivantes:

- L'épaisseur totale de l'élément de construction (isolation classique + cavité d'air) est constante égale à 200 mm.
- La conductivité thermique de l'isolation conventionnelle est 0.037 W/mK.
- Pas de fuites d'air à travers la cavité.
- Les températures intérieure et extérieure sont de l'ordre de 20 °C et 0 °C respectivement.

Cette étude prouve que l'utilisation d'un matériau de construction de faible émissivité diminue l'échange de chaleur entre les parois de ses cavités. Ceci peut être justifié par le fait que l'échange de chaleur par rayonnement est proportionnel à l'émissivité des surfaces intérieures. On peut tirer aussi selon cette étude que l'épaisseur de la cavité d'air n'influe pas sur le coefficient d'échange de chaleur par rayonnement.

Rappelons que le nombre de Grashof indique le rapport de la force de flottabilité à la force visqueuse agissant sur le fluide. En convection naturelle, le mouvement du fluide résulte d'un gradient de température ou/et de concentration qui engendre un gradient de masse volumique dans le fluide (poussée d'Archimède). La variation de la masse volumique peut être due à la présence d'un gradient de température (cas le plus courant) ou de concentration. Les vitesses et les intensités de transfert sont généralement beaucoup plus faibles que celles observées en convection forcée. D'ailleurs, quand il est souhaitable de réduire au minimum l'intensité des

transferts thermiques ou de réduire au minimum des frais d'exploitation, la convection naturelle est souvent préférée à la convection forcée [9].

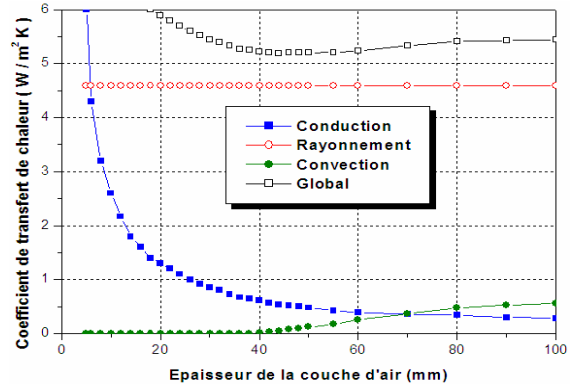


Fig. 1. Coefficient de chaleur estimé en fonction de l'épaisseur de la cavité d'air. Cas d'un matériau de construction ordinaire  $\epsilon = 0.9$ .

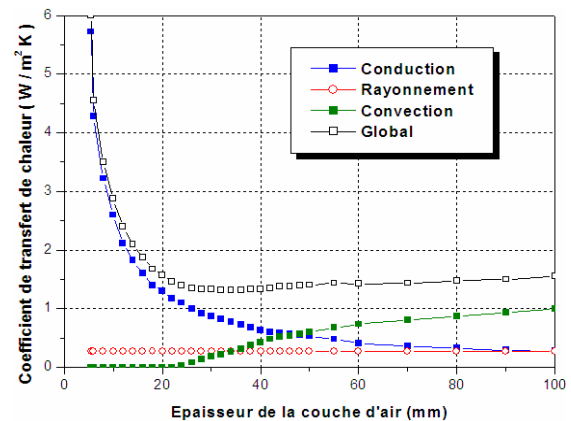


Fig. 2. Coefficient de chaleur estimé en fonction de l'épaisseur de la cavité d'air. Cas d'une cavité délimitée par un matériau réfléchissant  $\epsilon = 0,05$ .

Le nombre de Grashof  $Gr$  est un nombre sans dimension utilisé pour caractériser la convection libre dans un fluide. Il correspond au rapport des forces de gravité sur les forces visqueuses. On le définit de la manière suivante [10].

$$Gr = \frac{L^3 \rho^2 g \beta \Delta\theta}{\mu^2} \quad (1)$$

- $\rho$ : densité volumique ( $\text{kg/m}^3$ )
- $g$ : accélération de la pesanteur ( $\text{m/s}^2$ ).
- $\beta$ : coefficient de dilatation égale à environ  $1/T$  pour les fluides idéaux, où  $T$  est la température absolue.
- $\Delta\theta$ : différence de température entre le fluide et la paroi (K)
- $L$ : longueur (m)
- $\mu$ : viscosité dynamique (Pa s).

Pour calculer une résistance thermique convective, nous devons calculer d'abord le coefficient de transfert convectif  $h$



## Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

### The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



à partir de la corrélation donnée par Catton (tableau 1). Le nombre de Rayleigh est un unique paramètre qui suffit à caractériser l'existence et la vigueur de la convection. Ce nombre correspond au rapport des phénomènes moteurs, comme la poussée d'Archimède, et des phénomènes résistants, comme la diffusion de la chaleur ou les frottements visqueux. La convection s'amorce lorsque Ra dépasse une valeur critique. Tant que le Ra d'un système reste inférieur à 1000, seuil critique, l'immobilité de ce fluide persiste, quel que soit ce fluide

### III. TRANSFERTS DE CHALEUR PAR CONVECTION DANS UNE CAVITE RECTANGULAIRE

Une recherche bibliographique [10] a montré que dans le cas de la convection naturelle dans une cavité remplie d'air, pour  $Ra < 10^3$ , le mode de transfert de chaleur dominant est la conduction. L'augmentation du nombre de Rayleigh Ra intensifie la circulation d'air en boucle dans la couche limite près des parois verticales. L'écoulement passe ensuite du régime laminaire ( $10^3 < Ra < 10^9$ ) au régime turbulent ( $Ra > 10^9$ ) ce qui s'accompagne d'un accroissement significatif du nombre de Nusselt.

TABLEAU I  
CORRELATION EMPIRIQUE DES TRANSFERTS DE CHALEUR PAR CONVECTION DANS UNE CAVITE RECTANGULAIRE VIDE

Corrélation	Domaine de validité	Auteurs
$Nu = 0.18 \left( \frac{Pr}{0.2 + Pr} Ra \right)^{0.29}$	$1 < H/L < 2$ $10^{-3} < Pr < 10^5$ $10^3 < \frac{Ra Pr}{0.2 + Pr}$	Catton
$Nu = 0.22 \left( \frac{Pr}{0.2 + Pr} Ra \right)^{0.28} \left( \frac{H}{L} \right)^{-1/4}$	$2 < H/L < 10$ $Pr < 10^5$ $10^3 < Ra < 10^{10}$	Catton
$Nu = 0.42 Ra^{1/4} Pr^{0.012} \left( \frac{H}{L} \right)^{-0.3}$	$10 < H/L < 40$ $1 < Pr < 210^4$ $10^4 < Ra < 10^7$	MacGregor et Emery
$Nu = 0.046 Ra^{1/3}$	$1 < H/L < 40$ $1 < Pr < 20$ $10^6 < Ra < 10^9$	MacGregor et Emery
$Nu = 0.56 Gr^{0.195}$	$H/L = 1$ $Pr = 0.72$ $5 \cdot 10^4 < Gr < 2 \cdot 10^6$	Ramesh et Venkateshan

Le rapport de forme de la cavité (H/L longueur/largeur) a une influence importante sur le régime de l'écoulement (Incropera et Dewitt, Rohsenow et al [10]). Ainsi, des études expérimentales ont été menées par Eckert et Carlson [10] afin d'étudier le transfert de chaleur en convection naturelle au niveau des parois verticales isothermes d'une cavité rectangulaire fermée remplie d'air pour différents rapports de

forme ( $H/L=2.5, 10$  et  $20$ ). Cette étude a été réalisée grâce à la technique d'interférométrie de Mach-Zehnder. Le niveau de température des parois de la cavité a été maintenu avec une grande précision. Eckert et Carlson [10] ont observé notamment qu'en dehors des couches limites, la température est uniforme suivant des plans horizontaux et croît suivant la direction verticale ascendante. Une corrélation a été proposée entre le nombre de Nusselt moyen et le nombre de Grashof pour les différents rapports de forme étudiés. Aucune mesure de vitesse n'a été réalisée dans cette étude. Quelques corrélations entre Nu et Ra sont présentées dans le tableau 1 pour le cas de la convection naturelle dans une cavité rectangulaire vide dont une paroi verticale est chauffée, celle située en face est refroidie et celles du haut et du bas sont isolées. Cette étude bibliographique sur les différentes corrélations entre Nu et Ra dans une cavité rectangulaire remplie d'air a été réalisée par Khalifa [11,12], elle concerne plus de 40 articles.

### IV. SCHEMA DESCRIPTIF ET RESISTANCE EQUIVALENTE DES PAROIS MULTICOUCHES

Le mur proposé est un ensemble d'éléments de maçonnerie moulé qui présente un parement sur chacune des deux faces. C'est le cas d'un matériau réel constitué de plusieurs couches. La figure 3 donne à la fois un dimensionnement détaillé et un schéma électrique équivalent pour le calcul de la résistance thermique équivalente.

Généralement, les parois ne sont pas isotropes, c'est le cas le plus couramment rencontré dans la réalité. En supposant donc que le transfert est perpendiculaire et unidirectionnel et en tenant compte des axes de symétrie, on peut se ramener au calcul du flux et de la résistance thermique R équivalente à travers les éléments du mur. Le portrait de la figure 4 révèle de façon explicite l'effet de l'épaisseur de la cavité sur les valeurs de la résistance thermique de l'élément de construction suivant la norme ISO 15099:2003. Une atténuation des résistances thermiques, provoquée en augmentant l'épaisseur e est observée qu'à partir de l'épaisseur optimale "e = 1.4 cm" pour un coefficient d'émissivité égale à 0.9. Cependant, si la paroi de la cavité est de faible émissivité ou munie par exemple d'un film réfléchissant "ε = 0.05", l'épaisseur optimale augmente pour avoir une valeur équivalente à 5.6 cm. En effet l'air est un bon isolant thermique s'il est immobile mais au delà de 4 cm (2.4 cm respectivement) d'épaisseur, il se passe un phénomène de convection d'où une circulation naturelle de l'air même s'il se trouve dans une cavité close, il prend les calories coté chaud pour les rendre coté froid. En dessous des seuils, il n'y a pas assez d'espace pour amorcer cette convection.

La figure 5 représente la variation de la résistance convective  $R_{th2}$  suivant la température T et l'écart  $\Delta\theta$ . Cependant, la figure 6 est constituée de plusieurs courbes, elle



donne la possibilité de voir la variation de  $R_{th2}$  en fonction de  $\Delta\theta$  pour des valeurs de T allant de 0 jusqu'à 5 °C.

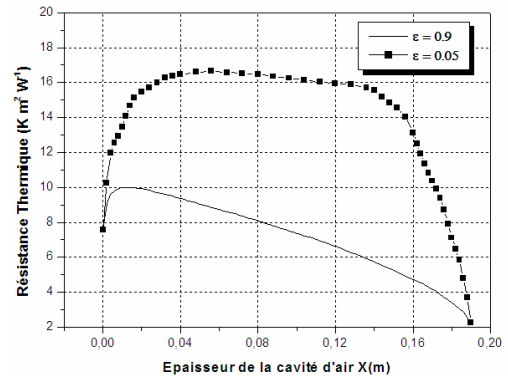
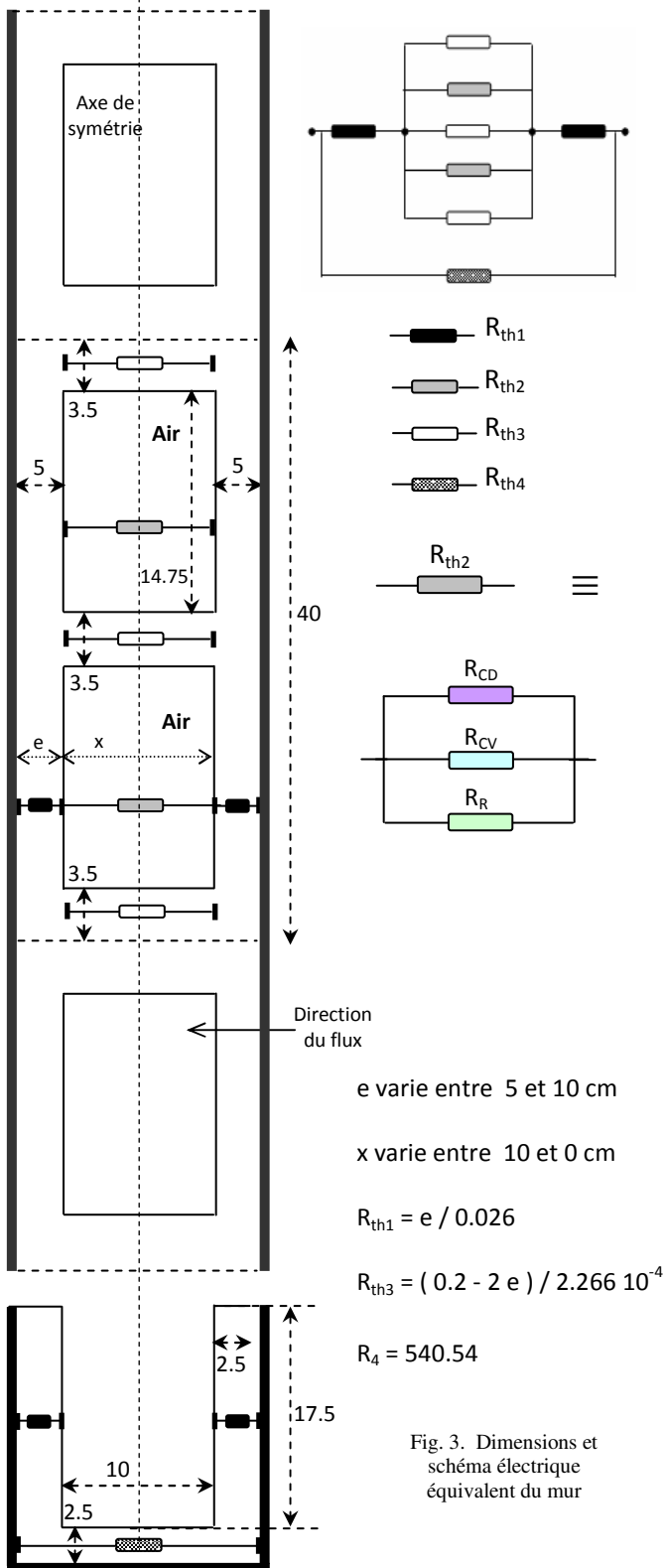


Fig. 4. Résistance thermique en fonction de l'épaisseur de la cavité d'air.

Les variations de  $R_{th2}$  en 2D certifient que la résistance convective de la cavité d'air dépend particulièrement de la différence de température entre l'air et la paroi. L'effet de la température T n'est pas assez important par rapport à  $\Delta\theta$  sachant toujours que  $\Delta\theta$  est en quelque sorte en relation avec T et l'épaisseur e.

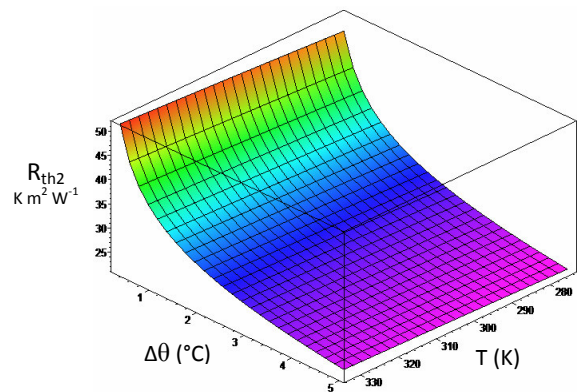


Fig. 5. Variation la résistance convective  $R_{th2}$  en fonction de T et  $\Delta\theta$ .

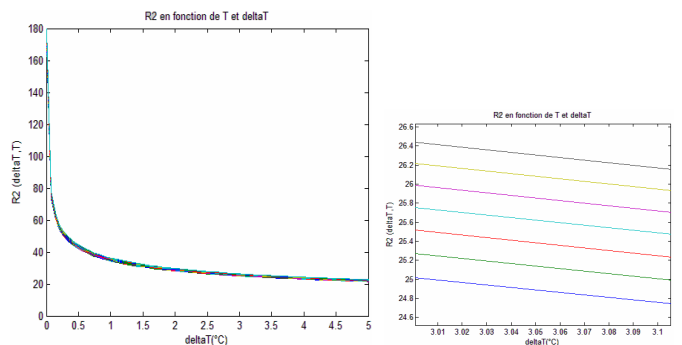


Fig. 6.  $R_{th2}$  en fonction de  $\Delta\theta$  pour un T allant de 0 jusqu'à 60 °C.

Nous avons prouvé dans cette partie que l'échange de chaleur radiatif est le mécanisme dominant dans les cavités d'air fermées délimitées par des matériaux de construction ordinaires avec des émissivités supérieures à 0.9. Mais en





# Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



utilisant un film réfléchissant d'émissivité de l'ordre de 0,05 sur une surface de la cavité, le flux de chaleur par rayonnement est considérablement réduit.

### V. EMISSIVITE : INFLUENCE SUR LA TEMPERATURE ET CALCUL DES PERFORMANCES THERMIQUES

Le coefficient de transmission thermique d'une paroi, ainsi que les résistances thermiques des différents éléments constitutifs de cette paroi dépendent de l'émissivité du matériau. Une description détaillée de deux modèles utilisés proposés est donnée dans les références [13-19]. Avec ce type de modèles, le principe est de considérer un bâtiment multi-zone, avec une température homogène par zone. A chaque zone est attribuée un nœud représentant la température de cette zone. Les liens entre les différents nœuds sont établis en fonction de la présence éventuelle des ouvertures entre zones (fenêtres, portes,...). Le bilan énergétique proposé de l'air est un modèle d'un nœud par zone, qui indique la capacité thermique du volume d'air de cette zone. Dans ces modèles n'importe quel point de l'air dans la zone a les mêmes propriétés. Les modèles développés sont limités à un problème monodimensionnel. On considère une paroi plane, d'épaisseur donnée, constituée d'une juxtaposition de plusieurs éléments. L'application suivante repose sur la disposition des couches et du matériau par rapport à la direction du flux de chaleur. Ces valeurs ont été calculées conformément à cette méthode et elles sont rassemblées dans le tableau 2 pour différents cas.

La façade est considérée comme élément initial fondamental de la conception. Le local est à fonction de séjour, dispose d'une fenêtre ouvrante afin de pouvoir assurer une ventilation intensive. Les couloirs et les cages d'escalier communs seront ventilés au moyen d'une ouverture d'évacuation naturelle d'une section libre au moins égale à  $(0,5 \times \text{Volume du local [m}^3\text{]} / 3600) \text{ [m}^2\text{]}$ . La maison correspond au type "maison à patio" c-à-d maison à cour ou maison été-hiver, s'organisant autour d'un patio où s'ouvrent les différentes pièces. Comme il est illustré dans la figure 7, les ouvertures se trouvent uniquement sur une façade. La surface des ouvertures de la façade égale à 3.88 m<sup>2</sup>.

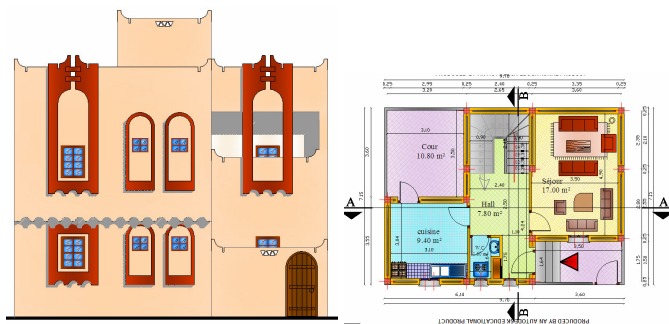


Fig. 7. Plans descriptifs, façade et séjour.

Dans les calculs, nous n'avons pas changé la configuration et les couches des sols et des toits. Le tableau 2 récapitule les valeurs des résistances thermiques des murs pour plusieurs cas. La différence est au niveau de la géométrie, des conductivités thermiques et au niveau de l'émissivité des parois de la cavité d'air. Les valeurs trouvées sont relatives à la configuration proposée plus deux couches de 1 cm de ciment mortier. Le modèle choisi pour la simulation numérique faisant partie de la bibliothèque de l'outil de simulation TRNSYS 16 pour évaluer les températures du séjour. La figure 8 donne la variation des températures de l'air du séjour selon la configuration indiquée sur la figure 3 pour un ciel clair et des températures ambiantes extrêmement chaudes. Les équations reposent principalement sur le principe de la conservation de l'énergie appelée " bilan énergétique ".

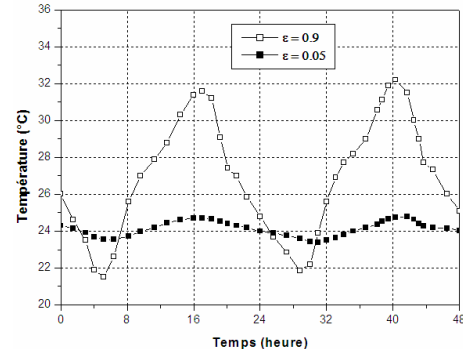


Fig. 8. Température de l'air intérieur du séjour.

La propriété thermique du matériau qui conditionne l'émission est l'émissivité du matériau. Elle dépend de la nature du matériau, de l'état de la surface de la cavité intérieure et des couches moléculaires proches de la surface. L'intégration d'un film réfléchissant permet de profiter au maximum de la largeur de la cavité pour renforcer l'isolation thermique d'une enveloppe.

Un vide d'air peut devenir bénéfique qu'un supplément d'isolant au niveau de la résistance thermique du mur. Dans ce cas, la cavité d'air entre les parois intérieures doit avoir une épaisseur maximale de 5.6 cm. Une lame d'air de cette épaisseur a une résistance thermique maximale selon la norme ISO 15099:2003. En plus, l'avantage le plus évident des murs à cavité par rapport aux murs massifs est la réduction possible de la quantité de maçonnerie employée dans la construction. Ces murs ont cependant d'autres avantages importants comme une isolation thermique améliorée. Si un mur de briques massives de 12 pouces comprenant trois briques côte à côte est comparé à un mur à cavité de 19 pouces composé de deux briques séparées par une couche d'air de 2 pouces, on constate que bien que le mur à cavité ait 2 pouces d'épaisseur de moins que le mur massif, il a une résistance légèrement plus grande



# Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



au passage de la chaleur dans le mur (c.-à-d. qu'il a une meilleure valeur isolante).

TABLEAU II  
RESISTANCES THERMIQUES EQUIVALENTES DE CHAQUE MUR

		Pierre $\lambda = 2.8$ $W m^{-1} K^{-1}$	Parpaing de 15 cm d'épaisseur (classique) $\lambda = 1.1 W m^{-1} K^{-1}$ $\epsilon = 0.05$			Brique creuse $\lambda = 0.5 W m^{-1} K^{-1}$ $\epsilon = 0.05$			Mur de la figure 3 $\lambda = 0.037 W m^{-1} K^{-1}$ $\epsilon = 0.9$	Mur de la figure 3 $\lambda = 0.037 W m^{-1} K^{-1}$ $\epsilon = 0.05$
			Gr < 6002	Gr = $4 \cdot 10^4$	Gr > 80000	Gr < 6002	Gr = $4 \cdot 10^4$	Gr > 80000		
Séjour RDC	Sud	0.0116	0.0354	0.0347	0.0343	0.1183	0.1020	0.0950	0.0880	0.1453
	Nord	0.0107	0.0328	0.0321	0.0318	0.1097	0.0946	0.0881	0.0816	0.1348
	Est	0.0089	0.0273	0.0267	0.0264	0.0912	0.0787	0.0733	0.0679	0.1121
	Ouest	0.0077	0.0234	0.0229	0.0227	0.0784	0.0676	0.0630	0.0583	0.0962
	Sol	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050
	Toit	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094
Cuisine RDC	Sud	0.0132	0.0403	0.0394	0.0390	0.1348	0.1162	0.1083	0.1003	0.1656
	Nord	0.0156	0.0476	0.0467	0.0461	0.1594	0.1375	0.1281	0.1187	0.1959
	Est	0.0124	0.0378	0.0370	0.0366	0.1263	0.1089	0.1015	0.0940	0.1552
	Ouest	0.0160	0.0489	0.0479	0.0474	0.1635	0.1410	0.1314	0.1216	0.2010
	Sol	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091
	Toit	0.0170	0.0170	0.0170	0.0170	0.0170	0.0170	0.0170	0.0170	0.0170
Chambre 1, Etage	Sud	0.0121	0.0371	0.0363	0.0371	0.1240	0.1069	0.0996	0.0923	0.1523
	Nord	0.0112	0.0343	0.0336	0.0343	0.1146	0.0988	0.0921	0.0853	0.1408
	Est	0.0141	0.0432	0.0423	0.0432	0.1445	0.1246	0.1161	0.1075	0.1774
	Ouest	0.0112	0.0343	0.0336	0.0343	0.1146	0.0988	0.0921	0.0853	0.1408
	Sol	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142
	Toit	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142
Chambre 2, Etage	Sud	0.0132	0.0403	0.0394	0.0390	0.1348	0.1162	0.1083	0.1003	0.1656
	Nord	0.0121	0.0371	0.0363	0.0359	0.1239	0.1069	0.0996	0.0922	0.1522
	Est	0.0108	0.0329	0.0322	0.0318	0.1100	0.0949	0.0884	0.0818	0.1352
	Ouest	0.0134	0.0411	0.0402	0.0398	0.1373	0.1184	0.1103	0.1022	1.6867
	Sol	0.0148	0.0148	0.0148	0.0148	0.0148	0.0148	0.0148	0.0148	0.0148
	Toit	0.0148	0.0148	0.0148	0.0148	0.0148	0.0148	0.0148	0.0148	0.0148

### VI. CONCLUSION

Les murs à cavité possèdent un avantage important par rapport aux murs de maçonnerie massive du fait qu'ils permettent d'avoir une protection contre les conditions climatiques extérieures puisqu'ils ont un meilleur coefficient d'isolation thermique. Les paramètres régissant le problème sont l'épaisseur optimale de la cavité, le nombre de Rayleigh et l'émissivité du matériau utilisé.

Le transfert de chaleur par rayonnement est fortement affecté par l'émissivité des parois des cavités. Ce transfert à travers la cavité augmente rapidement avec l'émissivité dans un élément de maçonnerie en générale. Certains problèmes du confort thermiques pourront être évités grâce donc à la combinaison de différents éléments : compréhension des principes fondamentaux, spécifications tenant compte du climat et information des praticiens concernant la performance réelle du matériau de construction utilisé.

### REFERENCES

[1] A. Antoine, Annexe VII : Document de Référence pour les Pertes par Transmission ; Règles pour le Calcul des Pertes par Transmission dans le Cadre de la Réglementation PEB, *Calcul du Coefficient de Transmission Thermique des Parois des Bâtiment (Valeur U) et du*

*Coefficient de Transfert Thermique par Transmission dans les Bâtiments (Valeur H)*. Le Ministre du Logement, des Transports et du Développement Territorial, Arrêté du Gouvernement Wallon du 17 Avril 2008.

[2] I. Catton, *Natural Convection in Enclosures*, In Proc. 6<sup>th</sup> Int Heat Transfer Conf., Toronto, Canada, vol. 2, p.13-20, 1978.

[3] K.T. Yang, *Natural Convection in Enclosures*, In *Handbook of Single-Phase Convective Heat Transfer*, Wiley, New York, Chap. 13, 1988.

[4] S. Ostrach, An Analysis of Laminar Free Convection Flow and Heat Transfer About a Flat Plate Parallel to the Direction of the Generating Body Force, National Advisory Committee for Aeronautics, Report 1111, 1953.

[5] S. Ostrach, *Natural Convection in Enclosures*, ASME J. Heat Transfer, n° 110, p.1175-1190, 1988.

[6] EN ISO 6946:1996, *Building components and building elements, Thermal resistance and thermal transmittance, Calculation method*. CEN,

[7] ISO 15099:2003, *Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations*.

[8] Uvsløkk, S. *Undersøkelse av U-verdi til vegg med uventilert hulrom og "Thermo - brite III radiant barrier" som dampspærre*, Oslo, Norway (In Norwegian) 1998.

[9] R.K. MacGregor and A.P. Emery, *Free Convection Trough Vertical Plane Layers: Moderate and High Prandtl Number Fluids*, ASME J. Heat Transfer, vol. 91, p. 391-403, 1959.

[10] S. Ben Amara, *Écoulements et Transferts Thermiques en Convection Naturelle dans les Milieux Macro-poreux Alimentaires, Application*



## Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

### The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



- aux Réfrigérateurs Ménagers, Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Février 2005.
- [11] A.J.N. Khalifa, *Natural Convective Heat Transfer Coefficient - a Review II. Surfaces in Two and Three-Dimensional Enclosures*, Energy Conversion and Management, vol. 42, p. 505-517, 2001.
- [12] A.J.N. Khalifa, *Natural Convective Heat Transfer Coefficient - a Review I. Isolated Vertical and Horizontal Surfaces*, Energy Conversion and Management, vol. 42, p. 491-504; 2001.
- [13] S. M. A. Bekkouche, T. Benouaz, M. R. Yaiche, M. K. Cherier, M. Hamdani, F. Chellali, "Introduction to Control of Solar Gain and Internal Temperatures by Thermal Insulation, Proper Orientation and Eaves", Elsevier, Energy and Buildings vol.43 pp. 2414 – 2421, 2011.
- [14] S. M. A. Bekkouche, T. Benouaz and A. Cheknane, "A Modelling Approach of Thermal Insulation Applied to a Saharan Building", Thermal Science: Vol. 13, No. 4, pp. 233-244, 2009.
- [15] S.M.A. Bekkouche, T.Benouaz, A. Cheknane, "Simulation and Experimental Studies of an Internal Thermal Insulation of two Pieces of Rooms Located in Ghardaïa (Algeria)", International Journal of Advanced Computer Engineering, January, Volume 2, issue 1 pp 1-9, June 2009.
- [16] S.M.A. Bekkouche, T.Benouaz, A. Cheknane, "Simulation and Experimental Studies of an Internal Thermal Insulation of two Pieces of Rooms Located in Ghardaïa (Algeria)", International Journal of Advanced Computer Engineering, January, Volume 2, issue 1 pp 1-9, June 2009.
- [17] TRNSYS 16, a TRaNsient System Simulation program, Volume 6, *Multizone Building modeling with Type 56 and Trnbuild*.
- [18] R. Billon, N. Blair, D. Bradley, W. Keilholz, C. Newcomb, F. X. Rocca, "SIMCAD 1.3 For TRNSYS", User Manual and Tutorial. Manual Revision 2, October 2001.
- [19] Klein S. A. et al, TRNSYS, Version 14.2. "User Manual", Solar Energy, Laboratory, University of Wisconsin. (1996).