

# Effet de L'épaisseur des Lames de Verre sur les Echanges de Chaleur Par Convection naturelle et Rayonnement Thermique Dans une Fenêtre Pariéto-Dynamique à Triple Vitrage

A. AMRANI<sup>1\*</sup>, N. DIHMANI<sup>1</sup>, S. AMRAQUI<sup>1</sup>, A. MEZRHAB<sup>1</sup>, M. BOUZIDI<sup>2</sup>

1. Université Mohammed 1, Faculté des Sciences, Laboratoire de Mécanique & Énergétique, 60000 Oujda, Maroc.

2. Université Clermont 2, LaMI EA 3867, IUT de Montluçon, Av. A. Briand, BP 2235, F-03101 Montluçon cedex, France

\*(auteur correspondant : am.abdelillah@gmail.com)

## Résumé

Ce travail a pour objet d'étudier numériquement l'effet de l'épaisseur du vitrage sur le transfert de chaleur et l'écoulement d'air dans une fenêtre pariéto-dynamique en forme de U. L'air circulant à travers les trois lames de verre est préchauffé avant de pénétrer dans le bâtiment. La géométrie est munie de deux ouvertures de taille  $e_1^*$  et  $b_2^*$  placées en haut de la fenêtre afin de contribuer à la ventilation de la chambre. La méthode adoptée pour la résolution des équations différentielles est celle des volumes finis. Le nombre de Rayleigh, le nombre de Prandtl et la taille des ouvertures sont fixés respectivement à  $Ra = 10^5$ ,  $Pr = 0.71$  et  $e_1^* = e_2^* = 0.35$ . Les résultats sont obtenus pour différentes épaisseurs du vitrage et rapports de formes et sont présentés en termes d'iso-valeurs et de nombre de Nusselt moyen.

## Mots clefs :

Transfert de chaleur, fenêtre pariéto-dynamique, volumes finis.

## 1. Introduction

Les phénomènes de transfert thermique au sein des bâtiments attirent de plus en plus l'attention des chercheurs et font l'objet de nombreux travaux. Ces études sont entreprises pour résoudre le problème de la consommation énergétique qui est d'un intérêt majeur. En effet, les bâtiments contribuent par leurs déperditions thermiques à alourdir la facture énergétique. L'une des solutions à ce problème est l'intégration des fenêtres multi-vitrage. Parmi les travaux relatifs à ce sujet, on cite celui d'Ismail et Henríquez [1] qui ont réalisé une étude sur le transfert de chaleur par conduction et convection dans un double vitrage. Le vitrage utilisé a une épaisseur de 8 mm et de 1,0 m de hauteur, et la distance qui sépare les deux vitres varie entre 0,5 et 10 cm. Dans le même cadre, Shahid et Naylor [2] ont examiné l'effet de la présence des stores vénitiens sur la performance thermique d'une fenêtre. Le store est positionné d'une manière adjacente à la surface intérieure du vitrage. Les résultats montrent que la présence d'un store vénitien améliore la performance énergétique d'une fenêtre simple et à double vitrage.

L'émergence des fenêtres pariéto-dynamiques dans le secteur de construction des bâtiments a suscité les chercheurs à effectuer plus de travaux dans ce domaine. A ce sujet, Baker et McEvoy [3] ont mené des études expérimentales et théoriques sur les conditions d'échange de chaleur à l'intérieur d'une fenêtre pariéto-dynamique qui est utilisée afin de minimiser les déperditions thermiques et aussi pour la ventilation du bâtiment. Pour cela, ils ont analysé l'importance relative en gain de chaleur solaire pour une ventilation libre et une ventilation forcée à vitesse constante.

Peu d'études prennent compte du rayonnement thermique. Dans ce contexte, Gloriant et al. [4] ont pu traiter le problème de la circulation d'air à travers une fenêtre pariéto-dynamique composée de lames en verre isothermes. Ils ont pris en compte le rayonnement généré par les grandes et courtes longueurs d'ondes.

Notre travail a pour objectif de mettre en évidence l'effet de l'épaisseur du vitrage sur le comportement thermique convectif et radiatif dans une fenêtre pariéto-dynamique à triple vitrage.

## 2. Géométrie et modèle mathématique

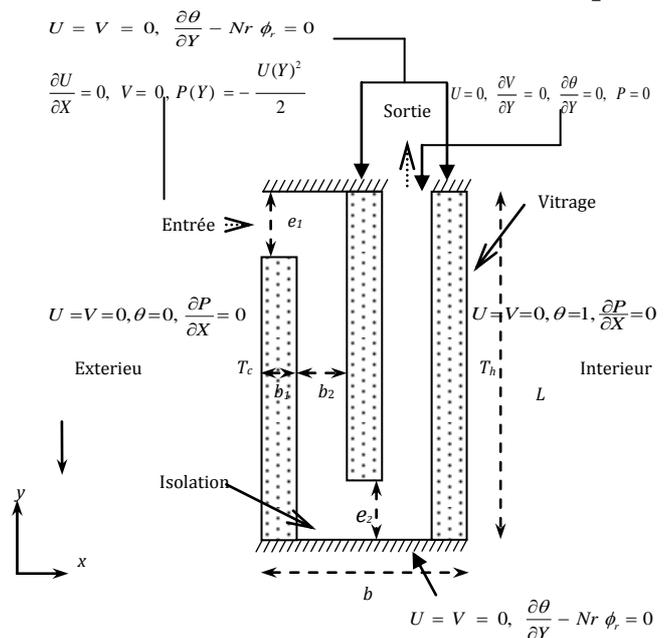


Figure 1 : Coupe verticale de la fenêtre pariéto-dynamique

La géométrie étudiée est une fenêtre à triple vitrage munie de deux ouvertures  $e_1^*$  et  $b_2^*$ . Le fluide circulant dans la fenêtre est de l'air ( $Pr = 0,71$ ). Les parois verticales intérieure et extérieure de la fenêtre sont différentiellement chauffées ( $T_h > T_c$ ), par contre les parois horizontales sont considérées adiabatiques (fig. 1). Pour une formulation mathématique plus simple de notre problème, nous adopterons les hypothèses simplificatrices suivantes :

- L'écoulement est laminaire et bidimensionnel.
- Les propriétés physiques du fluide circulant à l'intérieur de la fenêtre, à part sa densité, sont supposées constantes et prises à la température moyenne  $T_0$ . (approximation de Boussinesq).

Les équations de continuité, de quantité de mouvement et d'énergie adimensionnelles, qui gouvernent notre système sont obtenues en utilisant les variables adimensionnelles suivantes :

$$X = x/b, Y = y/b, U = ub/\alpha, V = vb/\alpha,$$

$$\theta = (T - T_c)/(T_h - T_c) \text{ et } P = (p + \rho_0 g y) b^2 / \rho_0 \alpha^2$$

Donc notre système d'équations adimensionnelles s'écrit :

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (1)$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \lambda Pr \left( \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (2)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \lambda Pr \left( \frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + Ra Pr \theta \quad (3)$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = R_k \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad (4)$$

### 3. Méthode numérique

Les conditions aux limites utilisées pour la réalisation de cette étude sont inclus sur la figure 1.

Des tests préliminaires sur le maillage nous ont permis de retenir un maillage de  $45 \times 120$  pour un meilleur compromis entre les résultats trouvés et le temps de calcul. Le maillage est non uniforme et fin au voisinage du vitrage et des ouvertures. Les équations de conservation sont discrétisées à l'aide de la méthode des volumes finis. Le couplage pression-vitesse est traité à l'aide de l'algorithme SIMPLER.

Le nombre de Nusselt moyen, basé sur la largeur de la fenêtre est défini comme suit:

$$\begin{aligned} Num &= Nucv + Nur \\ &= \frac{1}{A} \int_0^A \left( -\frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{x=0, Y} + Nr \phi_r(X=0, Y) \right) dY \end{aligned}$$

Afin de confirmer l'exactitude de la méthode numérique utilisée pour l'étude du problème, le code développé a

été comparé avec succès aux études numériques menées par Dihmani et al. [5].

## 4. Résultats et discussion

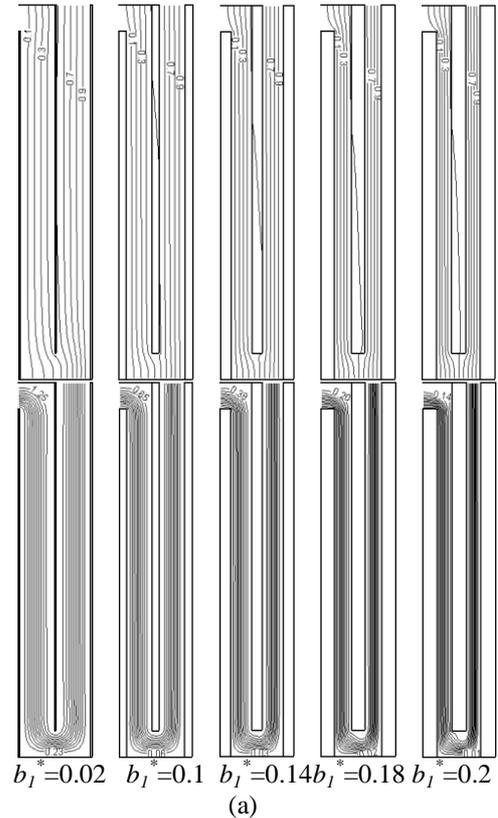
Les éléments intervenant dans le calcul sont ( $Pr, Ra, R_k, A, e_1^*, e_2^*, b_1^*, b_2^*$ ). Pour étudier l'effet des épaisseurs du vitrage sur le comportement thermique de la fenêtre, on a fixé les paramètres suivants :  $Pr = 0.71, Ra = 1 \times 10^5, R_k = 40$  et  $e_1^* = e_2^* = 0.35$ .

### 4.1. Isothermes et lignes de courant

La figure 2 illustre les isothermes et les lignes de courant pour différentes épaisseurs du vitrage en absence (2.a) et en présence du rayonnement thermique (2.b).

D'une part, la structure des lignes de courant reste quasiment inchangée dans les deux cas. On peut voir aussi que la circulation d'air diminue lorsqu'on augmente l'épaisseur du verre. Ceci peut être expliqué par l'augmentation des forces de frottement dû à l'augmentation de la largeur du vitrage en produisant ainsi une réduction de l'écoulement d'air à l'intérieur de la fenêtre, ce qui implique qu'un faible flux d'air pénètre dans le bâtiment.

D'autre part, les isothermes sont sensiblement affectées par la présence des échanges radiatifs. Cela se manifeste par l'inclinaison des isothermes à proximité des parois adiabatiques. En outre, comme  $b_1^*$  augmente, la température des surfaces vitrées augmente aussi sous l'effet de flux de chaleur radiatif en provenance de la vitre chaude, ce qui produit une bonne homogénéisation de la température dans la fenêtre.



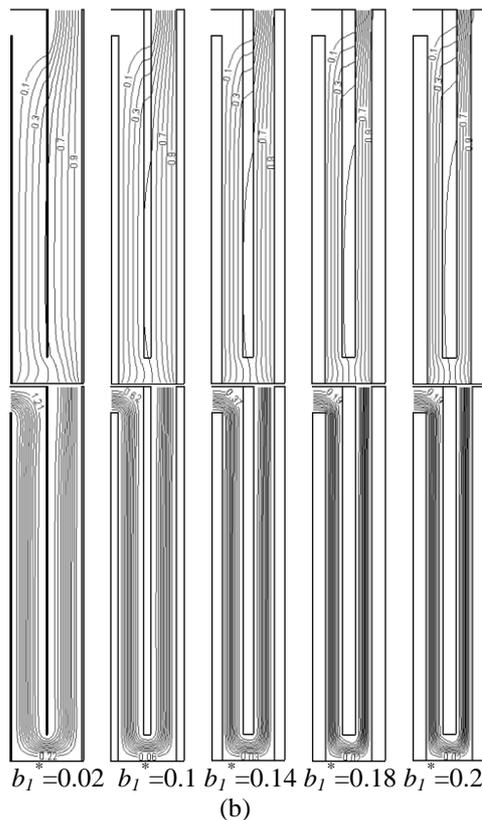
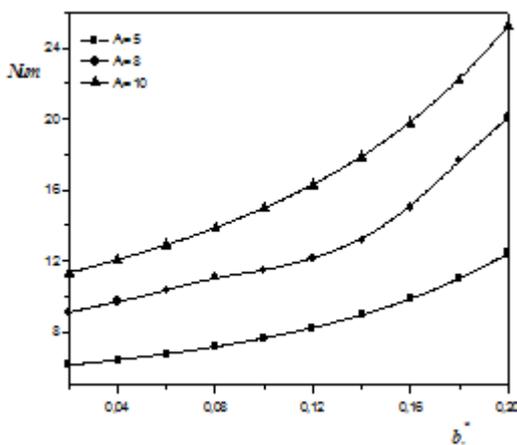


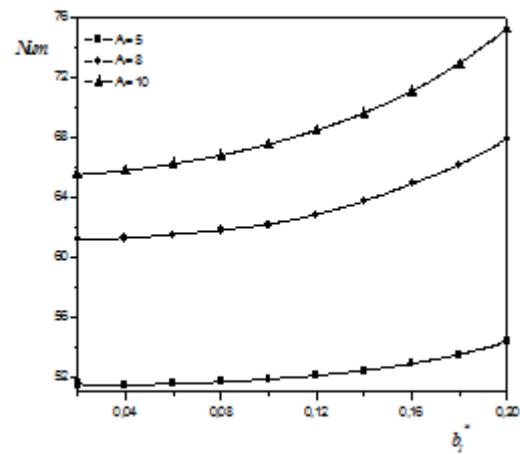
Figure 2 : Effet de l'épaisseur du vitrage sur les isothermes et les lignes de courant pour  $A = 5$ ,  $Ra = 1 \times 10^5$ ,  $e_1^* = e_2^* = 0.35$  : (a)  $\varepsilon = 0$ , (b)  $\varepsilon = 1$ .

#### 4.2. Nombre de nusselt moyen

La figure 3 présente l'influence de l'épaisseur du vitrage sur le nombre de Nusselt moyen  $Num$  pour trois rapports de formes, dans le cas de la convection naturelle ( $\varepsilon = 0$ ) et celle combinée au rayonnement thermique ( $\varepsilon = 1$ ). En absence de l'échange radiatif, le nombre de Nusselt moyen augmente lors de l'augmentation de l'épaisseur des vitres, cette augmentation est beaucoup plus importante pour les rapports de formes élevés. En présence du rayonnement, les mêmes observations sont notées. En outre, le flux radiatif augmente considérablement en comparaison avec le premier cas ( $\varepsilon = 0$ ).



(a)



(b)

Figure 3 : Variation du nombre de Nusselt moyen en fonction de l'épaisseur du vitrage pour différents rapports de formes  $A$  : (a)  $\varepsilon = 0$ , (b)  $\varepsilon = 1$ .

#### Conclusion

Le travail effectué nous a permis de traiter le comportement thermique des transferts convectifs et radiatifs dans une fenêtre pariéto-dynamique. Nous avons pu mettre en évidence l'influence de l'épaisseur du vitrage de ce type de fenêtre. Les résultats trouvés montrent que le transfert de chaleur augmente considérablement avec l'augmentation de l'épaisseur du vitrage en particulier en présence des échanges thermiques par rayonnement.

#### Références

- [1] K. Ismail and J. Henriquez, *Two-dimensional model for the double glass naturally ventilated window*, International Journal of Heat and Mass Transfer 48 ,461–475,2005.
- [2] H. Shahid and D. Naylor, *Energy performance assessment of a window with a horizontal venetian blind*. Energy Build 37, 836-43, 2005
- [3] P. H. Baker and M. McEvoy, *Test cell analysis of the use of a supply air window as a passive solar component*, Solar Energy 69 (2) 113-130, 2000.
- [4] F. Gloriant, P. Tittlein, A. Joulin, S. Lassue, *Modeling supply-air window in a building simulation code*, 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France 26-28, 2013.
- [5] N. Dihmani, S. Amraoui, A. Mezrhab, H. Naji, *Numerical modelling of natural convection – radiation in a vertical vented channel*, Journal of Thermophysics and Heat Transfer, 27 (1), 91-100, 2013.