

Analyse d'un Système à base de Cheminée Solaire pour la Ventilation des locaux d'habitation

Auteurs : Billal BELFEGAS, Salah LARBI*

LGMD- Département de Génie Mécanique. Ecole Nationale Polytechnique
10, Avenue Hassen Badi, El-Harrach, Alger. Algérie.

*Fax : 213 21 52 29 73, E- mail : larbisalah@yahoo.fr

Résumé : Le travail présenté est relatif à l'analyse d'un système énergétique à base de cheminée solaire pour la ventilation passive des locaux d'habitation. Il consiste en l'étude des performances énergétiques de ces cheminées en fonction de certains paramètres géométriques et environnementaux. Le site d'Adrar, situé au sud ouest Algérien, est choisi compte tenu de son potentiel énergétique fort intéressant par rapport aux autres régions du pays. Les résultats obtenus sont relatifs aux distributions de température sur le vitrage, au sein de l'écoulement d'air dans la cheminée et sur la paroi interne de la cheminée. Le taux horaire de renouvellement d'air (ACH), la vitesse de sortie d'air ainsi que son débit massique ont également été déterminés. Les résultats obtenus ont montré que la largeur de la cheminée a un effet significatif sur les performances énergétiques du système comparativement à sa taille d'admission. La comparaison des résultats obtenus dans le cadre de cette étude à ceux de la littérature a montré qu'un bon accord est observé entre les différents résultats.

Mots clés :

Cheminée solaire ; Performances énergétiques ; Ventilation passive ; Simulation numérique.

1. Introduction

Les exigences croissantes en matière de confort thermique d'été dans les bâtiments se heurtent à de multiples problèmes dus à l'utilisation des systèmes mécaniques de climatisation. En effet, outre l'aspect consommation d'énergie qui se caractérise par des coûts d'investissement et d'exploitation élevés, la mauvaise qualité de l'air se traduit par la présence excessive dans l'ambiance de particules polluantes préjudiciable à la santé des occupants.

L'instauration de contraintes réglementaires limitant l'émission des polluants a favorisé l'apparition de systèmes dits passifs propres au sens écologique et économique [1]. La cheminée solaire se présente ainsi comme étant un dispositif pratique et efficace pour la ventilation passive de l'espace. Elle consiste en un dispositif de ventilation d'air composé de vitrage, de mur absorbeur et d'ouvertures par les parties inférieure et supérieure d'un canal qui constitue la cheminée. L'effet du rayonnement thermique sur le vitrage et l'absorbeur permet la génération du gradient thermique responsable du mouvement d'air dans la cheminée. La différence principale entre le système de ventilation et le mur trombe réside essentiellement dans l'épaisseur de l'absorbeur, qui, dans le cas du mur trombe est importante car elle sera destinée au stockage thermique.

Il faut bien convenir que le souci du confort thermique dans les locaux d'habitations a toujours accompagné l'être humain tout au long des civilisations. Bahadori [2] a présenté une description détaillée de l'évolution de l'habitat traditionnel et de son design architectural, à travers les matériaux utilisés et les systèmes passifs de ventilation.

La première étude fondamentale sur la ventilation passive à base de cheminée solaire a été élaborée par Bansal et al. [3]. Elle consistait en l'analyse de l'augmentation de la ventilation des locaux d'habitation par utilisation d'un système de cheminée solaire. Un modèle mathématique en régime permanent a été développé par les auteurs pour la modélisation des transferts thermiques dans cette cheminée. Avec les problèmes liés à la pollution atmosphérique et au réchauffement climatiques, plusieurs travaux de recherches tant sur le plan théorique qu'expérimental ont suivi ceux de Bansal et al. Ces études visent principalement l'amélioration des performances énergétiques de ces cheminées solaires [4- 8].

L'Algérie dispose d'un potentiel en énergie solaire assez important, particulièrement dans les régions du sud du pays. L'utilisation rationnelle de ce potentiel énergétique fort important contribuera à la réduction de la consommation énergétique dans le domaine de la climatisation par compression mécanique.

Le travail présenté dans cet article est relatif à l'analyse d'un système énergétique à base de cheminée solaire pour la ventilation des locaux d'habitation. Les performances énergétiques de ces cheminées en fonction des paramètres géométriques et environnementaux seront ainsi déterminées.

2. Modèles, Physique et Mathématique

2.1. Modèle Physique

Les figures 1 et 2 montrent respectivement la représentation schématique d'un système de ventilation passive à base de cheminée solaire et le modèle physique utilisé dans cette étude. Le modèle physique consiste en une cheminée solaire avec une entrée d'air par son ouverture inférieure à une température d'admission, $T_{f,i}$, supposée égale à la température de la chambre, T_r . L'air chaud s'écoule par la partie supérieure de la cheminée à une température de sortie $T_{f,o}$. Les parois de la cheminée sont constituées par le vitrage à la partie gauche et l'absorbeur à la partie droite.

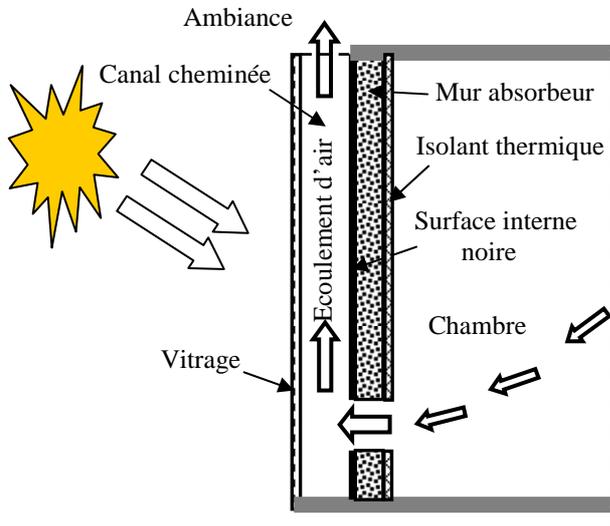


Figure 1: Représentation schématique d'un système de ventilation passive à base de cheminée solaire.

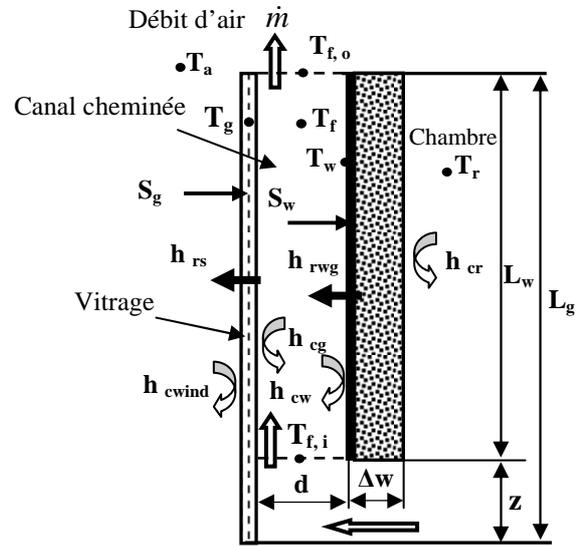


Figure 2 : Modèle physique utilisé.

2.2. Modèle Mathématique

Le modèle mathématique établi est basé sur des bilans thermiques au niveau du vitrage, du mur absorbeur et le long du canal cheminée. Les hypothèses de base utilisées sont : la température d'entrée d'air dans la cheminée est supposée uniforme et égale à celle de la chambre ; les températures de surface de l'absorbeur et du vitrage sont supposées uniformes ; les forces de frottements d'air aux parois de la cheminée sont supposées négligeables comparativement aux forces de pression d'air générées par le gradient thermique ; les capacités de stockage du vitrage et de l'absorbeur sont supposées négligeables.

Les équations correspondantes sont :

$$S_g A_g + U_t A_g (T_a - T_g) = h_{cg} A_g (T_g - T_f) + h_{rwg} A_w (T_g - T_w) \quad (1)$$

$$h_{cg} A_g T_g - \left(\frac{h_{cg} A_g + h_{cw} A_w + \dot{m} C_{p,a}}{\gamma} \right) T_f + h_{cw} A_w T_w = - \left(\frac{\dot{m} C_{p,a}}{\gamma} \right) T_r \quad (2)$$

$$-h_{rwg} A_w T_g - h_{cw} A_w T_f + (h_{cw} A_w + h_{rwg} A_w + U_b A_w) T_w = S_w A_w + U_b A_w T_r \quad (3)$$

U_t , est le coefficient d'échange global entre l'air et le vitrage, donné par l'expression :

$$U_t = h_{cwind} + h_{rs} \quad (4)$$

Le coefficient d'échange convectif, h_{cwind} , est défini par [4] :

$$h_{cwind} = 2.8 + 3.V_a \quad (5)$$

Le coefficient d'échange radiatif, h_{rs} , entre le vitrage et le ciel est :

$$h_{rs} = \frac{\sigma \varepsilon_g (T_g + T_s)(T_g^2 + T_s^2)(T_g - T_s)}{(T_g - T_a)} \quad (6)$$

Avec: $T_s = 0.0552 T_a^{1.5}$

U_b , est le coefficient d'échange global entre le mur isolant et la chambre, donné par :

$$U_b = \frac{K_{ins}}{\Delta w_{ins}} \quad (7)$$

La densité de flux solaire absorbée par le vitrage est :

$$S_g = \alpha_g H \quad (8)$$

La densité de flux solaire absorbée par le mur absorbeur est :

$$S_w = \tau \alpha_w H \quad (9)$$

Le coefficient d'échange radiatif, h_{rw} , entre le vitrage et le mur absorbeur est :

$$h_{rw} = \frac{\sigma (T_g^2 + T_w^2)(T_g - T_w)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1 \right)} \quad (10)$$

Le coefficient d'échange convectif, h_{cg} , entre le vitrage et l'écoulement dans le canal est défini par [4]:

$$h_{cg} = \frac{Nu.K_f}{L_g} \quad (11)$$

Avec : $Nu = 0.68 + (0.67.Ra^{1/4}) / [1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}$ pour le cas laminaire ($Ra < 10^9$),

$Nu = \left\{ 0.825 + (0.387 Ra^{1/6}) / [1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{1/4} \right\}^{4/3}$ pour le cas turbulent ($Ra > 10^9$),

$K_f = 0.00263 + 0.000074(T_f - 300)$, $\mu_f = [1.846 + 0.00472.(T_f - 300)] 10^{-5}$,

$\rho_f = 1.1614 - 0.00353.(T_f - 300)$, $\beta_f = 1/T_f$, $C_{p,a} = [1.007 + 0.00004.(T_f - 300)] 10^3$

La température moyenne du fluide du canal cheminée est définie par :

$$T_f = \gamma T_{f,0} + (1 - \gamma) T_{f,i} \quad (12)$$

Le coefficient, γ , est déterminé expérimentalement [5] et la température, $T_{f,i}$, est suppose égale à celle de la chambre, T_r .

Le coefficient d'échange convectif, h_{cw} , entre le mur absorbeur et l'écoulement dans le canal est défini par :

$$h_{cw} = \frac{Nu.K_f}{L_w} \quad (13)$$

Le débit massique d'air est donné par :

$$\dot{m} = V_{f,0} \rho_{f,0} A_0 = C_d \frac{\rho_{f,0} A_0}{\sqrt{\left(1 + \frac{A_0}{A_i}\right)}} \sqrt{\frac{2g L_w (T_f - T_r)}{T_r}} \quad (14)$$

Le taux horaire de renouvellement d'air, ACH, est défini par :

$$ACH = \frac{Q_v * 3600}{\text{Volume Total de la chambre}} = \frac{\dot{m}}{\rho_{f,0}} \cdot 3600 \quad (15)$$

L'efficacité instantanée, η_i , relative au gain énergétique à travers la cheminée sera ainsi déduite :

$$\eta_i = \frac{\dot{m} C_{p,a} (T_{f,0} - T_{f,i})}{WL_g M} \times 100\% \quad (16)$$

3. Résultats et discussions

Les distributions de températures, T_g , T_w et T_f , respectivement sur le vitrage, l'absorbeur et le long du canal d'air sont déterminées moyennant la résolution numériques des équations (1), (2) et (3) par utilisation de la méthode de Gauss- Seidel avec coefficient relaxation.

La figure 3 montre la variation de l'efficacité instantanée et l'irradiation solaire moyenne mensuelle durant l'année pour la région d'Adrar. Il est à noter que l'efficacité instantanée varie dans le même sens que le rayonnement solaire incident. L'efficacité instantanée minimale correspondant aux mois de Janvier et Décembre est approximativement égale à 15.5% tandis que celle du mois de Juillet, elle atteint 40%. La variation des températures moyennes mensuelles du vitrage, de l'air dans le canal et à sa sortie, ainsi que celle du mur stockeur durant l'année pour la région d'Adrar, est montrée en figure 4. Il est à souligner que la température de l'absorbeur est plus élevée que celle de l'écoulement d'air dans le canal et à sa sortie ainsi que celle du vitrage, ce qui est prévisible, l'absorption du rayonnement thermique élève la température de la paroi du mur absorbeur et contribue à l'élévation de la température de l'air en contact avec ces parois. Plus le rayonnement solaire est important plus cet écart est important aussi. Les courbes correspondant aux distributions de températures dans le canal et à sa sortie ainsi que celle du vitrage sont assez rapprochées comparativement à celle du mur stockeur.

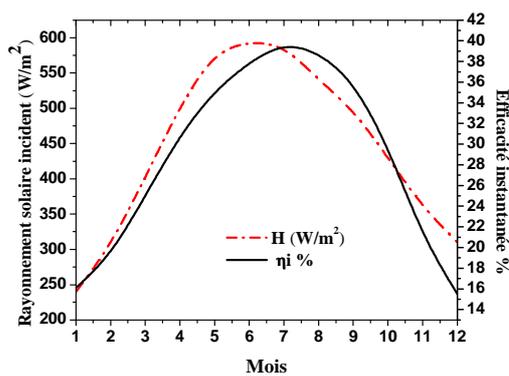


Figure 3 : Variation de l'efficacité instantanée et l'irradiation solaire moyenne mensuelle durant l'année pour la région d'Adrar.

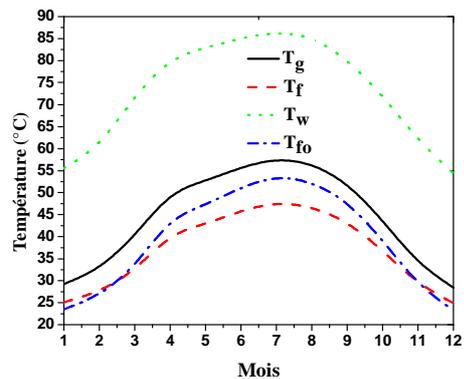


Figure 4 : Variation des températures moyennes mensuelles du vitrage, de l'air dans le canal et à sa sortie, et du mur stockeur durant l'année pour la région d'Adrar.

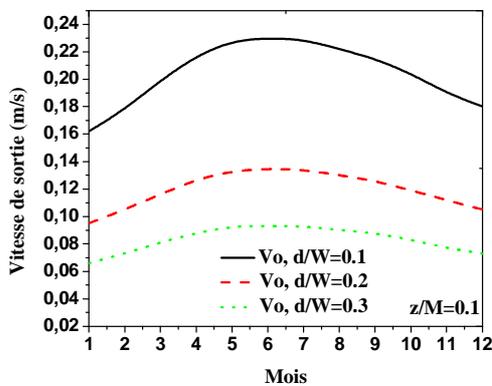


Figure 5 : Evolution de la vitesse de sortie d'air annuelle pour différentes valeurs de d/W pour la région d'Adrar.

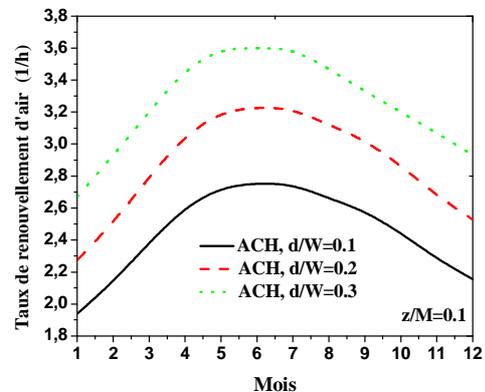


Figure 6 : Evolution du taux de renouvellement d'air, ACH, annuel pour différentes valeurs de d/W .

Les figures 5 et 6 montrent respectivement l'évolution de la vitesse de sortie d'air du canal ainsi que le taux de renouvellement d'air, ACH, annuel pour différentes valeurs de d/W pour la région d'Adrar. On note que le pic est obtenu pour la période de mai à juillet compte tenu de l'importance du rayonnement incident durant cette période. La vitesse de sortie maximale est atteinte pour les faibles valeurs de la largeur, d , du canal, compte tenu que pour un débit fixé, la vitesse augmente avec la diminution de la section.

4. Conclusion

Le travail présenté est relatif à l'analyse des performances énergétiques d'un système à base de cheminée solaire, pour la ventilation des locaux d'habitation, en fonction de certains paramètres géométriques et environnementaux. A cet effet, un modèle mathématique d'analyse de ces performances énergétiques, basé sur les bilans thermiques autour des différents organes de la cheminée solaire, est proposé. La résolution du système d'équations résultantes est établie, par utilisation de la méthode de Gauss- Seidel avec relaxation.

L'influence de l'ouverture du mur ainsi que la largeur de la cheminée sur la vitesse de sortie d'air de la cheminée, sur son débit et sur le taux de renouvellement d'air ont été analysés et discutés. Les résultats obtenus ont montré que le rayonnement solaire incident a un rôle primordial sur les performances énergétiques de ces systèmes et qu'il existe un optimum entre la largeur de la cheminée et l'ouverture du mur pour obtenir un taux de renouvellement d'air important. La comparaison des résultats obtenus par le programme de calcul avec ceux issus de la littérature a montré qu'il y a un bon accord entre les différents résultats [9].

Nomenclature

$C_{p,a}$	chaleur spécifique de l'air, $J/kg.K$	Exposant, Indices
T	température, K	i admission
A	surface d'échange thermique, m^2	o sortie
d	distance entre le vitrage et l'absorbeur, m	w paroi interne de l'absorbeur
K	conductivité thermique, $W/m.K$	g vitrage
H	rayonnement solaire incident, $W/m^2.K$	f fluide
W	profondeur du canal d'air, m	a ambiance
M	largeur de la chambre, m	ins paroi d'isolation
		a ambiance
		m moyen
		r chambre
Symboles grecs		Nombres adimensionnels
ρ	masse volumique, kg/m^3	Nu nombre de Nusselt
ε	émissivité	Pr nombre de Prandtl
α	absorptivité	Ra nombre de Rayleigh
τ	transmittivité	
μ	viscosité dynamique, $kg/m.s$	
σ	constante de Stephan- Boltzmann, $W/m^2.K^4$	

Références

- [1] R. Foster, M. Ghassemi and A. Cotta, Solar energy: Renewable energy and the environment, Taylor and Francis Edition, New York, 2010.
- [2] M.N. Bahadori. Passive cooling systems in Iranian architecture. *Scientific American*, Volume, 238, Pages 144–154, 1978.
- [3] N.K. Bansal, R. Mathur and M.S. Bhandari, Solar chimney for enhanced stack ventilation, *Building and Environment*, Volume 28, Pages 373–377, 1993.
- [4] J. A. Duffie and W. A. Beckman, Solar energy thermal process, Wiley and Sons Edition, New York, 1974.
- [5] K.S. Ong and C.C., Performance of solar chimney, *Solar Energy*, Volume 74, Pages 1-17, 2003.
- [6] R. Khanal and C. W. Lei, Solar chimney- A passive strategy for natural ventilation, *Energy and Buildings*, Volume 34, Pages 1819-1825, 2011.
- [7] K. E. Amori and M. Saif Watheq, Experimental and numerical studies of solar chimney for natural ventilation in Iraq, *Energy and Buildings*, Volume 4, Pages 450-457, 2012.
- [8] A. De Gracia, A. Castell, L. Navarro, E. Oro and L. F. Cabeza, Numerical modelling of ventilated facades: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 22, Pages 539–549, 2013.
- [9] B. Belfuguais and S. Larbi, Ventilation System Analysis based on Solar Chimney in the South Western Region of Algeria, *International Conference on Engineering, Manufacturing and Advanced Technologies (MAT 2012)*. 22- 24 November 2012, Antalya, Turkey.