SUMMARY

J.M. Bois, D. Blay, J.L. Tuhault: Natural ventilation between two adjacent rooms. This study deals with natural heat transfer through apertures between two adjacent rooms. An instationary one-dimensional model has been developed in order to determine the flowrate and enthalpy rate transfered through each aperture as well as the vertical temperature profile in each toom. Results show that flowrate and enthalpy rate vary quasifinearly through time. Temperature profiles show a high thermal stratification depending on the relative location of the apertures. Experiments have been performed on a test apparatus using water. Temperatures have been measured. A good agreement with theoretical results has been obtained.

RESUME

J.M. Bois, D. Blay, J.L. Tuhault: Ventilation naturelle entre deux pièces d'habitat. La présente étude concerne le transfert de chaleur par thermosiphon au travers d'orifices entre deux pièces d'habitat adjacentes initialement à des températures différentes. On y décrit d'abord un modèle monodimensionnel instationnaire de l'écoulement qui permet d'obtenir l'évolution du flux massique et du transfert de chaleur à travers chaque orifice ainsi que du profil vertical de température dans chaque pièce. Les résultats montrent que les deux premiers varient de façon quasi-linéaire au cours du temps. La détermination de la température met en évidence une forte stratification thermique qui dépend essentiellement de la position des orifices. On donne ensuite quelques résultats expérimentaex, concernant les températures, abtenus à partir d'un dispositif expérimental utilisant l'eau comme fluide. La compagaison de ces résultats avec les résultats munériques montre un bon accord et permet de valider le modèle.

KURZFASSUNG

J.M. Bois, D. Blay, J.L. Tuhault: Natürliche Lüftung zwischen zwei Mohnräumen. Das vorliegende Studium betrifft den Warmeübergang durch Thermosiphon und Gifmungen zwischen zwei anliegendem Mohnräumen, die verschiedene Anfangstemperaturen haben. Zwerst wird ein instationäres eindimensionales Modell des Stroms beschrieben, das es erwöglicht, das Entwickeln des Massenstroms und des Wärmeübergangs durch jede Offmung sowie dasjenige des senkrechten Temperaturprofils in jeden Raum zw Erreichen. Es ergibt sich, das die zwei ersten im Laufe der Zeit in beinahe limenweise wechseln. Die Bestimmung der Temperature macht eine starke thermische Schichtung anschaulich, die Wesentlich von der Lage der Offnungen abhängt. Bann werden einige, die Temperaturen betreffen die Erfahrungsergebniase angegeben, die durch eine experimentelle, das Wasser als fillssigen Körper benutzende Einrichtung erweicht worden sind. Diese Ergebnisse stimmen mit den Zahlenergelnissen überein und gestalten es, das Modell für rechtsgültig zu erklören.



VENTILATION MATURELLE ENTRE DEBX PIECES D'HABITAT

J.M. BOIS, D. BLAY, J.L. TUHAULT Laboratoire d'Etudes des Systèmes Thermiques et Energétiques AO, Avenue du Repteur Pineau F-86022 POXTIERS Cédex, France

Introduction

En chauffage passif, une technique simple mais efficace pour transférer de l'énergie d'une pièce (une serre par exemple) vers une autre pièce d'habitation, consiste à créer un écoulement de convection naturelle au travers d'orifices.

Dans ce domaine du transfert de chaleur par convection dans les bâtiments, la littérature est peu abondante. Seuls, WEBER (1) et BALCOMB (2) ont étudié le cas des échanges convectifs entre deux pièces au travers d'une porte.

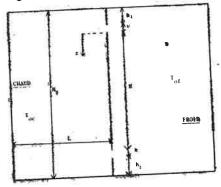
Le papier présente des résultats théoriques et expérimentaux concernant l'écontement instationnaire de thermosiphon entre deux plèces portées initialement à des températures différentes.

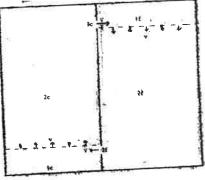
Description du phénomène physique

A l'instant initial, les deux compartiments, parfaitement isolés de l'extérieur et respectivement à une température (T_{OC} et T_{of}) et une masse volumique (ρ_{OC} et ρ_{Of}) initiales homogènes, sont mis en communication par l'intermédiaire de deux ajutages situés de telle façon que :

$$\frac{H}{H} = 1$$

Fig. - Schémas de la configuration étudiée





Sous l'effet des différences de pression dans les plans horizontaux contenant les deux ajutages, un mouvement de thermosiphon instationnaire s'établit.

L'écoulement qui en résulte peut être divisé en trois parties (Fig.1) :

- la zone d'ajutage caractérisée par une température $(T_{aj,c}$ et $T_{aj,f})$, une densité $(\rho_{aj,c}$ et $\rho_{aj,f})$ et une vitesse de débit V,
- la zone de mélange en sortie d'ajutage (zones 1f et 1c) à température $(T_{1f} \text{ et } T_{1c})$ et masse volumique $(\rho_{1f} \text{ et } \rho_{1c})$ uniformes et fonction du
- la zone d'écoulement "piston", comprise entre les deux ajutages (zones 2f et 2c) et caractérisée par un front thermique d'épaisseur h(t) se translatant à une vitesse verticale uniforme de valeur absolue v(t) et des répartitions de température (Tf(z,t) et Tc(z,t) et de masse volumique $(\rho_f(z,t))$ et $\rho_c(z,t)$.

L'écoulement s'arrête lorsque l'état d'équilibre mécanique est atteint (au bout d'un temps t_{en}). Les profils de température sont alors identiques dans chaque compartiment.

Modélisation mathématique

Pour simplifier la présentation de ce paragraphe et pour des raisons de symétrie évidentes, nous ne présenterons que les résultats relatifs à l'un des compartiments, le côté initialement froid.

Zone d'ajutage

Si l'on considère que l'écoulement est suffisamment stratifié pour qu'à l'équilibre les fronts thermiques dans chaque compartiment aient progressé d'une hauteur inférieure à H, on peut émettre l'hypothèse que la température et la masse volumique à l'entrée de chaque ajutage restent constantes et égales à leur valeur initiale :

$$T_{aj,f} = T_{of}$$

La vitesse V dans chaque ajutage est obtenue à partir de la relation de Bernoulli :

$$\rho \frac{\partial V(t)}{\partial t} + \rho \frac{V^2(t)}{2} + p(t) = c(t)$$

où étant donné la nature du problème, on néglige le terme d'inertie $\frac{\partial V}{\partial r}$.

On montre alors qu'elle est déterminée par les relations suivantes :

$$V(t) = \frac{L}{e} v(t)$$
 (1)

$$v(t) = \frac{dh(t)}{dt}$$
 (2)

$$\frac{\mathrm{dh}(t)}{\mathrm{dt}} = \frac{\mathrm{e}}{\mathrm{L}} \left[\frac{\mathrm{gH}(\rho_{\mathrm{of}} - \rho_{\mathrm{oc}})}{\overline{\rho_{\mathrm{o}}}} \right]^{1/2} \left[1 - \frac{2}{\mathrm{H}} \left[\mathrm{h}(t) + \mathrm{h}_{1} (\mathrm{e}^{-\mathrm{h}(t)}/\mathrm{h}_{1} - 1) \right] \right]^{1/2}$$

$$ou \ \overline{\rho_{\mathrm{o}}} = (\rho_{\mathrm{of}} + \rho_{\mathrm{oc}})/2$$
(3)

Zone de mélange

La température et la masse volumique de chaque zone de mélange sont obtenues en écrivant la conservation du volume et par un bilan enthalpique. On obtient :

469

$$T_{1f}(t) = \frac{\rho_{oc} T_{oc} + (\rho_{of} T_{of} - \rho_{oc} T_{oc}) e^{-h(t)/h_{1}}}{\rho_{oc} + (\rho_{of} - \rho_{oc}) e^{-h(t)/h_{1}}}$$
(4)

Zone 1f

$$\rho_{1f}(t) = \rho_{oc} + (\rho_{of} - \rho_{oc}) e^{-h(t)/h_1}$$

Zone d'écoulement piston

Le champ thermique y résulte d'une simple translation à la vitesse v. On a ainsi dans la zone 2f :

pour
$$0 < z < \int_{0}^{t} v(\tau)d\tau$$

$$\begin{cases}
T_{f}(z,t) = T_{1f}(t_{0}) \\
\rho_{f}(z,t) = \rho_{1f}(t_{0})
\end{cases}$$
où $z = \int_{t}^{t} v(\tau)d\tau$

$$\begin{cases}
T_{f}(z,t) = T_{0f} \\
\rho_{f}(z,t) = \rho_{0f}
\end{cases}$$

$$T_{f}(z,t) = T_{1f}(t)$$

$$T_{f}(z,t) = T_{0f}(t)$$

L'ensemble des équations (1) à (5) peut être intégré numériquement. Cependant, si on remarque que dans le cas où h1 = 0 (cas parfaitement stratifié) l'intégration des équations donne une évolution linéaire de la vitesse en fonction du temps, on peut donner une solution approchée à notre problème avec mélange partiel en considérant que cette loi de variation linéaire reste vérifiée. On obtient :

$$\frac{V(t)}{V_{o}} = 1 - \frac{t}{t_{eq}}$$

$$V_{o} = V(o) = C_{d}$$

$$t_{eq} = \frac{LH}{KeV_{o}}$$

$$\frac{gH(\rho_{of} - \rho_{oc})}{\rho_{o}}$$

$$(6)$$

: Coefficient de débit de l'ajutage considéré, donné soit par la littérature, soit par l'expérience.

: Constante caractéristique de la zone de mélange, fonction de $ext{H/H}_{ extsf{T}}$

$$K = 1$$
 pour $H/H_T = 1$
0 < K < 1 pour 0 < H/H_T < 1

On doit noter que cette approximation linéaire sera d'autant mieux vérifiée que le paramètre $\rm H/H_T$ sera voisin de l'unité.

Par comparaison entre les résultats numériques exacts et la solution linéaire approchée (eq.6) le coefficient de mélange K a été déterminé en fonction du paramètres $\mathrm{H/H_{p}}$. La corrélation suivante a été obtenue :

$$K = \left[\frac{H}{H_T}\right]^{0,64}$$

A partir de l'expression de la vitesse de débit, on peut facilement exprimer la puissance thermique transférée :

$$\frac{P(t)}{p_o} = \frac{V(t)}{V_o}$$

$$P_o = P(o) = \overline{\rho}_o \text{csV}_o (T_{oc} - T_{of}) \quad \text{s : section de 1'ajutage}$$

$$P_o = \text{csC}_d \overline{\rho}_o \left[\frac{gH(\rho_{of} - \rho_{oc})}{\overline{\rho}_o} \right]_{c}^{1/2} \quad \text{c : chaleur massique}$$

$$(7)$$

Application au cas de deux pièces d'habitat

La configuration étudiée est caractérisée par les valeurs des paramètres suivantes :

$$H_T = 2,50 \text{ m}$$
 $e = 0,05 \text{ m}$ $L = 3 \text{ m}$ $\overline{\rho}_0 = 1,195 \text{ Kg/m}^3$
 $H = 2,30 \text{ m}$ $T_{oc} - T_{of} = 5^{\circ}\text{C}$ $C_d = 0,65$

Sur la Fig. 2, on peut comparer les 3 solucions : solution numérique exacte, solution linéaire approchée et solution linéaire exacte du cas sans mélange.

Les profils de température sont montrés sur la Fig. 3. Ils mettent bien en évidence la stratification thermique qui est d'autant plus prononcée que le paramètre $\mathrm{H/H_{T}}$ est voisin de l'unité.

La puissance convectée initiale est donnée par la relation :

$$P_o = 220 \text{ sC}_d \text{ H}^{1/2} (T_{oc} - T_{of})^{3/2}$$
 (Watts)

Fig.2 - Evolution de la vitesse de débit calculée

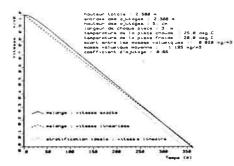
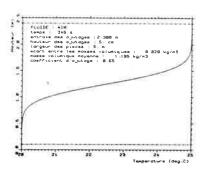


Fig.3 - Profil de température calculé à l'équilibre



Résultats expérimentaux

Afin de vérifier la validité du modèle, nous avons réalisé une expérience sur maquette utilisant comme fluide de l'eau. Son dimensionnement a été obtenu en respectant le mieux possible les règles de similitude par rapport à la configuration d'habitat décrite précédemment.

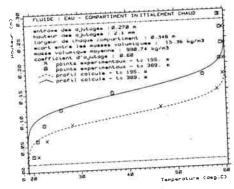
Il s'agit d'une cuve parallélépipédique (0,6 x 0,3 x 0,3 m)divisée en deux compartiments identiques séparés par une paroi comportant deux ajutages semblables en fente et équipés de thermocouples permettant à la fois la détermination des profils verticaux de température et le suivi de l'évolution des fronts thermiques.

Les résultats présentés sur la fig. 4 ont été obtenus pour les valeurs des paramètres suivantes :

des paramètres suivantes :
$$H = 0,27 \text{ m} \qquad H_T = 0,304 \text{ m} \qquad e = 2,1.10^{-3} \text{ m} \qquad L = 0,35 \text{ m}$$

$$T_{OC} = 60,3^{\circ}C \qquad T_{OF} = 18,9^{\circ}C \qquad \overline{\rho} = 990,7 \text{ Kg/m}^{3} \qquad C_{d} = 0,65$$
 Ils montrent la validité des hypothèses et du modèle utilisés.

Fig. 4. Profils de températures expérimentaux



Conclusion

- L'approximation de l'écoulément par un modèle unidimensionnel est justifié par l'expérience.
- . La stratification thermique résultant de l'écoulement est d'autant plus prononcé que les ajutages sont plus écartés l'un de l'autre.
- La vitesse de débit et la puissance thermique transférée varient de façon quasi-linéaire en fonction du temps. Ce résultats est d'autant mieux vérifié que les ajutages sont plus écartés l'un de l'autre.

Références

- Weber, D.D. and Kearney R.J. Natural convective heat transfer through an aperture in passive solar heated buildings. Proceedings 5 th National Passive Solar Conf. Amherst, Oct. 19-26, 1980, pp. 1037-41
- (2) Balcomb J.D. Heating remote rooms in passive solar buildings. Proceedings solar World Forum. Brighton (England) 23-28 Aug. 81, Vol. 3 pp. 1835-39.