

BULETINUL INSTITUTULUI POLITEHNIC DIN IAȘI  
Publicat de  
Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași  
Tomul LIV (LVIII), Fasc. 3, 2011  
Secția  
CONSTRUCȚII. ARHITECTURĂ

## ANALYSE DU COMPORTEMENT THERMODYNAMIQUE POUR DEUX SYSTÈMES DE CHAUFFAGE SOLAIRE – MURS ÉCHANGEURS DE CHALEUR

PAR

CĂTĂLIN GRIGORAȘ\*, THEODOR MATEESCU et  
NELU-CRISTIAN CHERECHEȘ

Université Technique “Gheorghe Asachi”, Iași,  
Faculté de Génie Civil et Services des Bâtiments

Reçu: 8 Julie 2011

Accepté pour publication: August 22, 2011

**Résumé.** Le but de ce travail est d’effectuer une nouvelle recherche dans le domaine du chauffage solaire passif et actif en étudiant le comportement thermodynamique de deux types de murs capteurs solaires et en même temps d’essayer d’encourager l’étude et la construction de maisons qui utilisent l’énergie solaire.

**Mots clés:** énergie solaire; murs échangeurs; chaleur; volumes finis; modélisation numérique; Fluent.

### 1. Introduction

Pour étudier ces systèmes de chauffage solaire avec l’air chaud nous avons utilisé deux programmes très importants pour concevoir et trouver des solutions utiles en ce qui concerne le fonctionnement des systèmes. Le premier programme est Gambit avec lequel nous avons construit la géométrie des murs capteurs et le programme Fluent qui nous a permis de réaliser la modélisation numérique pour constater, exactement, le comportement thermique des systèmes pour les différents facteurs intérieurs ou extérieurs.

---

\* Auteur à adresser la correspondance: *e-mail*: chereches@tuiasi.ro

En général, un mur capteur est un mur lourd, avec la façade au sud, sur lequel est disposé un vitrage (de préférence un double vitrage pour limiter les pertes nocturnes) de 4 à 10 cm en avant de la paroi extérieure du mur, comme pour un capteur solaire.

L'énergie stockée dans le mur est ensuite restituée lentement dans le logement avec un certain retard (appelé *déphasage*) permettant de bénéficier de la chaleur accumulée dans le mur plusieurs heures après le coucher du soleil. Pour avoir un stockage et un déphasage suffisant le mur doit comporter des matériaux à forte inertie thermique avec une épaisseur comprise entre 20 et 30 cm. Il peut être en béton simple, béton chanvre, en briques pleines en terre cuite ou crue, ou du pisé et aussi des pierres.

Ce mur capteur accumulateur comporte (Mazria, 2005; Wright, 1981) des orifices dans ses parties basse et haute et par le phénomène de thermo-circulation (ascension de l'air entre la vitre et le mur) se produit sous l'effet de l'absorption solaire une boucle convective qui s'établit naturellement avec transfert de chaleur vers l'intérieur grâce à un mouvement permanent de l'air. La thermo-circulation est le mouvement convectif d'un fluide qui se produit lorsqu'une source de chaleur entretient l'ascension de l'air tiède ou chaud, remplacé aussitôt par un air plus frais, dans une boucle permanente de circulation.

## 2. Description du premier système de chauffage solaire

### 2.1. Structure de la paroi

L'ensemble de la paroi comporte trois lames d'air intercalées entre des matériaux de structure. Ces lames d'air forment deux circuits aériens distincts, l'un pour renouvellement (air froid) venant de l'extérieur et l'autre pour l'extraction (air chaud) venant de l'intérieur de la pièce.

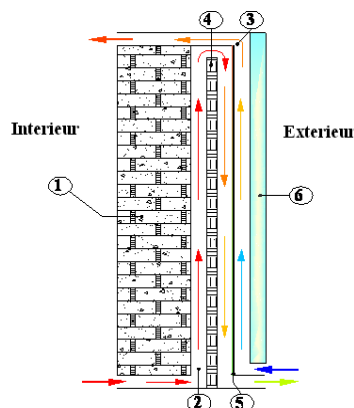


Fig. 1 – Le premier système de chauffage solaire.

Dans la Fig. 1 les matériaux répartis en différentes couches jouent les rôles suivants:

- a) le mur porteur (béton chamvre): 16 cm;
- b) le canal d'air chaud, film séparant les deux circuits et permettant de préchauffer l'air de renouvellement: 6 cm;
- c) le canal d'air froid qui est chauffé par le Soleil par radiation ou effet de serre: 6 cm ;
- d) la paroi de séparation (plâtre): 1,5 cm;
- e) la paroi échange (aluminium): 0.2 cm;
- f) la vitre: 6 cm.

La disposition de la paroi schématisée dans la Fig. 1 est spécialement construite pour la saison d'hiver dont le fonctionnement est le suivant:

a) L'air extrait (l'air chaud de l'intérieur de la pièce) circule dans une double lame, successivement, de bas en haut puis de haut en bas, tandis que l'air neuf (l'air froid) fait un "aller simple" dans la lame extérieure, de bas en haut, pour réchauffer la pièce grâce à la radiation du soleil et de l'effet de serre qui a lieu entre la paroi échangeuse et la vitre.

b) Le sens de circulation des débits a été choisi de manière à bénéficier d'un échangeur à contre courant et également à récupérer les effets de la convection naturelle lorsque la température extérieure est la plus faible.

**Tableau 1**

*Les propriétés thermo-physiques des matériaux qui composent la paroi*

Matériaux	Epaisseur m	Conductivité thermique W/m.K	Masse volumétrique kg/m <sup>3</sup>	Chaleur massique J/kg.K
Béton chamvre	0,16	0,045	300	1300
L'air	0,06	0,024	1,225	1006,43
Plâtre	0,015	0,032	9500	1000
Aluminium	0,002	202,4	2719	871
Vitre	0,06	1,3	2500	1500

*a) Fonctionnement pendant l'été*

L'air extrait (l'air chaud de la pièce) circule vers l'extérieur, mais à l'extérieur du bâtiment on bloque l'entrée de l'air chaud et aussi on prévoit sur la face extérieure de la vitre un parasolaire qui empêche le chauffage de la paroi par l'intermédiaire de la radiation solaire.

La nuit, quand la température extérieure est la plus faible (fraîcheur nocturne), l'air peut être introduit directement dans le local.

## 2.2. Calcul de la paroi

### a) Calcul de la résistance et de la conductance thermique

Est réalisé en utilisant la relation

$$R = \frac{1}{h_{\text{int}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{\text{ext}}}, [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}].$$

Mais

$$\alpha_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}; \quad \alpha_{\text{ext}} = 24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

de sorte que

$$U \leq 0,45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}.$$

### b) Calcul du flux de chaleur en régime permanent

Ce calcul est basé sur l'utilisation de la relation

$$\phi = US(T_i - T_e), [\text{W}],$$

avec

$$U = 0,088 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}; \quad S = 7,86 \text{ m}^2;$$

par conséquent

$$T_i = 20^\circ\text{C}; \quad T_e = -10^\circ\text{C}; \quad \phi = 207,5 \text{ W}.$$

## 2.3. Modélisation de la paroi

### a) Maillage de la paroi sur GAMBIT

La géométrie de la paroi a été réalisée avec l'aide du programme GAMBIT, en résultant les dimensions suivantes :

- a) le mur porteur (béton chanvre):  $400 \times 50$  cellules;
- b) le film échangeur séparant les deux circuits et permettant de réchauffer l'air de renouvellement:  $400 \times 25$  cellules;
- c) la paroi de séparation (plâtre):  $250 \times 12$  cellules;
- d) la paroi qui réalise l'échange (aluminium) :  $150 \times 2$  cellules ;
- e) le vitre:  $400 \times 1$  cellules.

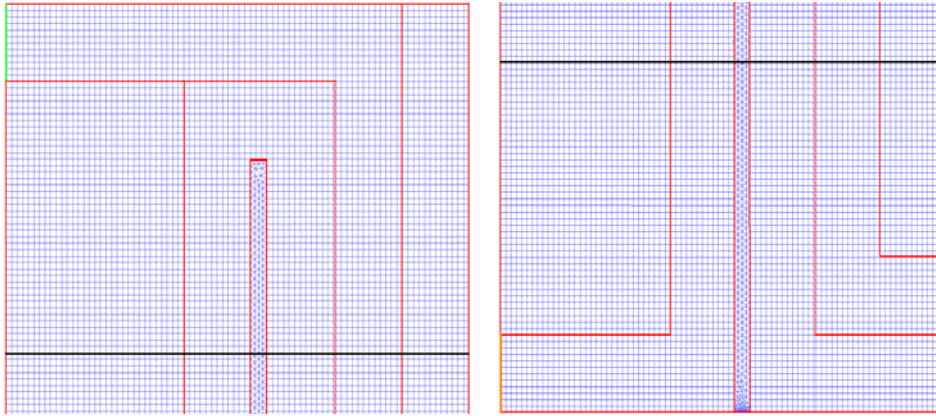


Fig. 2 – Le maillage du système de chauffage solaire avec l'air chaud.

b) *Modélisation numérique avec le logiciel FLUENT*

b<sub>1</sub>) LA VARIATION DE LA TEMPÉRATURE DANS LA PAROI

Elle est représentée dans les Figs. 3,...,8.

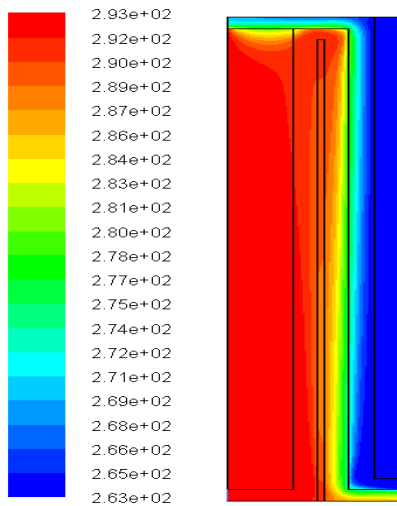


Fig. 3 – Le spectre de la température quand la température intérieure est de 293 K et celle extérieure de 263 K, sans avoir un apport solaire.

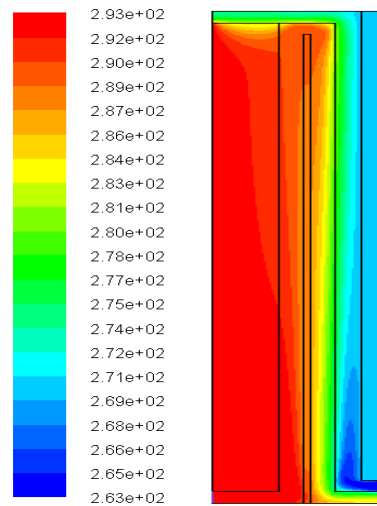


Fig. 4 – Le spectre de température dans la paroi, quand la température intérieure est de 263 K et à l'extérieur il y a une convection naturelle qui est caractérisée par une température  $T_e = 263$  K et une vitesse de l'air extérieur  $v_e = 2$  m/s.

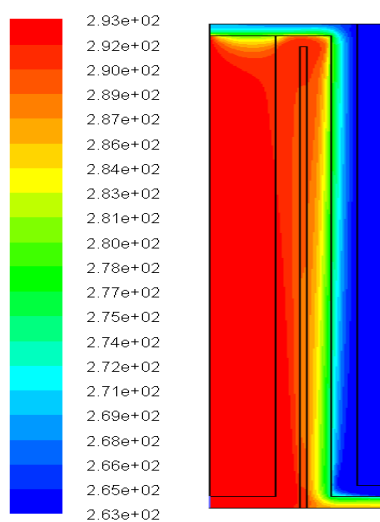


Fig. 5 - Le spectre de la température quand il y a une convection naturelle de l'air à l'intérieur de la pièce et à l'extérieur sur la paroi vitrée.

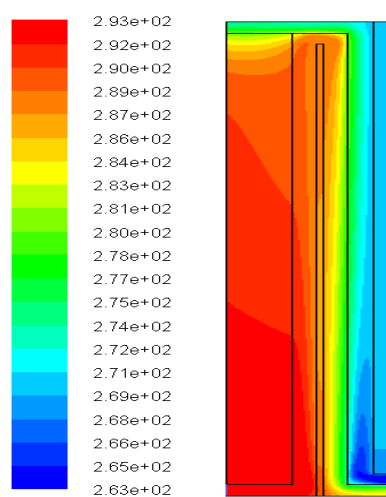


Fig. 6 - Le spectre de température dans la paroi, quand il y a une convection naturelle de l'air à l'intérieur et une radiation solaire sur la vitre.

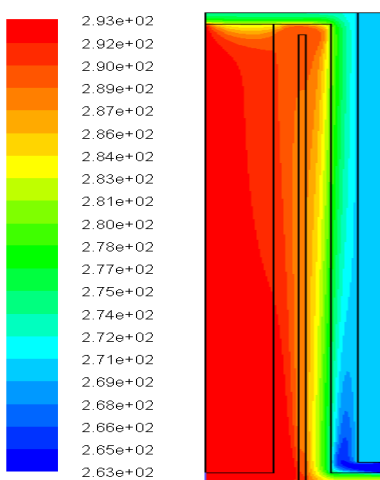


Fig. 7 - Le spectre de la température quand il y a une température intérieure de 293 K et un flux de chaleur sur le vitrage  $\phi = 1,5 \text{ W/m}^2$ .

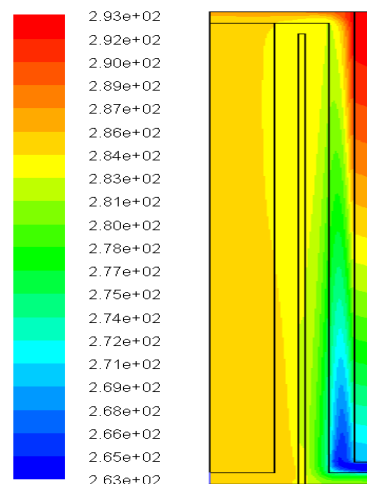


Fig. 8 - Le spectre de la température quand il y a une température intérieure de 293 K et un flux de chaleur sur le vitrage  $\phi = 1200 \text{ W/m}^2$ .

b<sub>2</sub>) LES PROFILS DE TEMPÉRATURE

Sont représentés dans les Figs. 9 et 10.

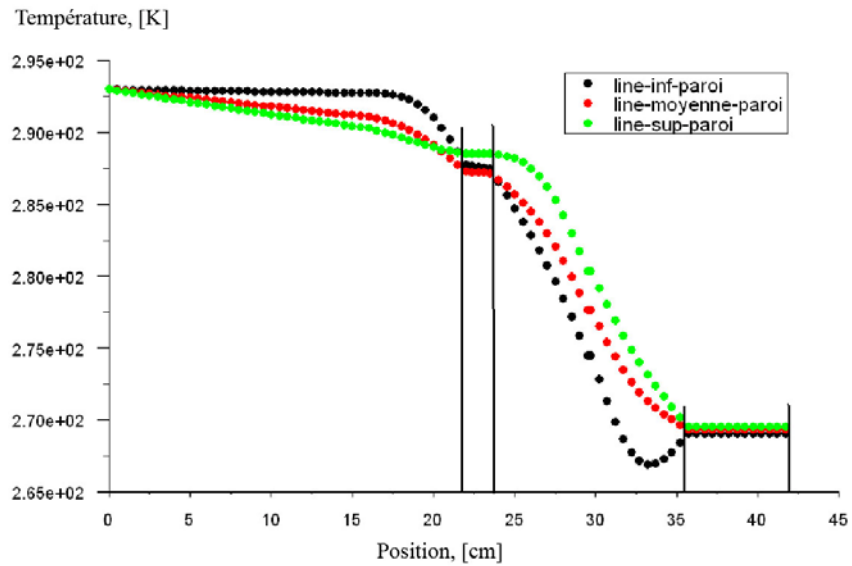


Fig. 9 – Le profil de la température de la paroi quand  $T_i = 293$  K et  $T_e = 263$  K.

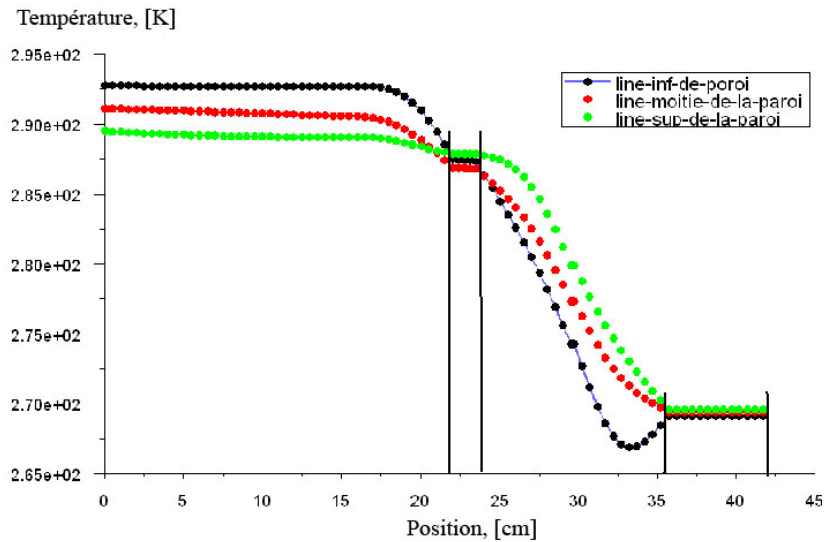


Fig. 10 – Le profil de la température de la paroi quand il y a une convection naturelle à l'intérieur et une radiation solaire.

### 3. Description du deuxième système de chauffage solaire – Mur Trombe

Un autre mur qui a un fonctionnement semblable au premier système de chauffage solaire étudié est le mur Trombe (selon le nom de l'inventeur, l'ingénieur français Félix Trombe).

#### 3.1. Schéma de principe du mur Trombe

Ce schéma est représenté dans la Fig. 11.

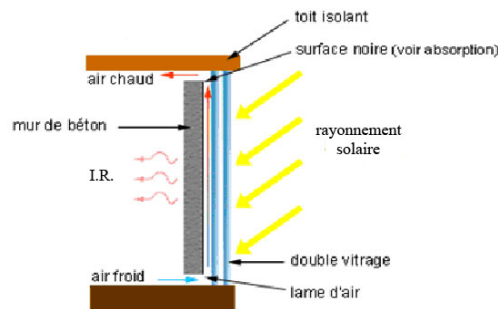


Fig. 11 – Mur Trombe.

Le principe de fonctionnement d'un mur capteur est simple, il s'agit d'emmagasiner la chaleur au cours de la journée pour ensuite la restituer pendant la nuit.

Ce type de mur est directement incorporé aux murs d'une maison et permet d'apporter de la chaleur gratuite à une pièce. On place obligatoirement ces murs au sud pour avoir le meilleur rendement. La nature du matériau du mur capteur est primordiale. Des matériaux à forte inertie sont nécessaires pour stocker les apports solaires; on utilise surtout des briques de terre comprimée. Un vitrage est placé devant le mur afin de créer un effet de serre; on choisit surtout un double vitrage pour limiter les pertes de chaleur nocturnes.

Le mur capteur comporte des ouvertures qui permettent un échange entre l'air de la pièce et l'air contenu entre le vitrage et le mur. Mais lorsque l'ensoleillement n'est pas suffisant, il se produit l'effet inverse, et l'air se refroidit. Pour éviter ce phénomène, on place des clapets sur les ouvertures que l'on renferme lorsqu'il n'y a pas de soleil. Le chauffage est réalisé donc par deux manières différentes; par convection, grâce à la circulation de l'air, et par rayonnement, grâce au déphasage du mur.

Afin d'observer le fonctionnement de ce système nous avons utilisé le simulateur Fluent et nous avons obtenu les résultats ci-dessous.

#### 3.2. La variation de la température dans la paroi

On peut observer cette variation dans les Figs. 12, ..., 15.



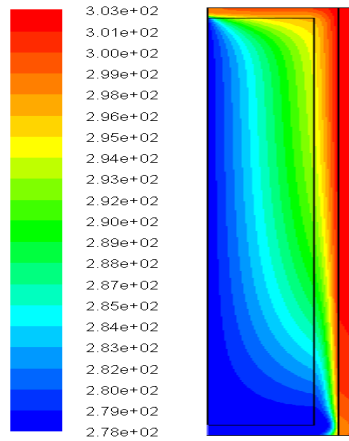


Fig. 12 – Le mur Trombe avec une circulation de l’air vers l’intérieur de la pièce; on a introduit les conditions limites suivantes dans le simulateur Fluent : température de l’air intérieur,  $T_i = 278$  K et un rayonnement solaire avec une température extérieure  $T_e = 303$  K.

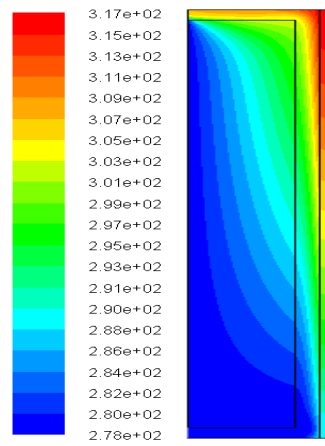


Fig. 13 – Le mur Trombe avec une circulation de l’air vers l’intérieur de la pièce; on a introduit les conditions limites suivantes dans le simulateur Fluent: température de l’air intérieur,  $T_i = 286$  K et un rayonnement solaire avec une température extérieure  $T_e = 298$  K.

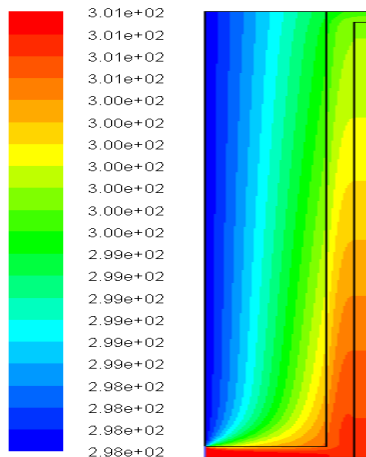


Fig. 14 – Le mur Trombe avec une circulation de l’air vers l’extérieur de la pièce, avec protection extérieure contre le rayonnement solaire; on a introduit les conditions limites suivantes dans le simulateur Fluent: température de l’air intérieur,  $T_i = 296$  K et une radiation solaire avec une température extérieure  $T_e = 320$  K.

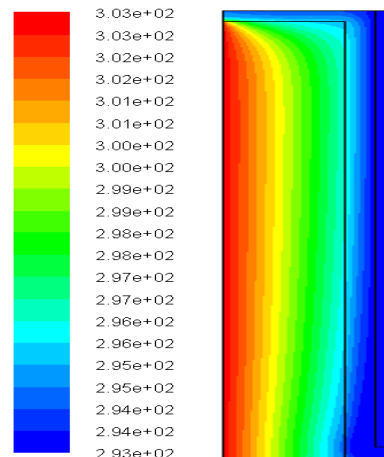


Fig. 15 – Le mur Trombe avec une circulation de l’air vers l’intérieur de la pièce pour le rafraîchissement pendant la nuit dans la saison chaude; on a introduit les conditions suivantes dans le simulateur Fluent: température de l’air intérieur,  $T_i = 303$  K et un flux de chaleur sur le vitrage  $\phi = 0$  W/m<sup>2</sup>.

#### 4. Conclusions

Les exemples illustrés dans ce travail montrent seulement quelques possibilités de construction d'une maison qui utilise l'énergie solaire. L'utilisation de l'énergie solaire implique l'exploitation de tous les éléments architecturaux d'une maison (murs, fenêtres, planchers, toits) pour tirer profit du rayonnement solaire.

Aussi, une maison passive signifie d'utiliser plusieurs sortes d'énergies non conventionnelles : l'énergie éolienne, la biomasse, l'énergie géothermique, la chaleur thermique, l'utilisation des panneaux photovoltaïque et solaires, etc.

Par exemple, beaucoup de gens ne savent pas que les murs capteurs (murs Trombe) sont des solutions qui permettent de réduire les besoins de chauffage en moyenne avec 50 kWh/m<sup>2</sup>/année, où la température, pendant l'hiver, entre la paroi vitrée et la paroi de stockage peut atteindre 60°C, et bien sur, en tenant compte des spécificités des zones locales.

Cependant, les principaux avantages de ces systèmes de chauffage solaire, avant tout, sont l'aspect économique, et bien sûr celui écologique à savoir

- a) économiquement la solution proposée est attrayante grâce à des frais de chauffage minimaux (mais il faut penser au surcoût du départ) ;
- b) écologiquement: protection des ressources, émission réduite de CO<sub>2</sub>.

**Remerciements.** Ce travail a été réalisé dans le cadre du Programme IDEI, Projet de Recherche Exploratoire, CNCSIS code ID 327, No. 603/19.01.2009, financé par l'Autorité Nationale pour la Recherche Scientifique, Ministère de l'Education, de la Recherche et de la Jeunesse de Roumanie. Les auteurs tiennent à remercier cette institution pour son soutien à cette recherche.

#### Notations

- $R$  – résistance thermique, [m<sup>2</sup>.K/W];
- $\delta_i$  – épaisseur de la paroi, [m];
- $\lambda_i$  – conductivité thermique, [W/m.K];
- $\rho$  – masse volumique, [kg/m<sup>3</sup>];
- $C_p$  – chaleur spécifique, [J/kg.K];
- $h_{int}$  – coefficient d'échange superficiel de chaleur entre l'air intérieur et la face intérieure de la paroi, [W/m<sup>2</sup>.K];
- $h_{ext}$  – coefficient d'échange superficiel de chaleur entre l'air extérieur et la face extérieure de la paroi, [W/m<sup>2</sup>.K];
- $U$  – conductance thermique de la paroi, [W/m<sup>2</sup>.K];
- $\phi$  – flux de chaleur permanent, [W];
- $S$  – surface de la paroi, [m<sup>2</sup>];
- $T_i$  – température intérieure, [°C];
- $T_e$  – température extérieure, [°C].

## REFERENCES

- Cherecheș N.-C., Popa C., Cherecheș M., *Étude numérique des régimes d'écoulement en convection naturelle dans une façade type double-peau*. Bul. Inst. Politehnic, Iași, s. Constr. a. Archit., **LV (LIX)**, 2, 43-52 (2009).
- Kakaç S., Yner Y., *Convective Heat Transfer*. CRC Press, Coral Gables, Florida, 1994, 432.
- Leca A., Mladin E., Stan M., *Transfer de căldură și masă*. Edit. Tehnică, București, 1998.
- Mazria E., *Le guide de la maison solaire*. Editeur Parenthèses, Paris, 2005, 344.
- Padet J., *Fluides en écoulement – méthodes et modèles*. Masson, Paris, 1991.
- Padet J., *Principes des transferts convectifs*. Polytechnica, Paris, 1997.
- Popa C.-V., Cherecheș N.-C., Polidori G., Stéphane S., *Experimental Simulations of Ventilation Modes in Double-Skin Envelopes*. Bul. Inst. Politehnic, Iași, s. Constr. et Archit., **LII (LVI)**, 1-2, 125-132 (2006).
- Wright D., *Soleil, Nature, Architecture*. Parenthèses, Paris, 1981, 246.

## ANALIZA COMPORTĂRII TERMODINAMICE PENTRU DOUĂ SISTEME DE ÎNCĂLZIRE SOLARĂ – PEREȚI SCHIMBĂTORI DE CĂLDURĂ

(Rezumat)

Scopul acestui articol este de a completa cercetările realizate în domeniul încălzirii solare pasive și active, studiind comportarea termodinamică a două tipuri de pereți captori solari și, în același timp, de a încuraja integrarea acestor sisteme în încălzirea locuințelor rezidențiale.