

## **Influence de la période d'excitation sur le transfert thermique d'une plaque d'isolation thermique filasse-plâtre accolée à un mur : Application a une chambre froide**

### **[ Influence of excitation period on thermal transfer of tow-plaster thermal insulation plate attached to wall : Application to cold room ]**

*Baba Mbengue<sup>1</sup>, Issa Diagne<sup>2</sup>, Alassane Ba<sup>1</sup>, Youssou TRAORE<sup>2</sup>, Seydou Faye<sup>2</sup>, Pape Touty Traore<sup>2</sup>, Sokhna Khadidiatou Ben Thiam<sup>1</sup>, and Gregoire Sissoko<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Ecole Polytechnique de Thiès, Senegal

<sup>2</sup>Laboratoire des Semi-conducteurs et d'Energie Solaire, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal

---

Copyright © 2020 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Composite wall consisting of three layers placed from outside to inside in concrete, plaster and plexiglass, is subject to external climatic constraints evolving in frequency dynamic regime. Goal is to maintain indoor environment at lower temperature for thermal comfort in homes or thermal insulation of cold rooms. By means of excitation pulsation, periods of external climatic stresses for which thermal insulation is effective for this wall system are determined.

**KEYWORDS:** Tow, plaster, plexiglass, excitation pulse, period, thermal insulation.

**RÉSUMÉ:** Un mur composite constitué de trois couches disposées de l'extérieur vers l'intérieur en béton, filasse-plâtre et plexiglass, est soumis à des contraintes climatiques extérieures évoluant en régime dynamique fréquentiel. L'objectif étant de maintenir le milieu intérieur à une température plus basse pour un confort thermique dans les habitations ou une isolation thermique des chambres froides. Par l'intermédiaire de la pulsation excitatrice, les périodes de sollicitations climatiques extérieures pour lesquelles l'isolation thermique est efficace pour ce système de mur sont déterminées.

**MOTS-CLEFS:** Filasse, plâtre, plexiglas, pulsation excitatrice, période, isolation thermique.

## **1 INTRODUCTION**

Les pays africains d'une manière générale, en particulier le Sénégal, sont de grands producteurs de fruits et légumes. Cependant une bonne partie des récoltes est perdue soit au niveau des lieux de production soit au niveau des marchés à cause d'un manque notoire de moyen de transformation mais surtout un manque de moyen de conservation tel que les chambres froides. En effet le nombre de chambre froide de conservation de fruits et légumes est très limité par rapport à la demande à cause du coût exorbitant de ces installations lié entre autres au coût de l'isolant thermique. Les isolants utilisés sont en général de types synthétiques importés d'Europe ou d'Asie d'où la nécessité de trouver des alternatives au niveau local. Cependant plusieurs études de caractérisation [1], [2] sur divers matériaux locaux, comme la filasse, le kapok, le kénaf..., ont montré que ces derniers peuvent être utilisés pour une isolation thermique efficace des bâtiments [3], [4] et des équipements frigorifiques. C'est dans cette optique que nous optons d'étudier le matériau composite filasse-plâtre pour une isolation thermique d'une chambre froide positive de conservation de fruits tropicaux et européens dans le but de réduire le coût d'acquisition des

chambres froides. En effet, nous étudions l'influence de la période d'excitation sur le transfert thermique à travers une plaque de filasse-plâtre accolée à un mur.

## 2 ETUDE THÉORIQUE

### 2.1 MODÈLE D'ÉTUDE

Le dispositif d'étude est composé d'un matériau filasse-plâtre accolé à un mur en béton dont les propriétés thermophysiques [5] (coefficient de conductivité thermique, coefficient de diffusivité thermique) sont déterminées.

Une chambre froide (figure 1) est un local particulier équipé d'une machine frigorifique [6] qui maintient la température et l'humidité relative [7] de l'air à des valeurs constantes. Elle est constituée de quatre parois latérales, un plafond et un plancher bas. La particularité de ces isolants locaux repose sur le type d'isolant thermique [8,9] utilisé qui est un facteur déterminant pour le maintien d'une température basse à un coût énergétique raisonnable. L'isolant en question est soumis à des sollicitations climatiques extérieures [10] comme montré à la figure 1 (phénomènes de convection, de rayonnement, etc.). la figure 2 est une coupe sur l'une des parois latérale de la chambre froide montrant la composition des matériaux et leurs différents paramètres thermophysiques.

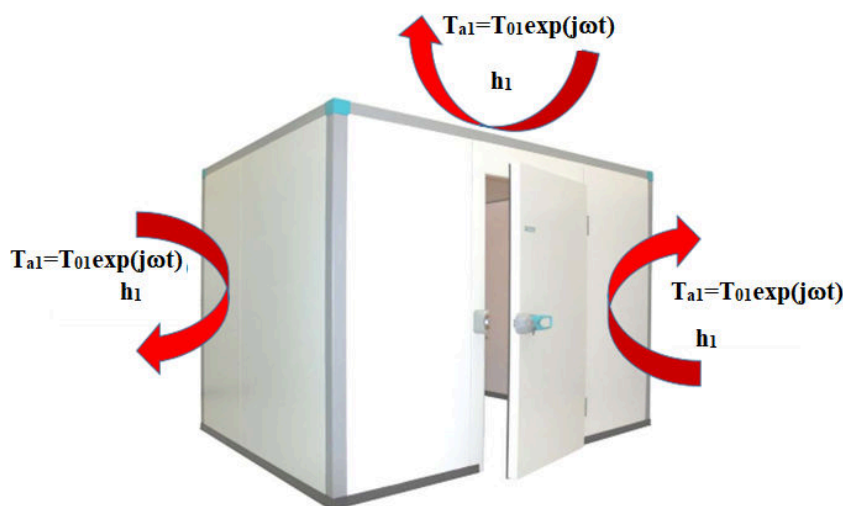


Fig. 1. Modélisation des sollicitations climatiques extérieures à la chambre froide

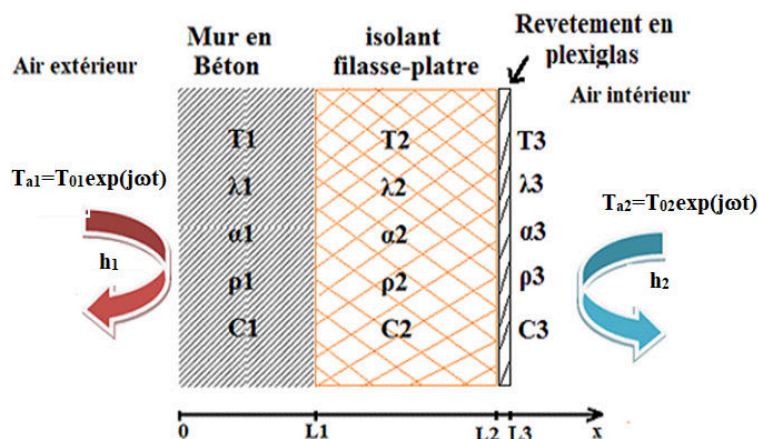


Fig. 2. Vue en coupe des différentes couches constituant les parois latérales de la chambre froide

$T_{AE}$  et  $T_{AI}$  : températures respectives, en modulation complexe, de l'air extérieur et intérieur de la chambre froide.  
 $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$  : températures respectives du mur en béton, de l'isolant filasse-plâtre et du revêtement en plexiglas.  
 $T_{O1}$  et  $T_{O2}$  : Températures maximales respectives des milieux extérieure et intérieure de la chambre froide.  
 $h_1$  et  $h_2$  : coefficients d'échange convectifs respectifs de l'air extérieure et intérieure de la chambre froide.  
 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  et  $\lambda_3$  : conductivités thermiques respectives du mur en béton, de l'isolant filasse-plâtre et du plexiglas.  
 $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  et  $\alpha_3$  : coefficients de diffusivités thermiques respectifs du mur en béton, de l'isolant filasse-plâtre et du revêtement plexiglas.  
 $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$ : capacités calorifiques massiques respectifs du mur en béton et de l'isolant filasse-plâtre et du plexiglas.

## 2.2 HYPOTHÈSES D'ÉTUDE

Pour une durée de 2 à 4 semaines de conservation moyenne de fruit en général, les contraintes sont définies par :

- Les conditions intérieures de la chambre froide: 7°C et sous une humidité relative de 85% ;
- Les conditions extérieures : une chambre est généralement montée dans un entrepôt pour minimiser les gains calorifiques externes liés à l'ensoleillement. La chambre froide sera installée dans un entrepôt situé à Dakar ayant une température ambiante de l'air égale à 27°C avec une humidité relative de 70%.
- L'utilisation d'un mur constitué:

D'isolant thermique notamment le matériau filasse-plâtre, prototype fabriqué au laboratoire des Semi-conducteurs et d'Énergie Solaire de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Cheikh Anta Diop, Dakar, [11] ayant une conductivité thermique  $\lambda = 0,17 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , un coefficient de diffusivité thermique  $\alpha = 2,03 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$  et une masse moyenne de 3,29 kg dont 40g de filasse.

De béton [12], constitué de ciment, de granulats (sable et gravillons) et d'eau. Le béton utilisé a une conductivité thermique  $\lambda = 1,3 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$  et de coefficient de diffusivité thermique  $\alpha = 5,02 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ .

Et de plexiglas : c'est un écran contre vapeur, sous forme de revêtement, il est installé à l'intérieur du local en contact avec l'isolant filasse-plâtre pour éviter que l'humidité de l'air n'affecte ce dernier. Ce revêtement est constitué de polyméthacrylate de méthyle [13] avec une conductivité thermique  $\lambda = 0,19 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$  comparable à celle du matériau filasse plâtre et de masse volumique  $\rho = 1,19 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Les épaisseurs des différents matériaux (figure 2) sont:  $L_1 = 0,100 \text{ m}$  ;  $L_2 = 0,200 \text{ m}$  et  $L_3 = 0,205 \text{ m}$ .

## 2.3 FORMULATION MATHÉMATIQUE

Dans le mur de la chambre froide, les expressions de la température et de la densité de flux de chaleur sont obtenues respectivement à partir de la résolution de l'équation (1) de la chaleur et de l'équation de Fourier (14).

$$\rho \cdot C \cdot \frac{\partial T(x, h1, h2, \omega, t)}{\partial t} = \lambda \cdot \Delta T(x, h1, h2, \omega, t) + Pp \quad (1)$$

Avec :

$\lambda$  : conductivité thermique du matériau ( $\text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) ;

$C$  : chaleur spécifique du matériau ( $\text{J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) ;

$Pp$ : source de chaleur interne ( $\text{W. m}^{-3}$ ) ;

$\rho$  : masse volumique du matériau ( $\text{Kg. m}^{-3}$ ) ;

$T$  : température en un point considéré (K).

En l'absence de source de chaleur interne ( $Pp = 0$ ) et à une dimension, l'équation de la chaleur devient:

$$\frac{\partial^2 T(x, h1, h2, \omega, t)}{\partial x^2} - \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T(x, h1, h2, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

Avec:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot C} \quad (3)$$

Le coefficient  $\alpha$  étant la diffusivité thermique [14] ; elle est exprimée en  $m^2.s^{-1}$ .

La résolution de l'équation (2) permet d'obtenir l'expression de la température dans le mur : couche 1, béton ; couche 2, filasse-plâtre ; couche 3, plexiglas. Ainsi, dans les différentes couches, on a :

$$\frac{\partial^2 T_i(x, h_1, h_2, \omega, t)}{\partial x^2} - \frac{1}{\alpha_i} \cdot \frac{\partial T_i(x, h_1, h_2, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

$i = 1, 2$  ou  $3$  respectivement pour les couches 1, 2 ou 3.

En tenant compte des conditions initiales des matériaux, on note :

$T_i^0 = 25^\circ C$  : température initiale du matériau ;

$\bar{T}_i(x, h_1, h_2, \omega, t)$  : « Température d'ajout » du matériau

$T_i(x, h_1, h_2, \omega, t)$  : Température du matériau à l'instant (t) ;

Nous avons :

$$T_i(x, h_1, h_2, \omega, t) = \bar{T}_i(x, h_1, h_2, \omega, t) + T_i^0 \quad (5)$$

A partir des températures d'ajout, les équations (4) deviennent :

$$\frac{\partial^2 \bar{T}_i(x, h_1, h_2, \omega, t)}{\partial x^2} - \frac{1}{\alpha_i} \cdot \frac{\partial \bar{T}_i(x, h_1, h_2, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (6)$$

$i = 1, 2$  ou  $3$  respectivement pour les couches 1, 2 ou 3.

Pour résoudre les équations (6), nous utilisons la méthode de séparation des variables. Les solutions, en régime dynamique fréquentiel pour les différentes couches, sont sous la forme :

$$T_i(x, h_1, h_2, \omega, t) = [A_i(h_1, h_2, \omega, t) \cdot \sinh(\beta_i \cdot x) + B_i(h_1, h_2, \omega, t) \cdot \cosh(\beta_i \cdot x)] \cdot e^{j\omega t} + T_i^0 \quad (7)$$

$$\beta_i = \sqrt{\frac{\omega}{2 \cdot \alpha_i}} (1 + j) \quad (8)$$

Avec :  $i = 1, 2$  ou  $3$  respectivement pour les couches 1, 2 ou 3 et  $j^2 = -1$

Les expressions des coefficients  $A_i$  et  $B_i$  sont déterminés à partir des conditions aux limites définies par les équations (9) :

$$\left\{ \begin{array}{l} -\lambda_1 \cdot \left. \frac{\partial \bar{T}_1(0, h_1, h_2, \omega, t)}{\partial x} \right|_{x=0} = h_1 \left( T_{a1} - (\bar{T}_1(0, h_1, h_2, \omega, t) + T_i^0) \right) \quad (9) \\ \bar{T}_1(L_1, h_1, h_2, \omega, t) = \bar{T}_1(L_2, h_1, h_2, \omega, t) \quad (10) \\ \lambda_2 \cdot \left. \frac{\partial \bar{T}_2(x, h_1, h_2, \omega, t)}{\partial x} \right|_{x=L_2} = \lambda_3 \cdot \left. \frac{\partial \bar{T}_3(x, h_1, h_2, \omega, t)}{\partial x} \right|_{x=L_2} \quad (11) \\ \bar{T}_2(L_2, h_1, h_2, \omega, t) = \bar{T}_3(L_2, h_1, h_2, \omega, t) \quad (12) \\ -\lambda_3 \cdot \left. \frac{\partial \bar{T}_3(x, h_1, h_2, \omega, t)}{\partial x} \right|_{x=L_3} = h_2 (\bar{T}_3(L_3, h_1, h_2, \omega, t) + T_i^0 - T_{a1}) \quad (13) \end{array} \right.$$

La densité de flux de chaleur [15] est donnée par l'équation (14) dans les différentes couches :

$$\phi_i(x, h_1, h_2, \omega, t) = -\lambda_i \frac{\partial T_i(x, h_1, h_2, \omega, t)}{\partial x} \quad (14)$$

$i = 1, 2$  ou  $3$  respectivement pour les couches 1, 2 ou 3.

### 3 RÉSULTATS

#### 3.1 COMPORTEMENT THERMIQUE DU MUR SELON LA PULSATION EXCITATRICE

Les figures 3, 4 et 5 montrent respectivement le comportement thermique des différentes couches du mur : le béton, la filasse-plâtre et le plexiglass, pour  $h_2 = 10\text{W.m}^{-2} .\text{K}^{-1}$  et  $x = 0,10\text{ m}$  ; les séries de courbes sur une figure montrent l'influence du coefficient d'échange thermique  $h_1$ .

Le tableau 1 ci-dessous donne une indication sur la correspondance entre pulsation excitatrice et période des sollicitations climatiques extérieures.

**Tableau 1. Période des sollicitations climatiques extérieures.**

Pulsation excitatrice (rad/s)	$3,16.10^{-6}$	$10^{-5}$	$3,16.10^{-5}$	$10^{-4}$	$3,16.10^{-4}$	$10^{-3}$	$3,16^{-3}$
Période d'excitation (Heures)	552	174	55,2	17,4	5,52	1,75	0,55

Pour  $\omega < 10^{-4}\text{rad.s}^{-1}$ , la température du béton augmente avec la pulsation excitatrice ce qui signifie que la conductivité thermique du béton est une fonction croissante de la pulsation:  $\lambda = f(\omega)$ . On observe un phénomène similaire avec la filasse-plâtre. Par contre dans le plexiglass, nous avons une diminution des phénomènes de conduction thermique avec la pulsation, ce qui lui confère une propriété considérable d'isolant thermique.

Pour une pulsation fixée dans cette bande de pulsation ( $\omega < 10^{-4}\text{rad.s}^{-1}$ ), nous avons une rétention considérable de la chaleur lors de la traversée de l'interface béton – filasse-plâtre ce qui se traduit par une diminution de la température de  $\Delta T$  en comparant les figures 3a et 4a. Dans la même bande de pulsation, nous avons une diminution du flux thermique  $\phi$  à l'interface (en comparant les figures 3b et 4b). La résistance de contact  $R_c$  est une fonction de la pulsation excitatrice ;  $R_c = \frac{\Delta T}{\phi} = g(\omega)$ .

A l'interface filasse-plâtre – plexiglass, la comparaison des figures 4a et 5a montre une rétention considérable de la chaleur qui se traduit par une baisse de température à une pulsation fixée. La comparaison des figures 4b et 5b montre une évolution différente du flux thermique dans les isolants plexiglass et filasse-plâtre. Nous avons une résistance thermique  $R_c(\omega)$ , dynamique.

Autour de  $\omega = 10^{-4}\text{rad.s}^{-1}$ , nous avons un maximum de la température dans le béton autour de 26°C (figure 3a), un point d'inflexion dans le filasse-plâtre autour de 20°C (figure 4a) et entre 6°C et 7°C dans le plexiglass (figure 5a). Nous avons ainsi au niveau des interfaces des résistances thermique de contact dynamique  $R_c(\omega)$ .

Pour  $\omega > 10^{-4}\text{rad.s}^{-1}$ , la conduction thermique dans le béton (figure 3a et 3b) est pratiquement indépendante de la pulsation excitatrice, le flux thermique diminue considérablement (figure 3b) ; le régime est quasi-statique. Par contre dans le filasse-plâtre et dans le plexiglass nous avons des variations considérables de flux aux interfaces filasse-plâtre – plexiglass (figure 4b) et plexiglass – milieu intérieur (figure 5b) ; ces phénomènes sont liés aux échanges thermiques avec le milieu extérieur par l'intermédiaire du coefficient d'échange thermique  $h_2$ .

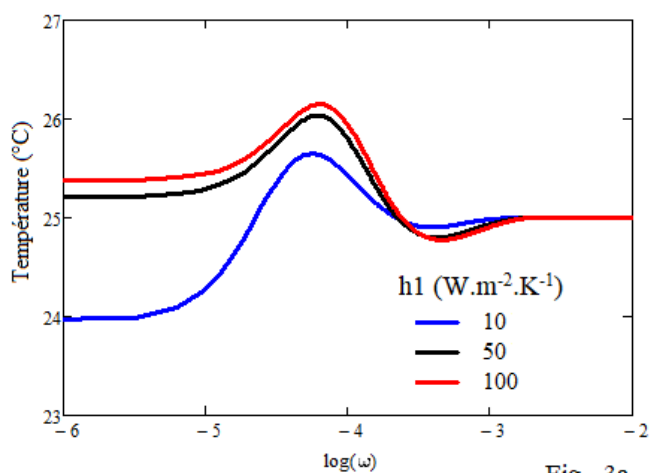


Fig. 3a

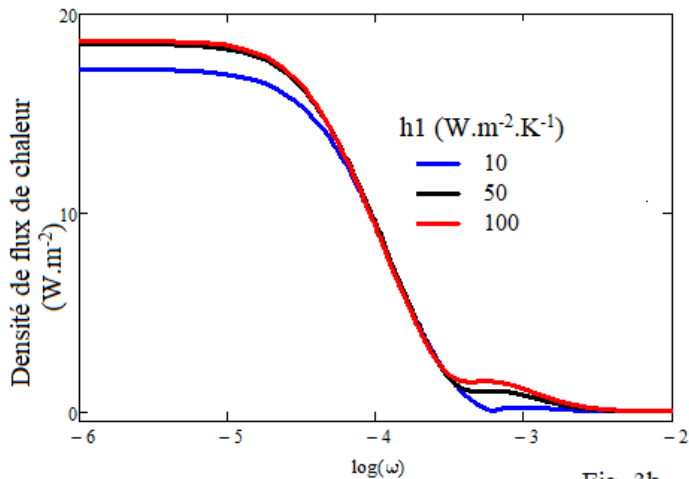


Fig. 3b

Fig. 3. (a): Evolution de la température ; (b): évolution la densité de flux de chaleur en fonction de la pulsation excitatrice dans le mur en béton; influence de  $h_1$ ;  $h_2 = 10W.m^{-2} .K^{-1}$  et  $x = 0,10$  m.

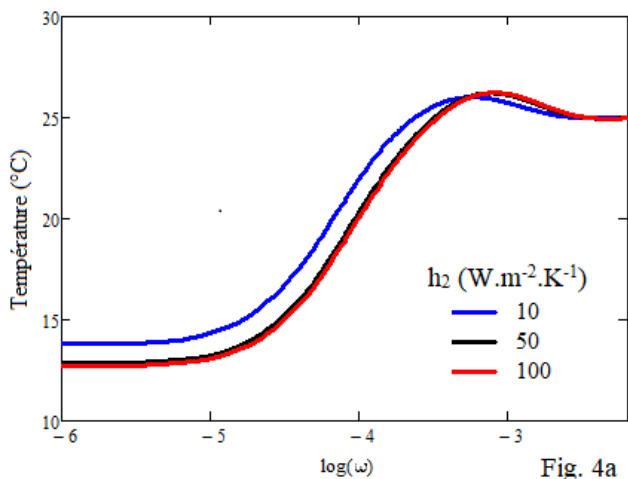


Fig. 4a

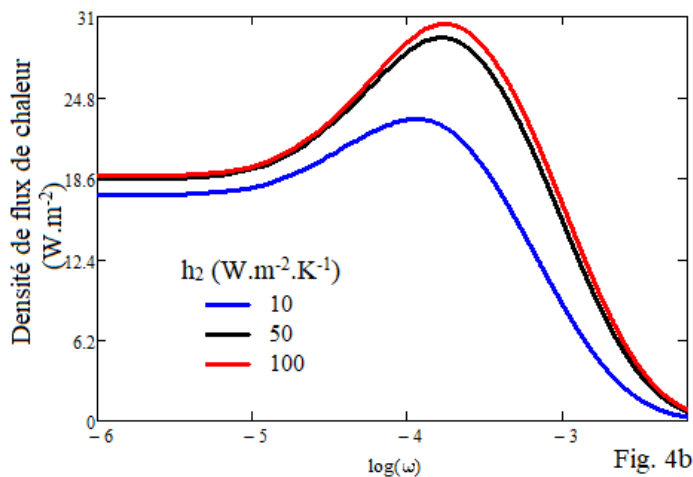


Fig. 4b

Fig. 4. (a): Evolution de la temperature; (b): évolution la densité de flux de chaleur en fonction de la pulsation excitatrice dans l'isolant filasse-plâtre – influence de  $h_2$ ;  $h_1 = 10W.m^{-2} .K^{-1}$  et  $x = L_2 = 0,20$  m.

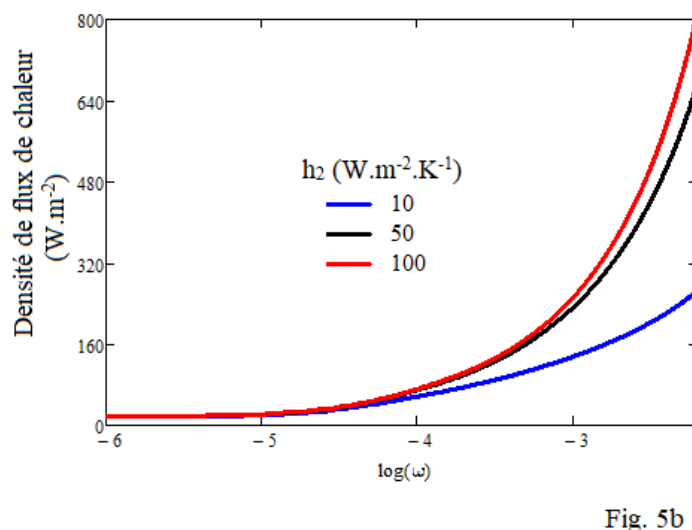
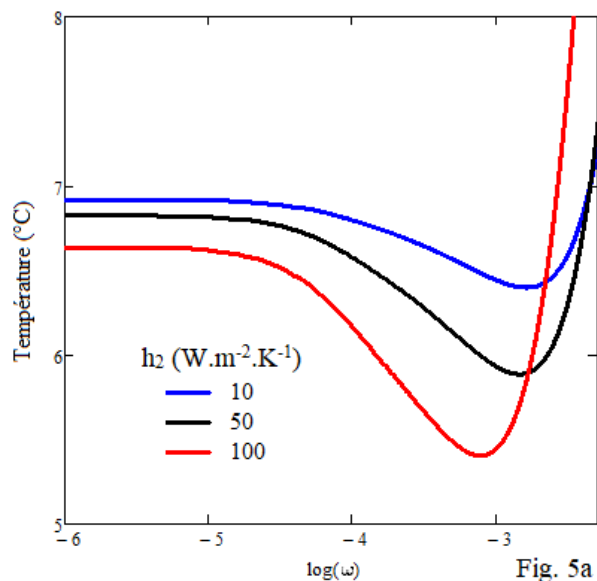


Fig. 5. (a): Evolution de la température; (b): évolution la densité de flux de chaleur en fonction de la pulsation excitatrice dans le plexiglass ; influence de  $h_2$ ;  $h_1 = 10W.m^{-2} .K^{-1}$  et  $x = L_3 = 0,205$  m.

### 3.2 INFLUENCE DE LA PÉRIODE D'EXCITATION SUR LE COMPORTEMENT THERMIQUE DU MUR

La figure 6 montre l'évolution du comportement thermique à travers le mur composite pour différentes valeurs de la pulsation excitatrice.

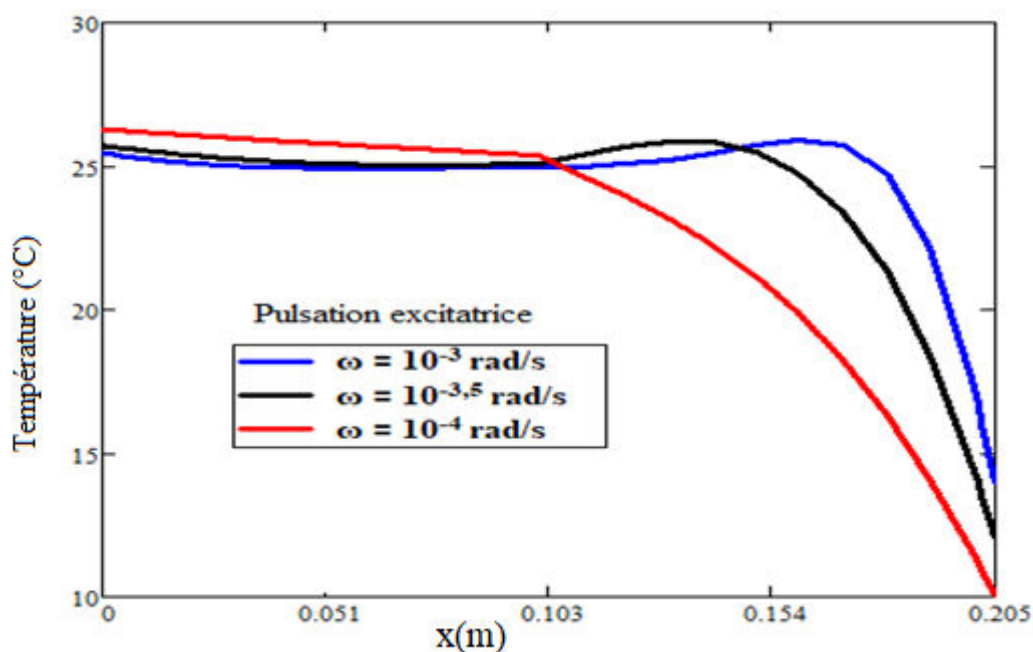


Fig. 6. Evolution de la température à travers le mur composite (béton/filasse-plâtre/plexiglas) ; influence de la pulsation excitatrice ;  $h_1 = 20W.m^{-2} .K^{-1}$  et  $h_2 = 10W.m^{-2} .K^{-1}$ .

Dans le mur en béton, la conduction thermique est considérable ; la chute de température est relativement faible. Le mur à une capacité faible d'emmagasinement de chaleur par unité de masse ce qui se traduit par une faible chute de la température.

La filasse-plâtre et le plexiglass ont des conductivités thermiques et un comportement thermique comparables. Cette partie du mur a une capacité thermique massique considérable ce qui lui permet d'emmagasiner des quantités importantes de chaleur dans des couches d'épaisseur faible. La diffusion de la chaleur à travers cette partie est faible.

Dans le béton, les phénomènes de conduction sont importants lorsque la pulsation excitatrice est faible c'est-à-dire quand on a une période d'excitation supérieur à 17 heures. Par contre, dans la partie isolante, on a une inversion du phénomène pour les grandes pulsations c'est-à-dire les périodes relativement courte, inférieures à 17 heures, on a une diminution de la capacité d'emmagasinement de chaleur. Ceci s'explique par les phénomènes de relaxation du matériau isolant.

#### **4 CONCLUSION**

Le transfert thermique étudié sur un mur composite constitué de trois couches : béton, filasse-plâtre et plexiglass, a montré un intérêt considérable pour l'utilisation de matériau locaux tel que la filasse-plâtre dans l'isolation thermique des bâtiments domestiques et des chambres froides. Cependant, il est nécessaire d'utiliser des enveloppes protectrices contre l'humidité des matrices contenant des fibres végétales en utilisant des matériaux résistants à l'humidité telle que le plexiglass.

Pour des périodes de sollicitations climatiques inférieures à 17 heures, nous avons un bon comportement de l'isolant thermique. Compte tenu des durées moyennes d'ensoleillement dans nos zones tropicales inférieure à 12 heures, le système ainsi étudié se présente comme favorable à un bon confort thermique dans les habitations et une bonne isolation de chambres froides.



## REFERENCES

- [1] Korke Abdoulaye DIALLO, Makinta BOUKAR, El hadji Bamba DIAW, Paul DEMBA, Issa DIAGNE, Gregoire SISSOKO, "Characterization of the thermal behavior of a kapok-plaster material by studying the temperature in frequency dynamic regime", - IJISSET- International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 2 Issue 1, pp: 308-310. ISSN: 2348 – 7968, January 2015.
- [2] Meukam P., Noumou A., Jannot Y. and Duval R., "Thermo physical and mechanical characterization of stabilized clay bricks for building thermal insulation", *Materials and Structures*, Vol. 36 (7), pp: 453-460, 2003.
- [3] Marechal J.C and Devisme J.M, " Diffusivité thermique des matériaux de construction : Méthode du signal périodique", *Anales I.T.B.T.P* n°357, Janvier 1978.
- [4] Youssou Traore, Issa Diagne, Cheikh Sarr, Mohamed Sidya Ould Brahim, Abdoulaye Korke Diallo, Hawa Ly Diallo and Gregoire Sissoko, "Influence of Thermal Exchange Coefficient on the Heat Retention Rate of a Concrete Wall Contiguous to a Thermal Insulation Tow-Plaster", *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. VOL. 11, NO. 5, pp 2835-2840. MARCH 2016.
- [5] Mounir S., Khabbazi A., Khaldoun A., Maaloufa Y., El Hamdounia Y., "Thermal Inertia and Thermal properties of the composite material Clay-wool", doi:10.1016/j.scs.2015.07.018, 2015.
- [6] B. Dieng, G. Jaw, A. Kane, I. Diagne, M. Dieng and G. Sissoko, "Determination of the operating point and the enthalpy per unit surface of a cold battery with icy water and a double heat exchanger", *International Journal of Engineering Research*. Volume No.4, Issue No.11, pp : 609-612. Nov. 2015.
- [7] Vagenas G.K., D. Marinos-Kouris, G.D. Saravacos, "An analysis of mass transfer in airdrying of foods". *drying technology* 8 (2): 323-342, 1990.
- [8] Y. Traore, E.B. Diaw, I. Diagne, M.B. Ndiaye, S. Tamba, B. Fleur, M. Dieng, A.K. Diallo and G. Sissoko, "Characterization Phenomena of Thermal Transfer Through an Insulating Material Kapok-plaster Starting from Dynamic Impedance Method", *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 12(7): 712-715, 2016.
- [9] Bouchair A. "Steady state theoretical model of fired clay hollow bricks for enhanced external wall thermal insulation", *Building and Environment*, Vol. 43, (10), pp: 1603-1618, 2008.
- [10] Makinta Boukar, Mamadou Babacar Ndiaye, Alassane Diene, Paul Demba, Issa Diagne, Mohamed Sidya Ould Brahim and Grégoire Sissoko, "Changes in Temperature in a Material Kapok-plaster Sample in Dynamic Frequential Regime", *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 8(20): 2135-2140, 2014.
- [11] Voumbo M.L., Wereme A and Sissoko G., "Characterization of Locals Insulators: Sawdust and Wool of Kapok", *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* Vol. 2(2), pp: 138-142, 2010.
- [12] Kari B., Perrin B., Foures J-C., ".Modélisation macroscopique des transferts de chaleur et d'humidité dans des matériaux du bâtiment, les données nécessaires", *Materials and Structures*, Vol.25 (8), pp : 482-489, 1992.
- [13] N. Bibi-Triki, S. Bendimerad, A. Chermiti, T Mahdjoub, B.Draoui, A. Abène, "Modeling, Characterization and Analysis of the dynamic behavior of heat transfers through polyethylene and glass walls of Greenhouses", *Physics Procedia* 21 67 – 74, 2011.
- [14] N. Aste, A. Angelotti, M. Buzzetti, "The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings", *Energy and Buildings*, vol. 41, no 11, p. 1181-1187, 2009.
- [15] J.C. Damfeu, P. Meukam, Y. Jannot, Modeling and measuring of the thermal properties of insulating vegetable fibers by the asymmetrical hot plate method and the radial flux method: Kapok, coconut, groundnut shell fiber and rattan, *Thermochimica Acta* 630, pp. 64-77, 2016.