

## Caractérisation des phénomènes de transfert thermique à travers une résistance thermique de contact à l'interface interne d'un mur entre une dalle plane en béton et un panneau de paille de riz

### [ Characterization thermal transfer phenomena through a thermal contact resistance at the internal interface of a wall between a flat slab concrete and a panel of rice straw ]

*Ablaye Fame<sup>1</sup>, Mamadou Babacar Ndiaye<sup>2</sup>, Youssou TRAORE<sup>3</sup>, Seydou Faye<sup>3</sup>, Dame DIAO<sup>3</sup>, Pape Touty Traore<sup>3</sup>, Imam Katim Toure<sup>3</sup>, and Gregoire Sissoko<sup>3</sup>*

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

<sup>2</sup>Institut Universitaire de Technologie, Université de Thiès, Senegal

<sup>3</sup>Laboratoire des Semi-conducteurs et d'Energie Solaire, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal

---

Copyright © 2019 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:** Based on a dynamic frequency study, the thermal behavior of a wall consisting of a concrete slab contiguous to a panel of compressed rice straw is presented. The thermal behavior at the interface of the two materials is modeled by a thermal contact resistance. The insulating nature wall thus made is studied according the order magnitude of contact resistance: the perfect contact ( $R_c=0$ ) extreme contact defects ( $R_c$  very high). The analysis of temperature and heat flow density curves show that the insulation effects are all the greater as the defects are important.

**KEYWORDS:** concrete slab, straw panel of rice, thermal contact resistance, dynamic frequency regime.

**RÉSUMÉ:** A partir d'une étude en régime dynamique fréquentiel, le comportement thermique d'un mur constitué d'une dalle en béton accolée à un panneau de paille de riz compressé est présenté. Le comportement thermique à l'interface des deux matériaux est modélisé par une résistance thermique de contact. Le caractère isolant du mur ainsi fait est étudié selon l'ordre de grandeur de la résistance de contact : du contact parfait ( $R_c=0$ ) à des défauts extrêmes de contact ( $R_c$  très grand). L'analyse des courbes de température et de densité de flux thermique montrent que les effets d'isolation sont d'autant plus considérables que les défauts sont importants.

**MOTS-CLEFS:** dalle en béton, panneau de paille de riz, résistance thermique de contact, régime dynamique fréquentiel.

## 1 INTRODUCTION

L'utilisation abusive de l'énergie [1] due à la demande énergétique importante pour l'industrie et les domestiques a pour conséquence désastreuses la perturbation des conditions climatiques [2] de la planète terre. La réduction des besoins énergétiques passe par une politique adéquate d'utilisation de l'énergie [3]. La perte énergétique dans les habitations peut être mieux maîtrisée à partir d'une bonne isolation [4,5] des murs et une exploitation adéquate de l'énergie solaire pour les besoins directs de chaleur et d'éclairage pendant le jour.

Pour une efficacité énergétique du bâtiment, nous proposons un matériau isolant thermique [6,7] à base de paille de riz compressé. Ce matériau est accolé à un mur en béton. Nous considérons que les différentes faces en contact avec les milieux extérieur (milieu ambiant) et intérieur (milieu isolé) sont soumises à des sollicitations climatiques modélisées en régime dynamique fréquentiel [8]. L'étude s'intéresse principalement à la zone de contact entre les deux matériaux. Une résistance thermique de contact [9] est définie à l'interface des deux matériaux.

## 2 PRÉSENTATION DU SYSTÈME ISOLANT : LE MUR

Le schéma du mur constitué de béton et de paille de riz est représenté à la figure. Les températures  $T_1$  et  $T_2$  des respectivement des milieux extérieur et intérieur sont définies en régime dynamique fréquentiel avec une pulsation excitatrice  $\omega$ . Le temps est noté  $t$ .

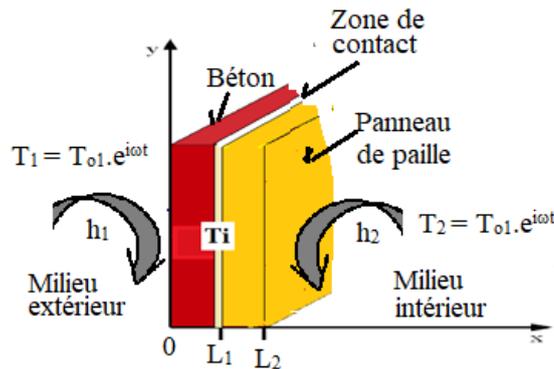


Fig. 1. Schéma du modèle d'étude

$$T_{01} = 45^{\circ}\text{C}$$

$$T_{02} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$T_i = 23^{\circ}\text{C}$$

$T_i$  est la température initiale du mur.

$h_1$  et  $h_2$  sont respectivement les coefficients d'échange thermiques à l'interface des milieux extérieur et intérieur.

## 3 MODÉLISATION MATHÉMATIQUE

Le phénomène de diffusion de chaleur dans le mur est régi par l'équation de la chaleur. En absence de source et puits de chaleur, elle est donnée par l'équation (1) ci-dessous :

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

$T(x, t)$  est la température du matériau à une profondeur  $x$  et au temps  $t$ .

$$\alpha_i = \frac{\lambda_i}{\rho_i * c_i} \quad (2)$$

$\alpha_i (m^2.s^{-1})$  est le coefficient de diffusivité thermique dans est le coefficient de diffusivité thermique du matériau  $i$ .

$i=1$  ou  $2$  pour la dalle en béton ou le panneau de paille de riz respectivement.

Les conditions aux limites traduisant les différents échanges thermiques aux interfaces et la condition initiale sont données par les équations ci-dessous.

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_1 \frac{\partial T_1(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_1 [ T_1(0, t) - T_{01} \cdot e^{j\omega t} ] \quad (3) \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=l} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=l} \quad (4) \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=l} = \frac{T_1(l, t) - T_2(l, t)}{R_c} \quad (5) \\ -\lambda_2 \frac{\partial T_2(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=L} = h_2 [ T_2(L, t) - T_{02} \cdot e^{j\omega t} ] \quad (6) \end{array} \right.$$

En considérant que le mur est à une température initiale  $T_i$

$\bar{T}(x, t)$  la température d'ajout on a donc :

$$T_i(x, t) = \bar{T}_i(x, t) + T_{0i} \text{ Avec } i=1 ; 2 \quad (7)$$

L'expression de l'équation (1) de la chaleur devient :

$$\frac{\partial^2(\bar{T}+T_i)}{\partial x^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial(\bar{T}+T_i)}{\partial t} = 0 \quad (8)$$

Les nouvelles conditions aux limites deviennent :

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_1 \frac{\partial \bar{T}_1(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_1 [ \bar{T}_1(0, t) + T_{0i} - T_{01} \cdot e^{j\omega t} ] \quad (9) \\ -\lambda_1 \frac{\partial \bar{T}_1(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=l} = -\lambda_2 \frac{\partial \bar{T}_2(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=l} \quad (10) \\ -\lambda_1 \frac{\partial \bar{T}_1(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=l} = \frac{[ \bar{T}_1(l, t) - \bar{T}_2(l, t) ]}{R_c} \quad (11) \\ -\lambda_2 \frac{\partial \bar{T}_2(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=L} = h_2 [ \bar{T}_2(L, t) + T_{0i} - T_{02} \cdot e^{j\omega t} ] \quad (12) \end{array} \right.$$

La résolution de l'équation (7) conduit à la solution suivante :

$$\bar{T}_1(h_1, h_2, \alpha, \omega, x, t) = [A_1 \sinh(\beta_1 \cdot x) + A_2 \cosh(\beta_1 \cdot x)] e^{j\omega t} \quad (13)$$

$$\bar{T}_2(h_1, h_2, \alpha, \omega, x, t) = [A_3 \sinh(\beta_2 \cdot x) + A_4 \cosh(\beta_2 \cdot x)] e^{j\omega t} \quad (14)$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{\omega}{2 \cdot \alpha_1}} (1 + j) \quad (15) \quad \beta_2 = \sqrt{\frac{\omega}{2 \cdot \alpha_2}} (1 + j) \quad (16)$$

Les coefficients  $A_1, A_2, A_3$  et  $A_4$  sont déterminés à partir des conditions aux limites

#### 4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les figures 2 et 3 montrent respectivement les évolutions de la température et de la densité de flux de chaleur en fonction de la résistance thermique de contact. L'influence de la pulsation excitatrice est mise en exergue.

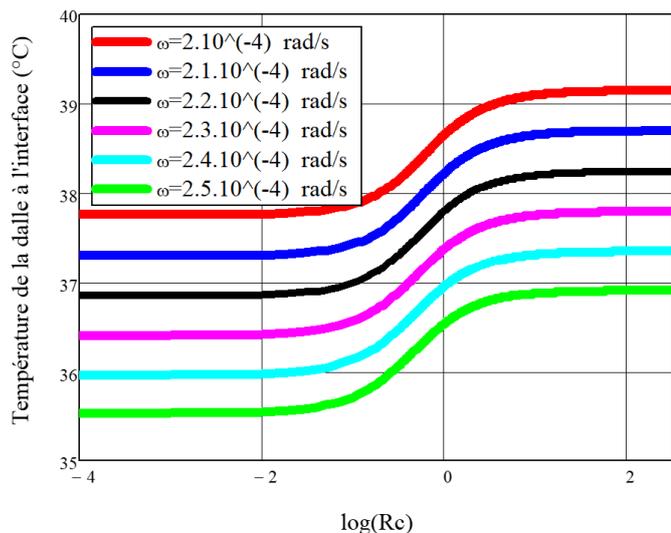


Figure 2-a

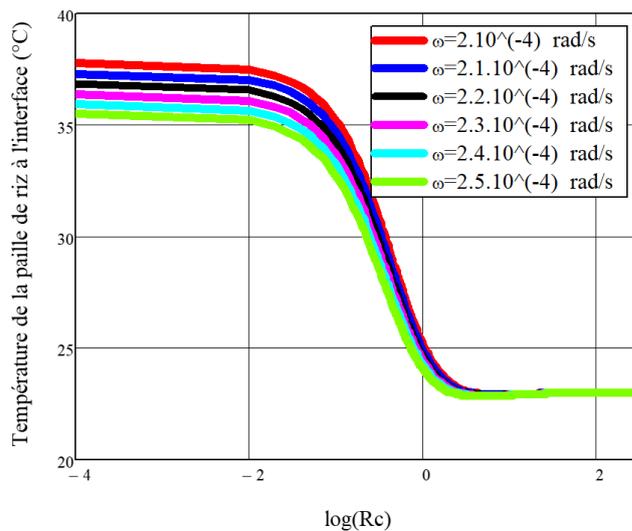


Figure 2-b

Fig. 2. Variation de la température en fonction de la résistance thermique de contact. Influence de la pulsation.  $x=0.05m$ ,  $h_1=100 W.m^{-2}.K^{-1}$ ,  $h_2=0.01 W.m^{-2}.K^{-1}$ . a : côté de la dalle ; b : côté de la paille de riz.

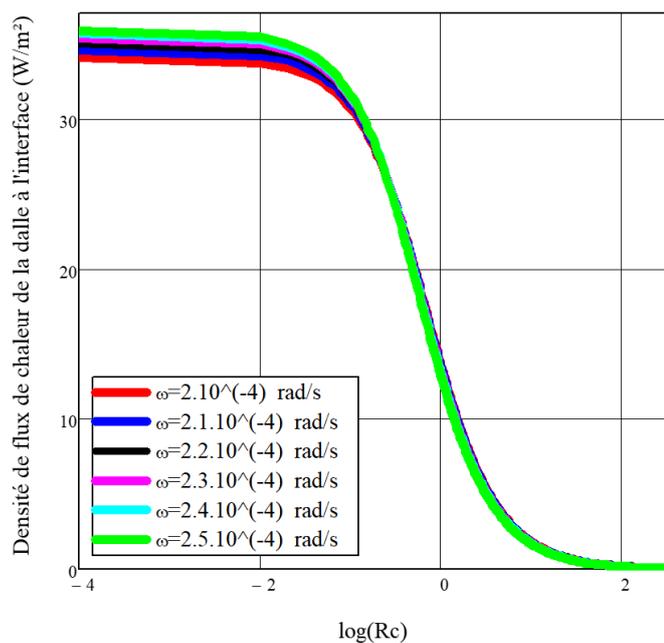


Figure 3-a

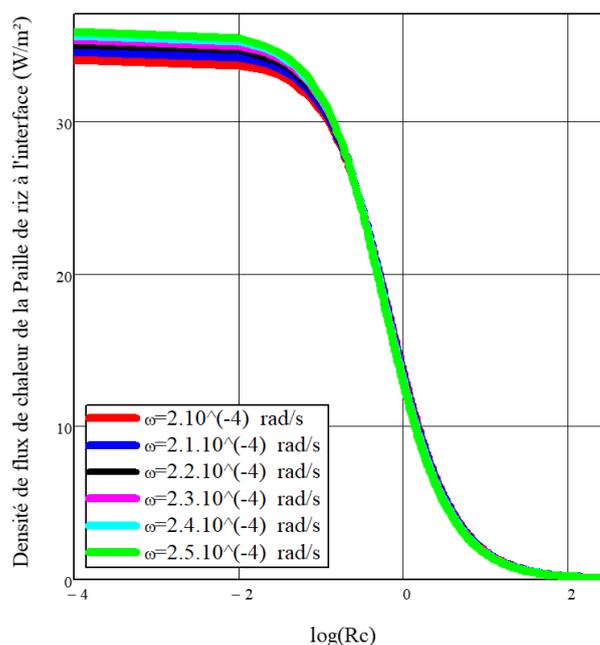


Figure 3-b

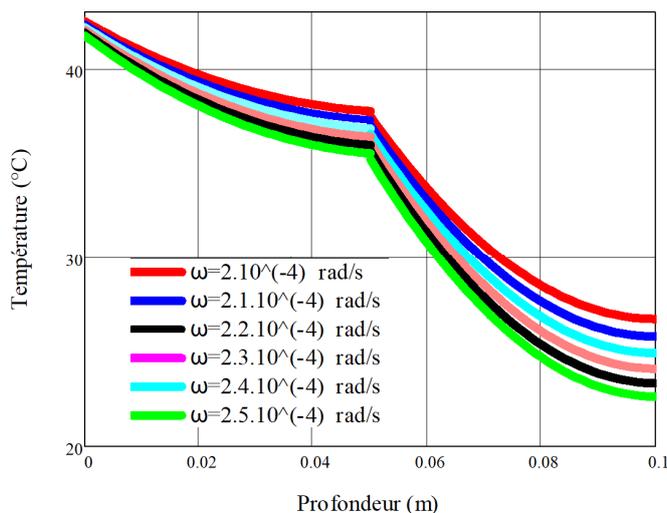
Fig. 3. Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la résistance thermique de contact. Influences de la pulsation.  $x=0.05m$ ,  $h_1=100 W.m^{-2}.K^{-1}$ ,  $h_2=0.01 W.m^{-2}.K^{-1}$ . a : côté de la dalle ; b : côté de la paille de riz.

Pour des valeurs faibles de la résistance thermique de contact ( $R_c \leq 10^{-2} W^{-1}.m^2.K$ ), les figures 2-a, 2-b, 3-a et 3-b montrent que le transfert thermique est pratiquement indépendant de la résistance thermique de contact ; le contact est dit parfait. La comparaison de la série de courbes sur une figure montre que le transfert thermique est favorisé pour les basses pulsations.

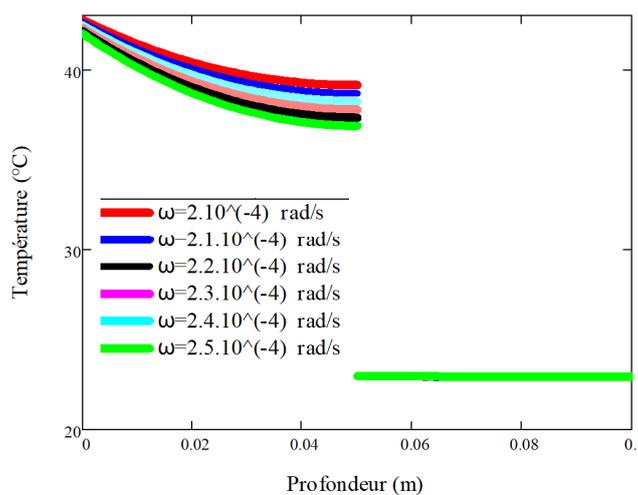
Pour  $(10^{-2} \leq R_c \leq 10^2) W^{-1}.m^2.K$ , on a une diminution considérable de la température lors du passage de la couche en béton au panneau de paille de riz. La résistance de contact favorise l'isolation thermique à partir d'une perte considérable du flux de chaleur illustrée par les figures 3-a et 3-b.

Pour  $R_c \geq 10^2 W^{-1}.m^2.K$ , la variation de la température entre le béton et la paille de riz est pratiquement indépendante de la résistance thermique ; la perte de flux de chaleur est maximale, le comportement en isolant thermique est considérable.

Les courbes des figures 4 et 5 montrent respectivement les évolutions de la température et de la densité de flux de chaleur à travers le mur pour une résistance de contact pratiquement nulle (figures 4-a et 5-a) et une résistance de contact considérable (figures 4-b et 5-b). L'influence de la pulsation excitatrice est mise en exergue.

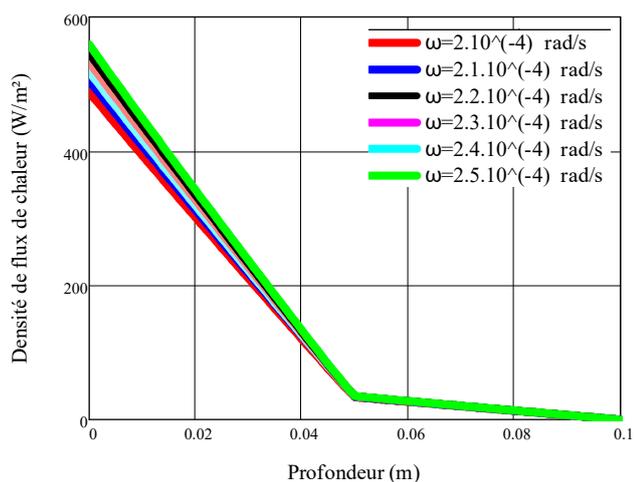


**Figure 4-a**

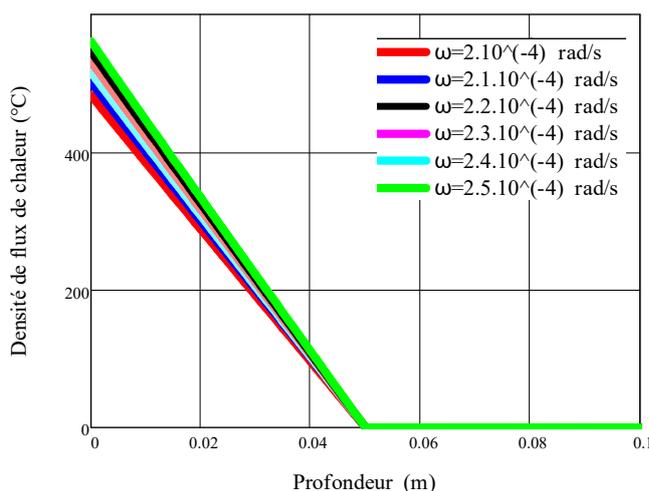


**Figure 4-b**

**Fig. 4. Evolution de la température à travers le mur en fonction de sa profondeur ; Influences de la pulsation.  $h_1=100 W.m^{-2}.K^{-1}$ ,  $h_2=0.01 W.m^{-2}.K^{-1}$ . a :  $R_c=10^{-2} W^{-1}.m^2.K^{-1}$  ; b :  $R_c = 10^2 W^{-1}.m^2.K^{-1}$ .**



**Figure 5-a**



**Figure 5-b**

**Fig. 5. Evolution de la densité de flux de chaleur à travers le mur en fonction de sa profondeur ; Influences de la pulsation.  $h_1=100 W.m^{-2}.K^{-1}$ ,  $h_2=0.01 W.m^{-2}.K^{-1}$ . a :  $R_c=10^{-2} W^{-1}.m^2.K^{-1}$  ; b :  $R_c = 10^2 W^{-1}.m^2.K^{-1}$ .**

Pour les faibles valeurs de la résistance de contact (figures 4-a et 5-a), on a une faible discontinuité de la température en passant de la dalle en béton au panneau de paille de riz. La tangente à partir de l'interface devient importante en valeur absolue. Ce phénomène est dû à la différence de propriétés d'isolant entre le béton et la paille de riz. La variation de densité de flux de chaleur est faible, ce qui correspond à une bonne rétention de la chaleur.

Pour des valeurs de la résistance de contact relativement élevé, (figures 4-b et 5-b), on a une forte discontinuité de la température en passant de la dalle en béton au panneau de paille de riz. La tangente, à partir de l'interface de la courbe de température est pratiquement nulle. Ce phénomène est dû à la résistance de contact qui dissipe une bonne partie de l'énergie provenant de la dalle en béton. La variation de la densité de flux de chaleur est nulle dans le panneau de paille de riz, ce qui correspond à une bonne rétention de la chaleur.

## 5 CONCLUSION

La résistance de contact entre la dalle de béton et le panneau de paille de riz accolés, joue un rôle important sur les propriétés d'isolation thermique du mur ainsi constitué. Les techniques de pose d'isolant thermique sur le béton doivent être optimisées en jouant sur les défauts de structures permettant une dissipation considérable de l'énergie à l'interface des deux matériaux.

Les défauts considérables de structure sont traduits par de grandes résistances thermiques de contact.

## RÉFÉRENCES

- [1] Mehdi S. Kaddory Al-Zubaidy, (2015). Green Energy: Examining Their Effects on Heritage Sites and Climate Change Mitigation. *Open Journal of Civil Engineering*,5, 39-52
- [2] Manyu Chang, Claudine Dereczynski, Marcos A. V. Freitas, Sin Chan Chou, (2014). Climate Change Index: A Proposed Methodology for Assessing Susceptibility to Future Climatic Extremes. *American Journal of Climate Change*, 3, 326-337
- [3] A.Mokhtari, K. Brahim et R. Benzaida, (2008). *Architecture et Confort Thermique dans les Zones Arides, Application au Cas de la Ville de Béchar*. *Revue des Energies Renouvelables*, Vol.11, N°2, pp. 307 – 315.
- [4] M.S. Ould Brahim, I. Diagne, S. Tamba, F. Niang and G. Sissoko. (2011). Characterization of the minimum effective layer of thermal insulation material towplaster from the method of thermal impedance. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 3(4): 337-343. E-ISSN: 2040-7467.
- [5] Abdoulaye Korka Diallo, Makinta Boukar, Mamadou Babacar Ndiaye, Alassane Diene, Paul Demba, Issa Diagne, Mohamed Sidya Ould Brahim and Grégoire Sissoko. (2014). Study of the Equivalent Electrical Capacity of a Thermal Insulating Kapok-plaster Material in Frequency Dynamic Regime Established. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 8(20): 2141-2145.
- [6] I. Diagne, M. Dieng, M.L. Sow, A. Wereme, F. Niang, G.Sissoko , (2014). Estimation de la couche d'isolation thermique efficace d'un matériau kapok-platre en regime dynamique frequential. *Cifem 2014, Edition Université de Rennes 1*, Pp.53-66
- [7] A.Wereme, S. Tamba, M.Sarr, A.Diene, F.Niang, G. Sissoko, (2010). Caracterisation des isolants thermique locaux de types sciure de bois et kapok : mesure de coefficient global d'echange thermique et de la conductivite thermique. *Journal Des Sciences*, Vol. 10, N°4 Pp39-46
- [8] Makinta Boukar, Mamadou Babacar Ndiaye, Alassane Diene, Paul Demba, Issa Diagne, Mohamed Sidya Ould Brahim and Grégoire Sissoko. (2014) 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, ISSN: 2040-7459; e-ISSN: 2040-7467.
- [9] Youssou Traore, Issa Diagne, Cheikh Sarr, Mohamed Sidya Ould Brahim, Abdoulaye Korka Diallo, Hawa Ly Diallo and Gregoire Sissoko, (2016). Influence of thermal exchange coefficient on the heat Retention rate of a concrete wall contiguous to a Thermal insulation tow-plaster. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11(5), pp. 2835-2840.