

Détermination de la bande de fréquence d'étude d'un matériau à base de kénaf à partir de l'évolution de la température et de la densité de flux de chaleur en fonction de la fréquence d'excitation

[Determination of the study frequency band of a kenaf material from the evolution of the temperature and the heat flux density as a function of the excitation frequency]

Ould Mohamed BAH¹, Mamadou Babacar NDIAYE¹, Youssou TRAORE², Seydou FAYE², Issa DIAGNE², Moussa GOMINA³, and Grégoire SISSOKO²

¹Institut Universitaire de Technologie, Université de Thiès, Senegal

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

³Laboratoire CRISMAT UMR 6508 ENSICAEN, CNRS ENSICAEN, 6 Bd Maréchal Juin, 14050, Caen Cedex 4, France

Copyright © 2018 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: In this paper, we propose a method for determining the frequency band of study of a kenaf-based material in frequency modulation. The impacts of depth and heat exchange coefficients at the front and rear faces, are highlighted in the dynamic frequency regime.

KEYWORDS: kenaf, Frequency band, heat exchange coefficient.

RESUME: Dans cet article, nous proposons une méthode de détermination de la bande de fréquence d'étude d'un matériau à base de kénaf en modulation de fréquence. Les impacts de la profondeur et des coefficients d'échange thermique en faces avant et arrière, sont mis en exergue en régime dynamique fréquentiel.

MOTS-CLEFS: kénaf, Bande de fréquence, coefficient d'échange thermique.

1 INTRODUCTION

La réduction de la consommation énergétique dans les bâtiments est un enjeu majeur. En effet, les matériaux de construction des habitats dans les pays tropicaux posent un problème d'efficacité d'énergie. Aussi leur isolation thermique permettra non seulement la réduction de la facture énergétique mais contribuera aussi à l'amélioration du confort thermique et acoustique. Plusieurs matériaux sont proposés dans le domaine de l'isolation thermique, ces matériaux peuvent être d'origine synthétiques (polystyrène, polyuréthane... etc) [1,2] ou naturels (végétal, animal, minéral) [3,4]. Des méthodes de caractérisation des matériaux locaux d'origine végétale sont proposées en modulation de fréquence [5-7] ou en dynamique transitoire [8,9].

Les isolants synthétiques sont les plus utilisés du fait de leurs performances mais posent des problèmes environnementaux [10].

Les besoins en protection de l'environnement et efficacité énergétique des bâtiments, tout en assurant un confort thermique optimal, orientent la recherche de solutions [11]. Pour relever ce défi, l'utilisation des matériaux locaux biodégradables pour l'isolation thermique représente un moyen efficace et rentable.

Dans ce travail, nous allons utiliser le Kénaf, de son nom scientifique, Hibiscus Cannabinus, qui est une plante de la famille des Malvaceae [11,12].

Nous proposons une méthode de détermination de la bande de fréquence d'étude d'un matériau naturel, le Kénaf en modulation de fréquence. L'influence de la profondeur et des coefficients d'échange thermique sur les interfaces du panneau de Kénaf sont proposés.

2 ETUDE THEORIQUE

Le dispositif est un matériau constitué de kénaf (figure 1), ce dernier est sous forme de panneau:

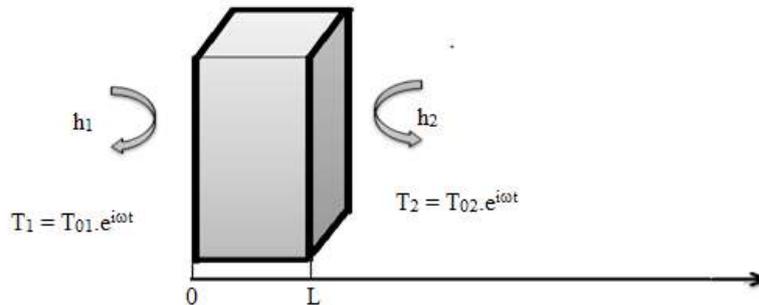


Fig. 1. Modèle d'étude composé de Kénaf soumis à des sollicitations climatiques extérieures.

$L = 0,05\text{m}$, $T_{01} = 35^\circ\text{C}$, $T_{02} = 20^\circ\text{C}$ et $T_0 = 25^\circ\text{C}$

Où :

h_1 est le coefficient d'échange thermique à la face avant ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)

h_2 est le coefficient d'échange thermique à la face arrière ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)

T_1 est la température du milieu extérieur ($^\circ\text{C}$)

T_2 est la température du milieu intérieur ($^\circ\text{C}$)

T_{01} est l'amplitude maximale de la température du milieu extérieur ($^\circ\text{C}$)

T_{02} l'amplitude maximale de la température du milieu intérieur ($^\circ\text{C}$)

ω est la pulsation excitatrice (rad/s)

t représente le temps (s)

2.1 EXPRESSION DE LA TEMPERATURE

Lorsque le matériau est excité par sa face externe, il y'a alors un phénomène de diffusion thermique à travers le matériau, régit par l'équation de la chaleur [13] suivante:

$$\lambda \cdot \frac{\partial^2 T(x,h1,h2,\omega,t)}{\partial x^2} + P_p = \rho \cdot c \cdot \frac{\partial T((x,h1,h2,\omega,t))}{\partial t} \quad (1)$$

Avec :

λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) est la conductivité thermique du matériau

c ($\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) est la chaleur spécifique du matériau

P_p ($\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$) est le puits de chaleur

ρ (Kg. m⁻³) est la masse volumique du matériau

x (m) est l'abscisse de la profondeur, suivant un axe orienté dans une direction perpendiculaire au plan du matériau.

T (°C) est la température dans le matériau

En l'absence de source de chaleur interne, on a $P_p = 0$, l'équation de la chaleur devient alors :

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

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

α est le coefficient de diffusivité thermique du matériau (m².s⁻¹)

$T(x, h1, h2, \omega, t)$ est la température (°C) à la profondeur x dans le panneau de kénaf

Le système d'étude est soumis aux conditions aux limites suivantes :

i) à la face avant du panneau ($x=0$ m) :

$$-\lambda \cdot \left. \frac{\partial T(x, h1, h2, \omega, t)}{\partial x} \right|_{x=0} = h1 [T_{a1} - T(0, h1, h2, \omega, t)] \quad (4)$$

ii) à la face arrière du panneau ($x=L$)

$$-\lambda \cdot \left. \frac{\partial T(x, h1, h2, \omega, t)}{\partial x} \right|_{x=L} = h2 [T(L, h1, h2, \omega, t) - T_{a2}] \quad (5)$$

iii) La condition initiale en température s'écrit :

$$T(x, h1, h2, \omega, 0) = T_i \quad (6)$$

Pour introduire la température initiale, nous posons le changement de variable :

$$\tilde{T}(x, h1, h2, \omega, t) = T(x, h1, h2, \omega, t) - T_i \quad (7)$$

Ainsi l'équation de chaleur et les conditions aux frontières du panneau deviennent :

$$\frac{\partial^2 \tilde{T}(x, h1, h2, \omega, t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial \tilde{T}(x, h1, h2, \omega, t)}{\partial t} \quad (8)$$

iv) à la face avant ($x=0$ m) :

$$\lambda \cdot \left. \frac{\partial \tilde{T}(x, h1, h2, \omega, t)}{\partial x} \right|_{x=0} = h1 [\tilde{T}(0, h1, h2, \omega, t) + T_i - T_{a1}] \quad (9)$$

v) à la face arrière ($x=L$)

$$-\lambda \cdot \left. \frac{\partial \tilde{T}(x, h1, h2, \omega, t)}{\partial x} \right|_{x=L} = h2 [\tilde{T}(L, h1, h2, \omega, t) + T_i - T_{a2}] \quad (10)$$

vi) Condition initiale en température :

$$\tilde{T}(x, h1, h2, \omega, 0) = 0 \quad (11)$$

La solution générale de l'équation (8) est donnée par l'expression:

$$\tilde{T}(x, h1, h2, \omega, t) = (A(h1, h2, \omega, t) \cdot \sinh(\beta(\omega) \cdot x) + B(h1, h2, \omega, t) \cdot \cosh(\beta(\omega) \cdot x)) \cdot \exp(i\omega t) \quad (12)$$

Les composantes $A(h1, h2, \omega, t)$ et $B(h1, h2, \omega, t)$ sont obtenus à partir des conditions aux limites (9) et (10).

2.2 EXPRESSION DE LA DENSITE DE FLUX DE CHALEUR

J. Fourier a proposé une relation, selon laquelle la densité de flux est proportionnelle au gradient de la température [13] :

$$\vec{\phi}(x, h1, h2, \omega, t) = -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad}} T(x, h1, h2, \omega, t) \quad (13)$$

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 PROFIL DE LA TEMPERATURE ET DE LA DENSITE DE FLUX DE CHALEUR EN FONCTION DU LOGARITHME DECIMAL DE LA PULSATION

La transmission de chaleur dans le matériau dépend de la fréquence d'excitation, de l'épaisseur et des coefficients d'échange thermique.

3.1.1 INFLUENCE DE LA PROFONDEUR

La figure 2 présente l'évolution de la température et de la densité de flux de chaleur en fonction du logarithme décimal de la pulsation excitatrice sous l'influence de la profondeur dans le panneau de kénaf.

Nous notons une faible variation de la température et de la densité de flux de chaleur en fonction du logarithme décimal de la fréquence d'excitation pour des pulsations inférieure à 10^{-4} rad/s. Dans cette zone la température est maximale et avoisine celle du milieu extérieur donnant ainsi une faible valeur de la quantité de chaleur par unité de surface. Cette zone correspondant à une longue période d'excitation, le kénaf n'a pas le temps de se relaxer. Ainsi, il a un comportement de conducteur thermique [14].

Au-delà de cette fréquence, la température diminue et tend vers celle du matériau à l'état initial. Ceci favorise le réchauffement de ce dernier traduisant le stockage d'une importante quantité de chaleur. Celle-ci est plus accentuée à la surface mais diminue lorsqu'on est en profondeur.

Par conséquent, les fréquences les plus favorables au stockage de chaleur sont comprises entre 10^{-4} rad/s et 10^{-2} rad/s et sont appelés la bande de fréquence d'étude.

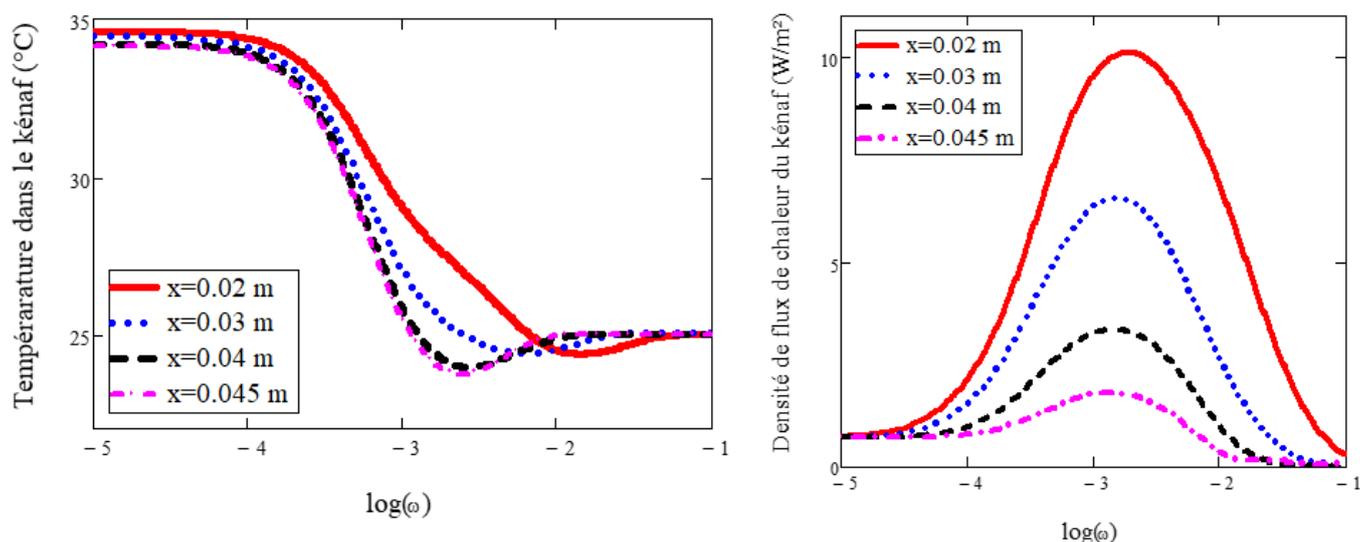


Fig. 2. Température et densité de flux de chaleur en fonction logarithme décimal de la pulsation sous l'influence de la profondeur. ($h_1 = 100 W.m^{-2} .K^{-1}$; $h_2 = 0,05 W.m^{-2} .K^{-1}$)

3.2 INFLUENCE DES COEFFICIENTS D'ÉCHANGE THERMIQUE A LA FACE AVANT ET A LA FACE ARRIERE

Les phénomènes d'échange de chaleur entre l'interface d'un solide et un fluide sont définis par les coefficients d'échange thermique à la face avant et à la face arrière.

Les figures 3 et 4 donnent les profils de la température et de la densité de flux de chaleur en fonction de logarithme décimal de la pulsation excitatrice sous l'influence du coefficient d'échange thermique en face avant h_1 et du coefficient d'échange thermique en face arrière h_2 .

L'évolution de la température et de la densité de flux de chaleur en fonction de la fréquence, présente les mêmes allures.

La température est maximale et proche de celle du milieu extérieur pour les faibles pulsations excitatrices correspondant à de longues périodes de sollicitation. A ces pulsations, la température est d'autant plus importante que le coefficient h_1 à une grande valeur.

Pour les pulsations d'excitation comprises entre 10^{-4} rad/s et 10^{-2} rad/s, la température diminue considérablement en fonction de la fréquence. Cependant, la densité de flux augmente jusqu'à un maximum puis diminue. Elle est d'autant plus importante que le coefficient d'échange thermique est élevé. Pour les hautes fréquences supérieures à 10^{-2} rad/s, la densité de flux est pratiquement nul car, la température du matériau se stabilise.

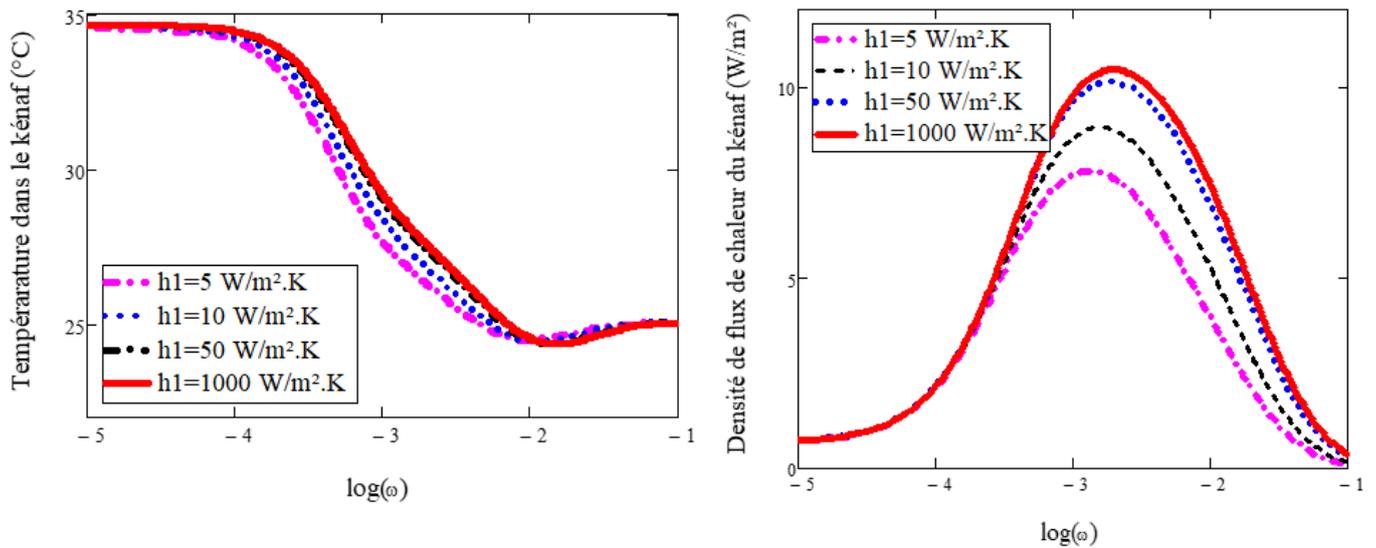


Fig. 3. Température et densité de flux de chaleur en fonction de la pulsation excitatrice sous influence du coefficient d'échange en face avant h_1 . ($x = 0,03m$; $h_2 = 0,05W.m^{-2} .K^{-1}$)

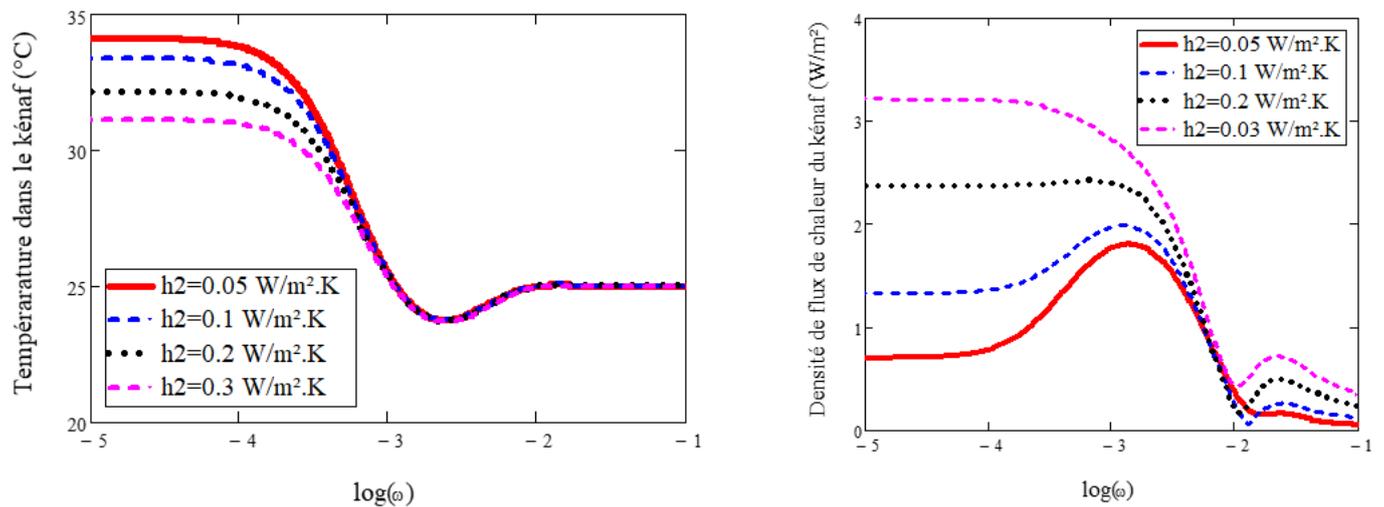


Fig. 4. Température et la densité de flux de chaleur en fonction logarithme décimal de la pulsation excitatrice sous influence du coefficient d'échange en face arrière h_2 . ($x=0,045m$, $h_1 = 0,05W.m^{-2} .K^{-1}$)

4 CONCLUSION

La quantité de chaleur transmise dans le panneau de kénaf dépend de la fréquence d'excitation. La quantité de chaleur emmagasinée ou transmise est fonction de son épaisseur, les coefficients d'échange thermique en faces avant et arrière. Les fréquences favorables à l'emmagasinement d'énergie sont définies et comprises entre 10^{-4} rad/s et 10^{-2} rad/s.

REFERENCES

- [1] M. F. Couturier, K. George, and M. H. Schneider, (1996), « Thermophysical properties of wood-polymer composites », *Wood Science and Technology*, vol. 30, pp. 179-196.
- [2] Martin Rides, Junko Morikawa, Lars Halldahl, Bruno Hay, Hubert Lobo, Angela Dawson, and Crispin Allen, (2009) « Intercomparison of thermal conductivity and thermal diffusivity methods for plastics », *Polymer Testing*, vol. 28, pp.480-489.
- [3] I. Diagne, M. Dieng, M.L. Sow, A. Wereme, F. Niang, G.Sissoko, (2010) « Estimation de la couche d'isolation thermique efficace d'un materiau kapok-platre en regime dynamique frequentiel » Cifem2014 , Edition Université de Rennes 1, Pp.53-66
- [4] 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'échange thermique et de la conductivite thermique » *Journal Des Sciences*, Vol. 10, N°4 Pp39-46 (<http://www.cadjds.org>)
- [5] Y. Traore, E.B. Diaw, I. Diagne, M.B. Ndiaye, S. Tamba, B. Fleur, M. Dieng, A.K. Diallo and G. Sissoko, (, 2016) « Characterization Phenomena of Thermal Transfer Through an Insulating Material Kapok-plaster Starting from Dynamic Impedance Method", *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, Vol. 7, pages 712-715.
- [6] D. Diao, A. Diene, M. L. Lo, M. S. O. Brahim, Y. Traore, A. K. Diallo, I. Diagne, H. L. Diallo, M. Boukar and G. Sissoko, (2016) « Study of Thermal Exchange Phenomena in Surface of Thermal Insulation Kapok-Plaster », *International Application of Science Technology*, Vol. 33 N°1, pages 18-25.
- [7] M.S Ould Brahim, I. Diagne, S. Tamba, F. Niang and G. Sissoko, (2011) « Characterization of the minimum effective layer of thermal insulation material tow-plaster from the method of thermal impedance », *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 3(4) : 337-343, ISSN : 2040-7459
- [8] Cheikh Tidiane Sarr, Issa Diagne, Mamadou Lamine Sow, (2009) « Caractérisation des isolants thermiques cylindriques par une méthode analogique : Application au Kapok » *J. Sci* Vol. 9, N° 3, 32 – 46 (<http://www.cadjds.org>)
- [9] G. Sissoko, M. Adj, D. Azalinon, V. Sambou, A. Wereme, (2001), « Characterization by thermal transient phenomena of concrete slab recuperating solar energy » *Journal des Sciences*, Vol. 1, N°2, Pp 36-46 (<http://www.cadjds.org>)
- [10] M. S. Ould Brahim, S.Tamba, M.Sarr, A. Diène, I. Diagne, F. Niang, G. Sissoko, (2010) « Caractérisation d'un matériau isolant thermique filasse-plâtre à partir de l'impédance thermique en régime dynamique fréquentiel », *Journal des Sciences*, Vol. 10, N° 3, pages 46-54, (<http://www.cadjds.org>)
- [11] Amen Yawo Nenonene , Koffi Koba, Komla Sanda, Luc Rigal, (2014) « Chemical composition and adhesive properties of extracts of tannin contained organs of some plants of Togo by agglomerating kenaf stem (*Hibiscus cannabinus* L.) particules », *J. Soc. Ouest-Afr. Chim*, Vol. 37, pages 49-55.
- [12] Izran, K., Zaidon, A., Guenter, B., Abdul Rashid, A.M., Abood, F. and Rahim, S., (2010) « Optimizing Treatment System of Kenaf (*Hibiscus cannabinus*) Particleboard With Fire Retardants », *Journal of Tropical Forest Science* 22(2):175-183.
- [13] J. Fourier « Théorie analytique de la chaleur », (2004) Editons Jacques Gabay.
- [14] Y. Traore, S. Tamba, A. Diene, K. O. Cheikh, M. DIENG, E. H. B. M. Nyakhaté, I. Diagne, and G. Sissoko, (2017) « Study of the transfer of heat through a road in dynamic frequency regime: the influence of the extrinsic parameters », *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 20 N° 2, pages 616-623.