

Evaluation de l'Inertie Thermique à partir de l'Etude de la Capacité Equivalente de la Dalle en Béton Accolé à du Filasse-Plâtre en Régime Dynamique Fréquentiel

[Evaluation of the Thermal Inertia from the Study of the Equivalent Capacity of the Concrete Slab Adjoining to Tow-Plaster in Dynamic Frequency Regime]

Youssou TRAORE¹, Alassane DIENE², Séni TAMBA², Khatry OULD CHEIKH¹, Moussa DIENG¹, El Hadji Bala Moussa Nyakhaté², Issa DIAGNE¹, and Grégoire SISSOKO¹

¹Laboratoire des Semi-conducteurs et d'Energie Solaire, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal

²Ecole Polytechnique de Thiès, Thiès, Sénégal

Copyright © 2017 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 study, we propose an evaluation method of the thermal inertia for two adjoining materials to one another from the heat capacity. The expression of the capacity has been deduced from the thermal-electrical analogy in dynamic frequency regime. The influences of the exciting pulse and depth in the concrete slab and in the tow-plaster on the heat capacity were presented.

KEYWORDS: concrete slab, tow-plaster, dynamic frequency regime, pulse excitation, Thermal inertia, equivalent capacity.

RÉSUMÉ: Dans cette étude, nous proposons une méthode d'évaluation de l'inertie thermique pour deux matériaux accolés l'un à l'autre à partir de la capacité thermique. L'expression de la capacité est obtenue à partir de l'analogie thermique-électrique en régime dynamique fréquentiel. Les influences de la pulsation excitatrice et de la profondeur dans la dalle en béton et dans le filasse-plâtre sur la capacité équivalente sont présentées.

MOTS-CLEFS: dalle en béton, filasse-plâtre, régime dynamique fréquentiel, pulsation excitatrice, Inertie thermique, Capacité équivalente.

1 INTRODUCTION

De nos jours, l'économie d'énergie passe inévitablement par la façon de concevoir nos constructions (bâtiments domestiques, bureaux...). Les bâtiments doivent répondre à certaines normes du point de vue confort thermique. Cet objectif a conduit certains pays à adopter une réglementation thermique. Des études montrent que l'utilisation de matériaux locaux d'origine végétale (la filasse, le kapok, les coques d'arachides...) [1,2] comme isolant thermique dans certains types d'édifices permet d'obtenir un meilleur confort thermique et par conséquent une économie d'énergie.

Plusieurs méthodes thermiques sont proposées pour caractériser des matériaux. Parmi ces méthodes on peut citer la méthode de l'impédance thermique basée sur l'analogie thermique-électrique [3-6]. Les travaux des auteurs I. Diagne [1] et korka [7] ont mis respectivement en exergue l'existence d'une couche d'isolation thermique efficace ou épaisseur d'isolation optimale emmagasinant l'essentiel de la chaleur au voisinage de la face excitée de l'isolant thermique.

A partir de l'évaluation de la capacité équivalente de la dalle en béton et de la filasse-plâtre, nous montrons l'évolution de l'inertie thermique des différents matériaux et son influence sur le confort thermique des bâtiments.

2 ETUDE THEORIE

2.1 SCHÉMA D'ÉTUDE

Le dispositif d'étude est une dalle en béton accolée à un matériau en filasse-plâtre. Nous considérons que le contact thermique est parfait. La face supérieure de la dalle en béton est soumise à des contraintes climatiques extérieures du milieu ambiant et l'autre face du filasse-plâtre est dans le milieu ambiant intérieur du bâtiment. Les contraintes climatiques sont en régime dynamique fréquentiel.

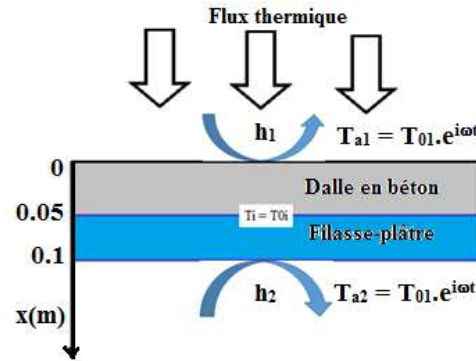


Figure 1: mur de béton accolé à la filasse-plâtre sous contraintes climatiques.

$T_{01}=35^{\circ}\text{C}$, $T_{02}=20^{\circ}\text{C}$ et $T_{0i}=25^{\circ}\text{C}$ sont respectivement les températures maximales des milieux extérieurs, intérieurs et la température initiale du matériau. h_1 et h_2 sont respectivement les coefficients d'échange thermique à la face extérieure et à la face intérieure. T_{a1} et T_{a2} les températures des milieux extérieur et intérieur en régime dynamique fréquentiel.

T_i est la température initiale du système.

2.2 EXPRESSION DE LA TEMPÉRATURE

L'équation de la chaleur [8], sans source ni puits de chaleur est donnée par la relation (1) (où $i=1$ ou 2 respectivement pour la dalle en béton et le filasse-plâtre).

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

$$\text{Avec} \quad \alpha_i = \frac{\lambda_i}{\rho_i \cdot c_i} \quad [9] \quad (2)$$

α_i : le coefficient de diffusivité thermique du matériau ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

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

ρ_i : la masse volumique du matériau ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

c_i : la capacité calorifique du matériau ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)

$T_i(x,t)$: la température ($^{\circ}\text{C}$) intérieur du mur en une position de profondeur x et à la date t .

Les conditions aux limites :

$$\left\{ \begin{array}{l} -\lambda_1 \frac{\partial T_1(x, h_1, h_2, \omega, t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_1 (T_{a1} - T(0, h_1, h_2, \omega, t)) \quad (3) \\ -\lambda_2 \frac{\partial T_2(x, h_1, h_2, \omega, t)}{\partial x} \Big|_{x=L} = h_2 (T_2(L, h_1, h_2, \omega, t) - T_{a2}) \quad (4) \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1(x, h_1, h_2, \omega, t)}{\partial x} \Big|_{x=l} = \lambda_2 \frac{\partial T_2(x, h_1, h_2, \omega, t)}{\partial x} \Big|_{x=l} \quad (5) \\ T_1(l, h_1, h_2, \omega, t) = T_2(l, h_1, h_2, \omega, t) \quad (6) \\ T(x, h_1, h_2, \omega, t = 0) = T_i = T_{0i} \quad (7) \end{array} \right.$$

$$\text{Posons} \quad \bar{T}_i(x, t) = T_i(x, t) - T_i \quad (8)$$

En tenant compte de la relation (8), la solution de l'équation est la forme suivante :

$$T_i(x, h_1, h_2, \omega, t) = (A_i * \sinh(\beta_i \cdot x) + B_i \cdot \cosh(\beta_i \cdot x)) \cdot e^{i\omega t} + T_i \quad (9)$$

$$\text{Avec} \quad \beta_i(\omega) = \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha_i}} * (1 + i) \quad (10)$$

$$\text{et} \quad L_i^*(\omega) = \frac{1}{\beta_i(\omega)}$$

$L_i^*(\omega)$ est la longueur de diffusion complexe thermique (unité en mètre)

Les composants A_i et B_i sont obtenues à partir des conditions aux limites.

2.3 DENSITÉ DE FLUX DE CHALEUR ET CAPACITÉ ÉQUIVALENTE

La densité de flux de chaleur est donnée par la loi de fourrier :

$$\vec{\Phi}_i(x, h_1, h_2, \omega, t) = -\lambda_i \cdot \overrightarrow{grad} T_i(x, h_1, h_2, \omega, t) \quad (11)$$

La capacité équivalente [10] du matériau traduit le pouvoir d'emmagasinement et de restitution de la chaleur par un matériau. Par analogie électrique-thermique, on déduit la capacité équivalente à partir de la relation (12).

$$C_{th}(x, h_1, h_2, \omega, t) = \frac{\int_0^t \Phi(x, h_1, h_2, \omega, t) dt}{\Delta T(x, h_1, h_2, \omega, t)} = \frac{1}{i * \omega * Ze(x, h_1, h_2, \omega, t)} \quad (12)$$

3 RÉSULTATS

Lorsqu'on applique une différence de température entre deux points dans la dalle en béton ou dans le filasse-plâtre, on assiste à une accumulation d'énergie. Cette quantité d'énergie emmagasinée dépend de la période des sollicitations climatiques et des caractéristiques isolantes du matériau traduisant son inertie thermique.

3.1 CAPACITÉ ÉQUIVALENTE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR

Les figures 2 et 3 représentent respectivement les capacités équivalentes dans la dalle et dans le filasse-plâtre en fonction de la profondeur du matériau.

Les deux figures montrent un comportement différent de la dalle en béton comparé au matériau de filasse-plâtre. Sur une profondeur d'environ 0.02m, le béton présente une variation de la capacité équivalente pouvant atteindre 1000 W.K.m^{-2} tandis que le filasse-plâtre présente une variation d'environ 150 W.K.m^{-2} . Ce qui traduit un phénomène d'échauffement important pour la dalle de béton et un fort amortissement de la transmission de la chaleur par l'isolant filasse-plâtre.

Le pic observé sur la figure 3 au voisinage du milieu intérieur est dû à l'influence des phénomènes d'échange thermique au niveau de cette face. Pour la pulsation $10^{-2} \text{ rad.s}^{-1}$ relativement élevé, les périodes de sollicitations sont courtes et il apparaît des phénomènes de relaxation se traduisant par une augmentation de la capacité équivalente de la filasse plâtre.

Globalement, les figures montrent que la capacité équivalente à tendance à diminuer lorsque la pulsation excitatrice augmente.

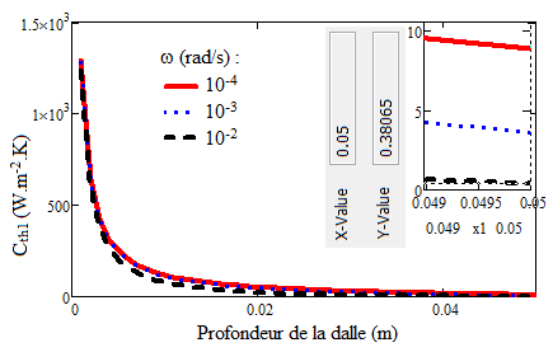


Figure 2: Capacité équivalente dans la dalle en fonction de sa profondeur.
 $h_1=100W.m^{-2}.k^{-1}$; $h_2=1W.m^{-2}.k^{-1}$

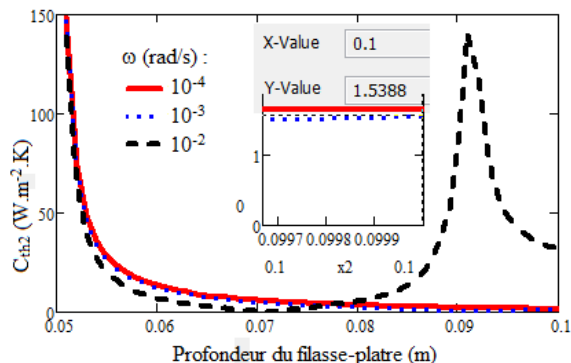


Figure 3: Capacité équivalente dans le filasse-plâtre en fonction de sa profondeur.
 $h_1=100W.m^{-2}.k^{-1}$; $h_2=1W.m^{-2}.k^{-1}$

3.2 DIAGRAMMES DE BODE ET DE NYQUIST

3.2.1 DIAGRAMME DE BODE DE LA CAPACITÉ ÉQUIVALENTE

Les figures 4-a et 4-b présentent l'évolution du module de la capacité équivalente des matériaux dalle en béton et filasse-plâtre en fonction de la pulsation excitatrice. Le module de la capacité de la dalle en béton est relativement faible sauf pour $\omega \approx 5.10^{-3}rad.s^{-1}$; les phénomènes de diffusion sont ainsi plus importants dans le matériau béton que les phénomènes d'emmagasinement d'énergie. La figure 5 montre ainsi des phénomènes de résonance électrique pour les basses pulsations, confirmant ainsi les phénomènes de conduction dans le béton.

La figure 4-b montre que le module de la capacité dans le filasse-plâtre est dynamique en fonction de la pulsation excitatrice. Le module de la capacité diminue avec la pulsation. La figure 6 montre cependant que les phénomènes d'emmagasinement sont relativement considérables pour les hautes pulsations. Le comportement électrique peut ainsi être modélisé par un circuit électrique RLC oscillant.

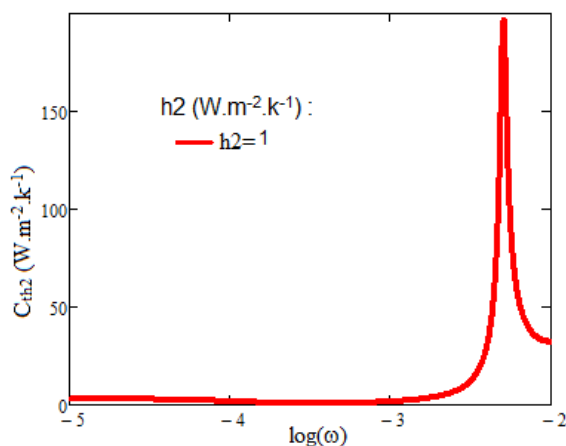


Fig 4-a

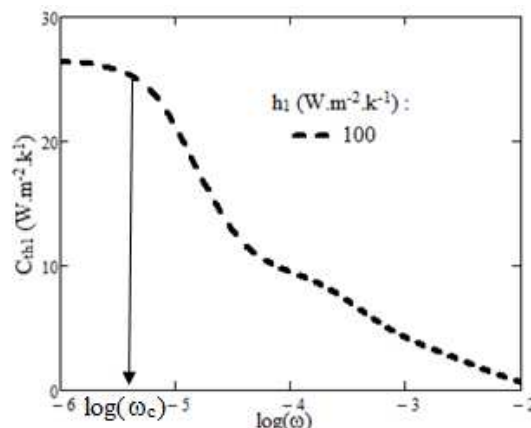


fig 4-b

Figure 4: Capacité équivalente dans la dalle (fig 4-a) et dans le filasse-plâtre (fig 4-b) en fonction du logarithme décimal de la pulsation.

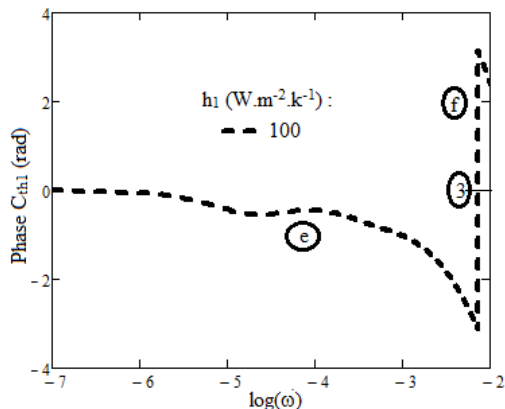


Figure 5: Phase de la capacité thermique dans la dalle en fonction de logarithme décimal de la pulsation

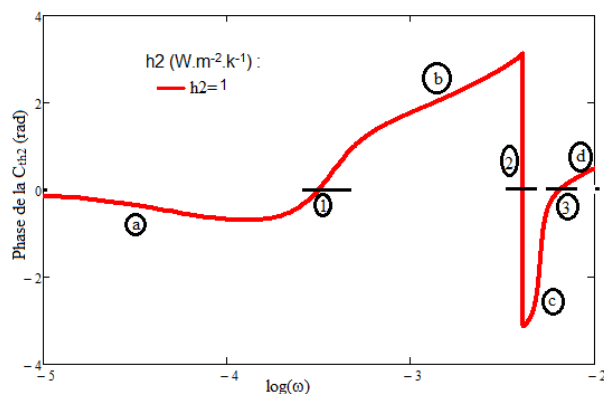


Figure 6: Phase de la capacité thermique dans le filasse-plâtre en fonction de logarithme décimal de la pulsation

3.3 REPRÉSENTATION DE NYQUIST

L'analyse des courbes des figures 7 et 8 confirme la différence de comportement considérable de la dalle en béton comparée à la filasse-plâtre. Les figures 7-e et 7-f montrent respectivement une possibilité d'un comportement capacitif de la dalle en béton et la présence d'une résistance négative traduisant un flux de chaleur circulant en sens inverse.

Les figures 8 montrent les comportements variés de l'isolant thermique filasse-plâtre en fonction des contraintes climatiques. Les figures 8- a et 8-b montrent respectivement des comportements de circuits RLC capacitif et inductif ; la figure 8-c regroupe les deux effets observés sur les figures 8-a et 8-b.

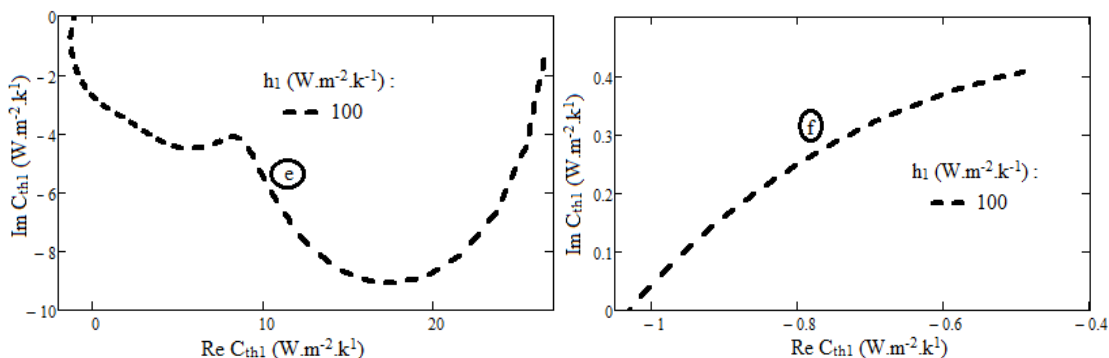


Figure 7: Partie imaginaire de la capacité équivalente dans la dalle en béton en fonction de sa partie réelle.

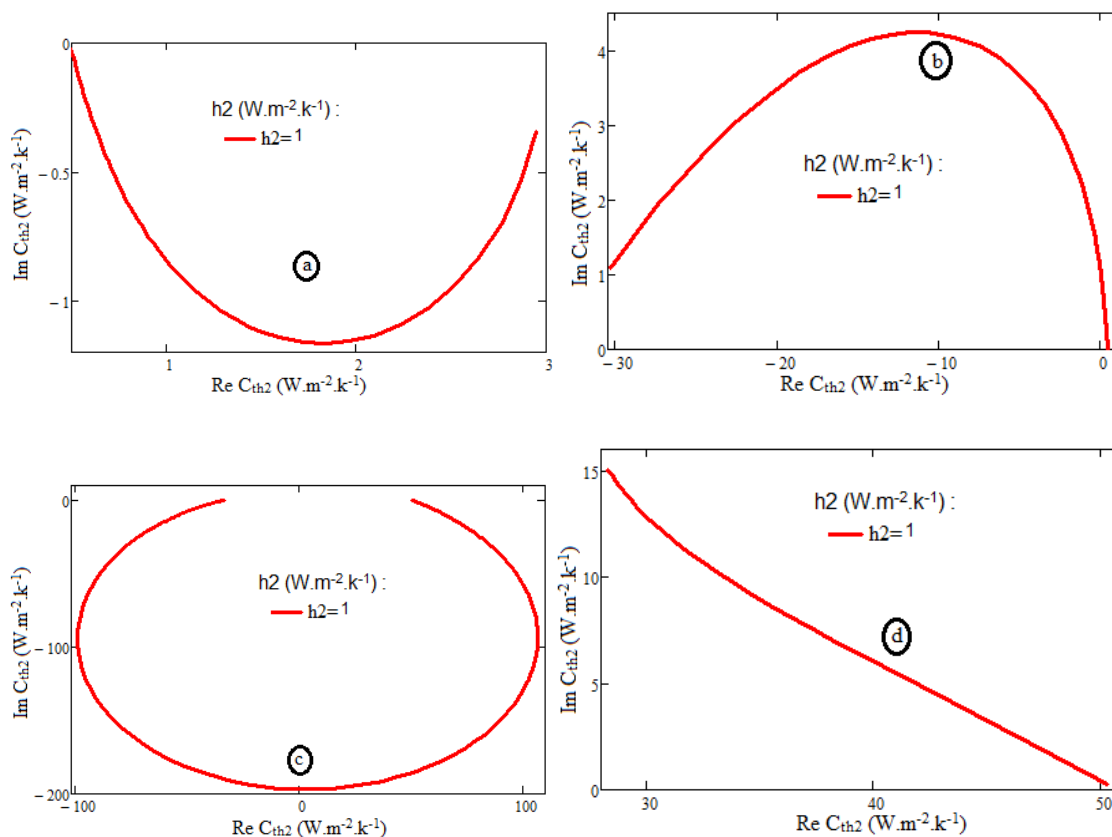


Figure 8: Partie imaginaire de la capacité équivalente dans le filasse-plâtre en fonction de sa partie réelle.

4 CONCLUSION

Le modèle d'étude par analogie thermique-électrique permet d'interpréter les phénomènes de transfert et d'emménagement de chaleur dans les matériaux isolants ou de conductivité thermique proche de celle des isolants.

L'analyse de la capacité électrique équivalente a permis de mettre en exergue la qualité de l'isolant thermique mis en contact avec une dalle en béton.

L'utilisation des diagrammes de Bode et des représentations de Nyquist a permis de quantifier les phénomènes de transfert de chaleur ce qui permet d'établir un rapport entre le comportement thermique de la dalle en béton et celui de l'isolant thermique filasse-plâtre.

REFERENCES

- [1] I. Diagne, M. Dieng, M.L. Sow, A. Wereme, F. Niang, G.Sissoko « Estimation de la couche d'isolation thermique efficace d'un materiau kapok-platre en regime dynamique frequentiel » 2010, Cifem2014 , Edition Université de Rennes 1, Pp.53-66
- [2] A.Wereme, S. Tamba, M.Sarr, A.Diene, F.Niang, G. Sissoko «Caracterisation des isolants thermique locaux de types sciure de bois et kapok : mesure de coefficient global d'echange thermique et de la conductivite thermique » 2010, Journal Des Sciences, Vol. 10, N°4 Pp39-46
- [3] I. Diagne, B. Fleur, M. O. Sidya, S. Gaye, G. Sissoko « Determination de parametres thermiques d'un materiau en regime dynamique frequentiel à partir de diagrammes de bode et de representations de nyquist » 2008, Journal Des Sciences, Vol. 8, N°2 Pp 88-98
- [4] A. Diouf, I. Diagne, M. Dieng, M. S. O. Brahim, A. Wereme, G. Sissoko « Transfert de chaleur en regime dynamique frequentiel dans un materiau cylindrique : Etude de l'impedance dynamique equivalente de la filasse » 2010, Journal Des Sciences, Vol. 10, N°1 Pp 23-33

- [5] C. T. Sarr, I. Diagne, M. L. Sow, A. Wereme, S. Gaye, G.Sissoko « Caracterisation des isolants thermiques cylindriques par une methode analogique : application au kapok », 2009, Journal Des Sciences, Vol. 9, N°3 Pp 32-46
- [6] B. Bourouga, V. Goizet, JP. Bardon «Les aspects théoriques régissant l'instrumentation d'un capteur thermique pariétal à faible inertie », 2000, Int. J. Therm, Vol.39, Pp 96-109
- [7] K. A. Diallo, M. BOUKAR, E. B. DIAW, P. DEMBA, I. DIAGNE And G. SISSOKO « characterization of the thermal behavior of a kapok-plaster material by studying the temperature in frequency dynamic regime » 2015, International Journal Of Innovative Science, Engineering And Technology, Vol. 2 Issue 1, Pp 308-310
- [8] Y. Jannot, A. Degiovanni And G. Payet « Thermal Conductivity Measurement of Insulating Materials with A three Layers Device », 2009, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 52, N°5-6, Pp 1105-1111
- [9] J. C Marechal And J. M. Devisme « Diffusivité thermique des Matériaux de Construction : Méthode du signal périodique », 1978 Annales I. T. B. T. P , N° 357
- [10] K. A. Diallo, M. Boukar, M. B. Ndaye, A. Diene, P. Demba, I. Diagne, M. O. Brahim And G. Sissoko « Study of the equivalent electrical of a thermal insulating kapok-plaster material in frequency dynamic regime established » 2014, Research Journal of Applied Sciences, Engineering And Technolog, pp 2141-2145.