

Etude du comportement thermique et électrique en modulation de fréquence d'une structure de chaussée à base de déchets de sacs en plastique broyés et de résidu de canne à sucre dans du mélange bitumineux pour une meilleure performance routière

[Study thermal and electrical behavior in frequency modulation of a pavement structure based on crushed plastic bag waste and sugar cane residue in bituminous mixture for better road performance]

Alassane Diene¹, Mamadou Lamine Lo¹, Abdoulaye Sene¹, Ndack Niang¹, Seydou Faye², Youssou Traore², Mamadou Babacar Ndiaye³, and Gregoire Sissoko²⁻⁴

¹Polytechnic School of Thiès, BP A10, Thiès, Senegal

²Laboratory of Semiconductors and Solar Energy, Physics Department, Faculty of Science and Technology, University Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal

³University Institute of Technology, University Iba Der THIAM of Thiès, Senegal

⁴Groupe International de Recherche en Energie Renouvelable, BP. 15003 Dakar Fann, Senegal

Copyright © 2022 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 work, we present a study of heat transfer through the different layers of a frequency modulated pavement structure. Solving the heat equation for the different layers obtained the temperature and the heat flux density of each layer (from the wearing course to the base layer) of the structure. The expression of the equivalent thermal impedance of the wearing course in crushed plastic bag waste and sugar cane residue, found by thermal electrical analogy, allowed to study the diagrams of Bode, its phase and his portrayal of Nyquist. These studies are carried out in the illumination zone and in the shaded zone.

KEYWORDS: Waste plastic bags, sugar cane residue, pavement, equivalent thermal impedance.

RESUME: Dans ce travail, nous présentons une étude du transfert thermique à travers les différentes couches d'une structure de chaussée en modulation de fréquence. La résolution de l'équation de la chaleur relative aux différentes couches a permis d'obtenir la température et la densité de flux de chaleur de chaque couche (de roulement jusqu'à la couche de base) de la structure. L'expression de l'impédance thermique équivalente de la couche de roulement en de déchets de sacs en plastique broyés et du résidu de canne de sucre, trouvé par analogie électrique thermique a permis d'étudier les diagrammes de Bode, de sa phase et de sa représentation de Nyquist. Ces études sont faites en zone d'éclairage et en zone d'ombrage.

MOTS-CLEFS: Déchets de sacs en plastique, résidu de canne de sucre, chaussée, impédance thermique équivalente.

1. INTRODUCTION

La structure d'une chaussée est l'ensemble des couches de matériaux rapportés sur un terrain naturel pour permettre la circulation des véhicules. Les couches qui constituent la chaussée sont composées de matériaux de nature différente et de qualité généralement croissante de la base à la surface. Ce qui contribue à la performance de la structure.

L'enrobé Bitumineux [1-3] mise en œuvre pour la réalisation de la couche de roulement est très couteux d'où la nécessité de le substitué à un matériau à moindre cout. De plus l'enrobé bitumineux constitué de Grave, de sable et un liant hydrocarbure de type bitume, pose un problème environnemental et de dégradation précoce.

C'est ainsi que des auteurs ont pu montrer théoriquement et/ou par expériences que des matériaux locaux naturels tels que le résidu de canne de sucre [4], le typha [5], la filasse [6], le kapok [7] possédés une bonne résistance mécanique. Par ailleurs, leur utilisation comme enrobé pour une chaussée a été effectué. [8-10]

Nous proposons dans ce travail, l'étude du transfert de chaleur d'une chaussée dont la couche de roulement est à base de déchets de sacs en plastique broyés et du résidu de canne de sucre dans du mélange bitumineux. A partir de la température et de la densité de flux de chaleur à travers la structure de chaussée, nous déterminons l'impédance thermique équivalente de la couche de roulement. Un modèle électrique est déduit a partir des diagrammes de Bode, de la phase et de la représentation de Nyquist de l'impédance thermique sous éclairciment et sous ombrage.

2. THÉORIE

2.1. PRÉSENTATION DU BAGASSE

La canne à sucre (*Saccharum officinarum*) est une plante de la famille des Poacées (graminées) principalement cultivée dans les régions tropicales et subtropicales.

De la canne passée dans les différents broyeurs de la sucrerie on récupère la bagasse fraîche.

La bagasse, formée de fibres végétales broyées, peut représenter jusqu'à 30 % de la matière issue de la canne. Elle renferme en moyenne 45 % d'eau, 48,5 % de fibres et 2,5 % de matière dissoute (principalement du sucre) [11].

De façon générale, les fibres naturelles connaissent une large gamme d'application. Liée à leurs propriétés thermiques, mécaniques et physico-chimiques [12].

2.2. MODÈLE D'ÉTUDE

Une structure de chaussée est généralement constituée d'un ensemble de multicouches en Grave non traitée et des enrobés bitumineux. [2,3] Ce dernier est matériaux de dérivé pétrole et est très couteux contrairement à la couche d'assise regroupant une couche de Base en Grave et une couche de fondation en Latérite Crue. Elles sont suivies d'une couche de forme en remblai et un fond de forme comme sol support.

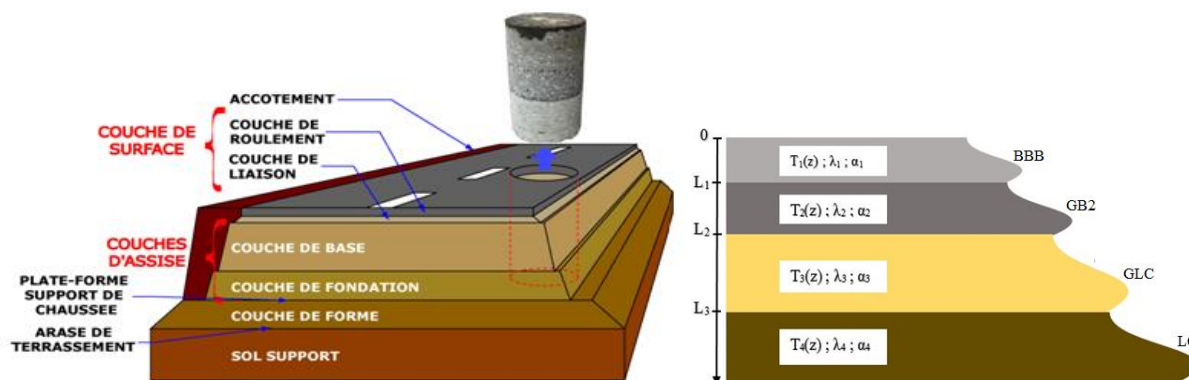


Fig. 1. (a) structure d'une chaussée (b) schéma simplifié



Fig. 2. (c) champs de canne a sucre (d) fibre de canne a sucre: bagasse

Lorsque le système est soumis à des sollicitations thermique, il s'y régite un phénomène de transfert de chaleur donné par l'équation de la chaleur décrit par:

$$\rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \cdot \Delta T + P_p \quad (1)$$

En considérant que le transfert se fait de manière unidirectionnelle et que le système est en absence de source ou de production interne de chaleur $P_p = 0$ ainsi dans chaque couche l'équation (1) se réduit à:

$$\frac{\partial^2 T_1(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial z^2} - \frac{1}{\alpha_1} \frac{\partial T_1(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 T_2(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial z^2} - \frac{1}{\alpha_2} \frac{\partial T_2(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 T_3(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial z^2} - \frac{1}{\alpha_3} \frac{\partial T_3(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 T_4(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial z^2} - \frac{1}{\alpha_4} \frac{\partial T_4(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

$$\alpha_i = \frac{\lambda_i}{\rho_i \cdot c_i} \quad (6)$$

Avec $i = 1, \dots, 4$ représentant respectivement la couche de roulement, la couche de liaison, la couche de base et la couche de fondation.

$T_i(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)$: Représentant respectivement la température considéré en un point de la Béton Bitumineux, Déchet Plastique et Bagasse (BBDP), dans la Grave Bitume de classe 2 (GB2), dans la Grave latérite ciment (GLC) et dans la latérite crue (LC).

$$T_i(z_i, hc, hr, cn, I, \omega, t) = (A_i \sinh(\beta_i(\omega) \cdot z) + B_i \cosh(\beta_i(\omega) \cdot z)) \cdot e^{i\omega t} + T_{0i} \quad (7)$$

Les A_i et B_i sont déterminés à partir des conditions aux limites et de la condition initiale.

a) Interface entre le milieu extérieur et la couche de béton bitumineux, déchet plastique et bagasse

$$-\lambda_1 \frac{\partial \bar{T}_1(z)}{\partial z} \Big|_{z=0} = hc(T_{a1} - \bar{T}(0)) + hr(T_s - \bar{T}(0) - T_{01}) + I_{sol} \quad (8)$$

b) Interface entre la couche de béton bitumineux, déchet plastique et bagasse et la couche de grave bitume de classe 2

$$-\lambda_1 \cdot \left. \frac{\partial \bar{T}_1(z)}{\partial z} \right|_{z=L_1} = -\lambda_2 \cdot \left. \frac{\partial \bar{T}_2(z)}{\partial z} \right|_{z=L_1} \quad (9)$$

$$\bar{T}_1(L_1) + T_{01} = \bar{T}_2(L_1) + T_{02} \quad (10)$$

c) Interface entre la grave bitume de classe 2 et la grave latérite ciment

$$-\lambda_2 \cdot \left. \frac{\partial \bar{T}_2(z)}{\partial z} \right|_{z=L_2} = -\lambda_3 \cdot \left. \frac{\partial \bar{T}_3(z)}{\partial z} \right|_{z=L_2} \quad (11)$$

$$\bar{T}_2(L_2) + T_{02} = \bar{T}_3(L_2) + T_{03} \quad (12)$$

d) Interface entre la grave latérite ciment et la latérite crue

$$-\lambda_3 \cdot \left. \frac{\partial \bar{T}_3(z)}{\partial z} \right|_{z=L_3} = -\lambda_4 \cdot \left. \frac{\partial \bar{T}_4(z)}{\partial z} \right|_{z=L_3} \quad (13)$$

$$\bar{T}_3(L_3) + T_{03} = \bar{T}_4(L_3) + T_{04} \quad (14)$$

e) Interface entre la latérite crue et la plate-forme

$$-\lambda_4 \cdot \left. \frac{\partial \bar{T}_4(z)}{\partial z} \right|_{z=L_4} = 0 \quad (15)$$

$$\bar{T}_4(L_4) + T_{04} = T_p \quad (16)$$

La conduction thermique [13] dans un matériau est donnée par la loi de Fourier, à un gradient de température dû à l'écoulement d'un fluide des régions chaudes vers celles froides.

La loi de Fourier en régime permanent permet d'établir la relation entre la température et la densité de flux.

$$\vec{\varphi}_i(z, hc, hr, cn, I, \omega, t) = -\lambda_i \cdot \overrightarrow{\text{grad}} \bar{T}_i(z, hc, hr, cn, I, \omega, t) \quad (17)$$

Elle traduit la puissance thermique qui traverse la structure par unité de surface.

$$\vec{\varphi}_i(z, hc, hr, cn, I, \omega, t) = -\lambda_i \cdot \frac{\partial \bar{T}_i(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial z} \vec{k} \quad (18)$$

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. TEMPÉRATURE ET DE LA DENSITÉ DE FLUX DE CHALEUR DE LA CHAUSSÉE EN FONCTION DU LOGARITHME DÉCIMAL DE LA PULSATION SOUS ÉCLAIREMENT ET SOUS OMBRAGE

Les figures 3, 4, 5 et 6 donnent les profils de la température et de la densité de flux de chaleur en fonction de logarithme décimale de la pulsation excitatrice pour différentes couches de chaussée. Les conditions environnementales sont mises en exergue.

Pour des fréquences faibles allant de 10^{-7} à 10^{-6} rad/s, la température est maximale et est presque égale à celle du milieu extérieur pour les faibles épaisseurs. La chaussée absorbe une importante quantité de chaleur [14]. Dans cette zone la variation de la température est faible traduisant ainsi une densité de flux de chaleur petit.

Mais au-delà de 10^{-6} rad/s, la diminution de la température est plus considérable et nous remarquons que, les faibles profondeurs sont plus sensibles à ces sollicitations extérieures.

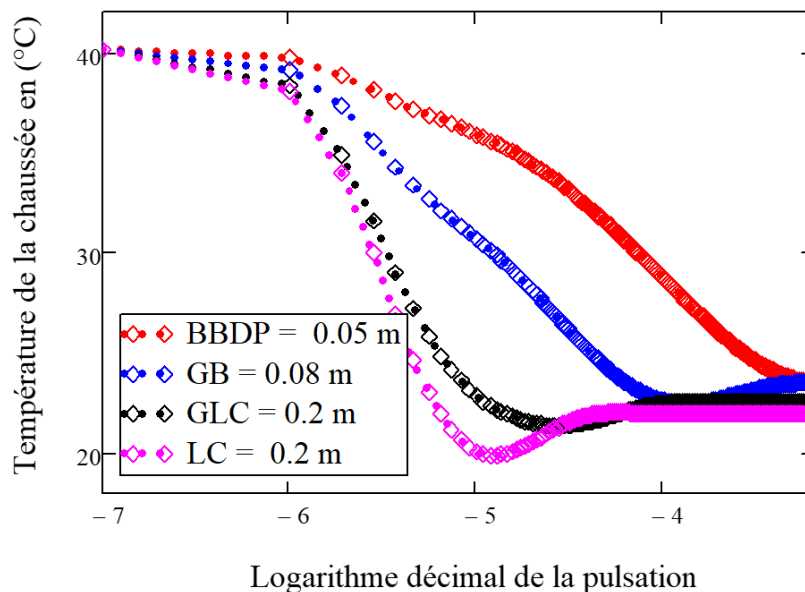


Fig. 3. Température de la chaussée sous éclairement en fonction du logarithme décimal de la pulsation $h_r=100W.m^{-2}.K^{-1}$, $h_c=0.01W.m^{-2}.K^{-1}$

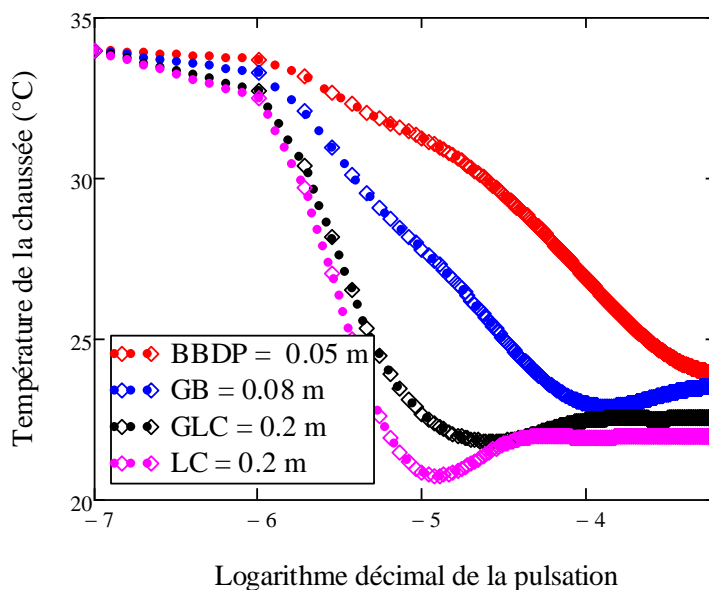


Fig. 4. Température de la chaussée sous ombrage en fonction du logarithme décimal de la pulsation $h_r=100W.m^{-2}.K^{-1}$, $h_c=0.01W.m^{-2}.K^{-1}$

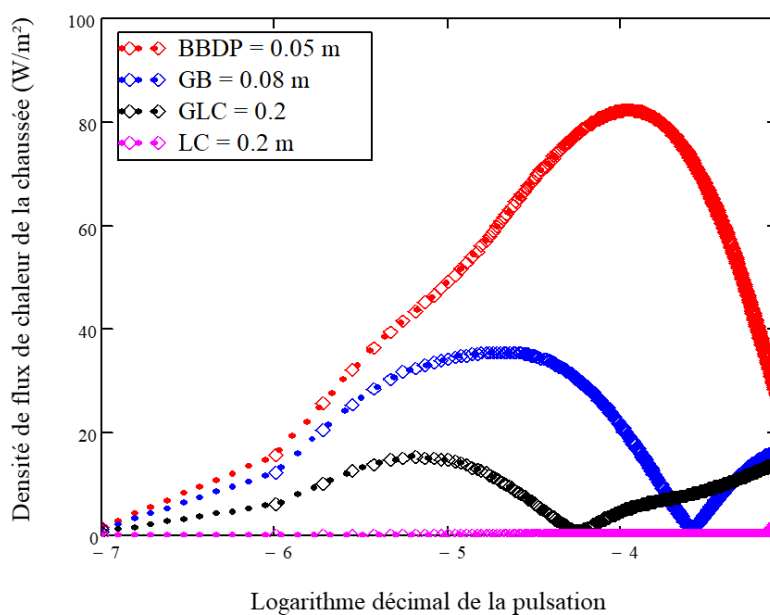


Fig. 5. Densité de flux de chaleur de la chaussée sous éclairage en fonction du logarithme décimal de la pulsation $h_r=100W.m^{-2}.K^{-1}$, $h_c=0.01W.m^{-2}.K^{-1}$

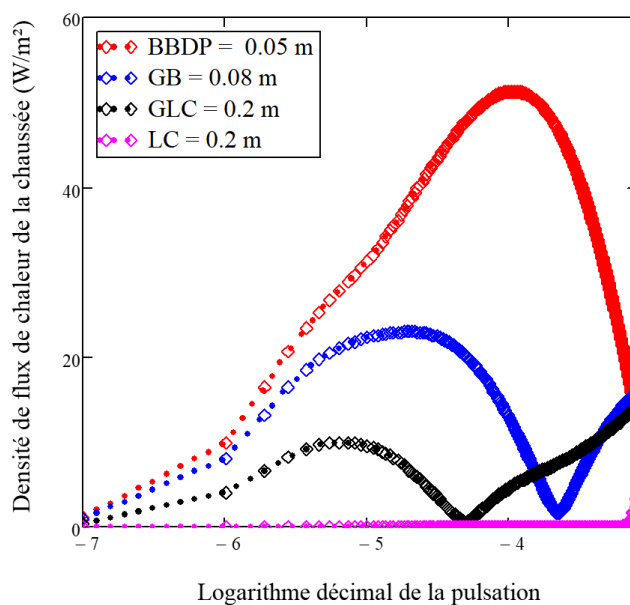


Fig. 6. Densité de flux de chaleur de la chaussée sous ombrage en fonction du logarithme décimal de la pulsation $h_r=100W.m^{-2}.K^{-1}$, $h_c=0.01W.m^{-2}.K^{-1}$

3.2. TEMPÉRATURE ET DENSITÉ DE FLUX DE CHALEUR EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DE LA CHAUSSEE SOUS ÉCLAIREMENT ET SOUS OMBRAGE

Les figures 7 et 8 proposent l'évolution de la température en fonction de la profondeur de la chaussée en zone d'éclairage sous influence du coefficient d'échange thermique par rayonnement et en zone d'ombrage sous impacte du coefficient d'échange thermique par convection.

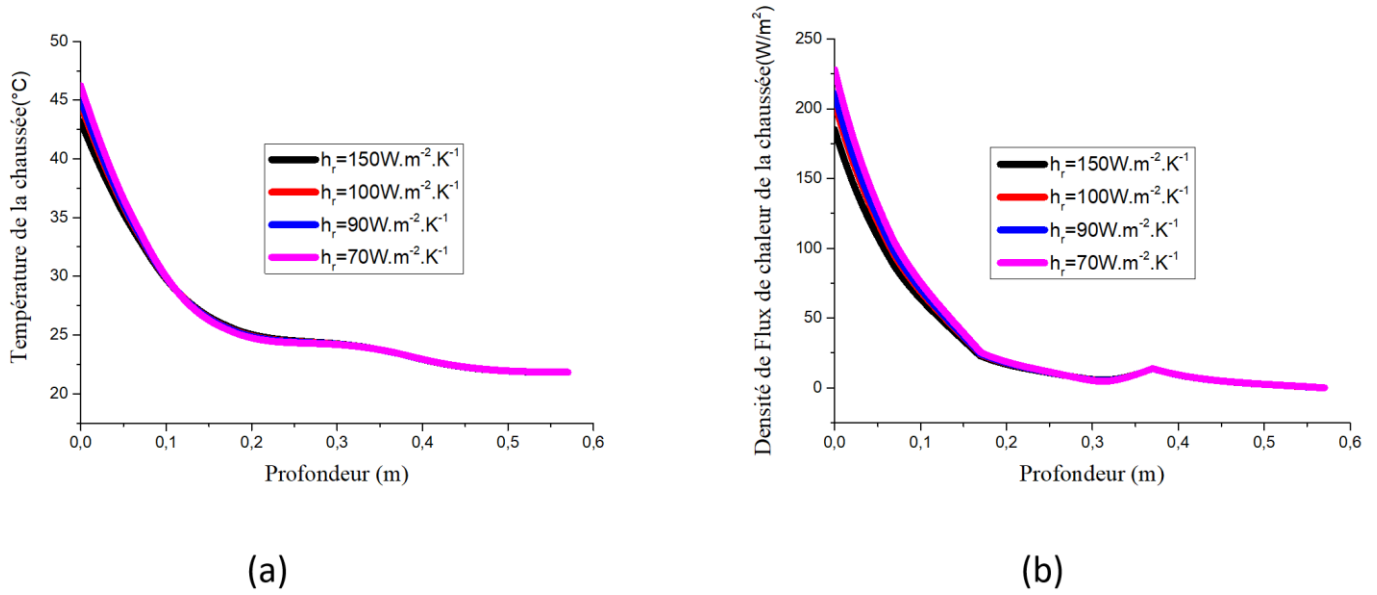


Fig. 7. Température (a) et densité de flux de chaleur (b) en fonction de la profondeur de la chaussée pour différentes valeurs du coefficient d'échange thermique par rayonnement, $h_c=0.01W.m^{-2}.K^{-1}$; $\omega = 10^{-4}Rad/S$

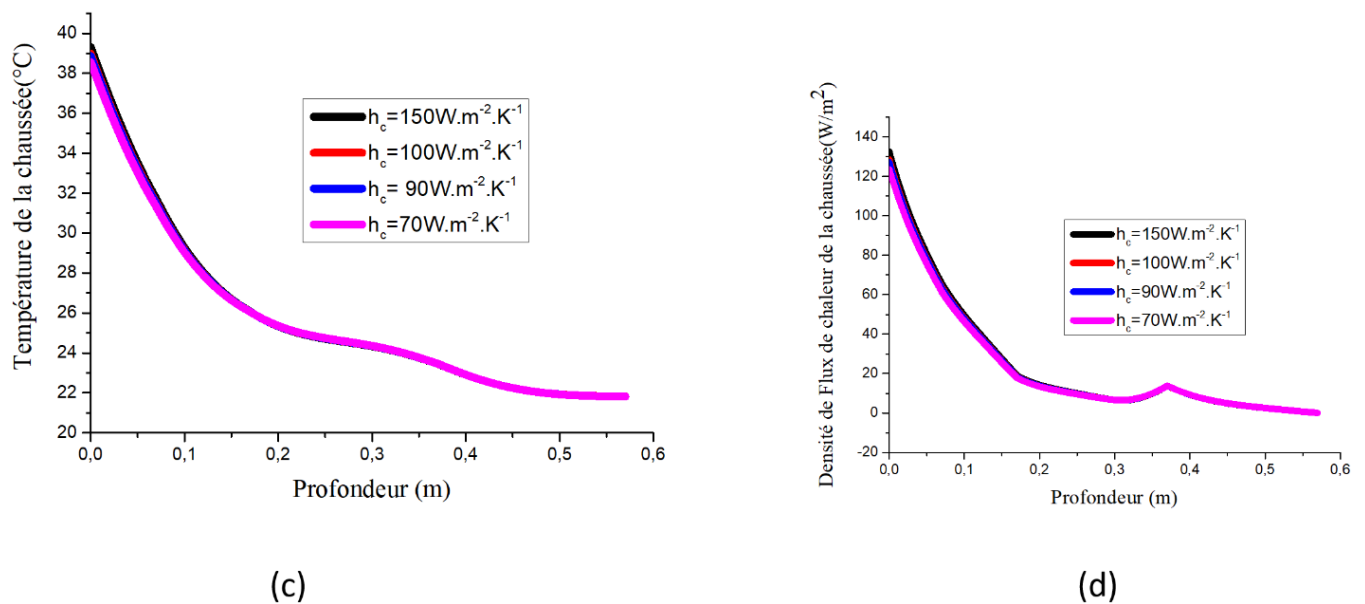


Fig. 8. Température (a) et densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur de la chaussée sous l'influence du coefficient d'échange thermique par convection en zone d'ombrage $h_r=0.01W.m^{-2}.K^{-1}$; $\omega = 10^{-4}Rad/S$

4. EXPRESSION DE L'IMPÉDANCE THERMIQUE ÉQUIVALENTE

Dans le mélange (Béton Bitumineux, Déchet Plastique et Bagasse) [15, 16], l'impédance thermique équivalente [17] modélisant cette épaisseur est donné par:

$$Z_{eq1} = -\frac{A_1 \cdot \sinh(\beta_1(\omega) \cdot z_1) + B_1 \cdot \cosh(\beta_1(\omega) \cdot z_1)}{\lambda_1 \cdot \beta_1(\omega) [A_1 \cdot \cosh(\beta_1(\omega) \cdot z_1) + B_1 \sinh(\beta_1(\omega) \cdot z_1)]} \quad (19)$$

4.1. SPECTROSCOPIE D'IMPÉDANCE THERMIQUE ÉQUIVALENTE DE LA COUCHE DE ROULEMENT SOUS ÉCLAIREMENT ET SOUS OMBRAGE

Les figures suivantes montrent les diagrammes de Bode de l'impédance thermique équivalente, de sa phase et de sa représentation de Nyquist puis du modèle électrique équivalent en fonction des conditions climatiques imposées à la couche de roulement. Dans ses situations, les courbes des spectroscopies d'impédance thermique indiquent à la fois comportements capacitifs et inductifs de la couche de roulement de la chaussée.

Nous notons une stabilité thermique de celle-ci lorsqu'on est en zone éclaircissement décrit par le modèle électrique équivalente. Sur l'étude en zone d'ombrage, l'instabilité thermique est sanctionnée par le comportement capacitif pour certaines valeurs de la pulsation. Ce phénomène est traduit par un modèle électrique équivalente par analogie des grandeurs thermoélectrique.

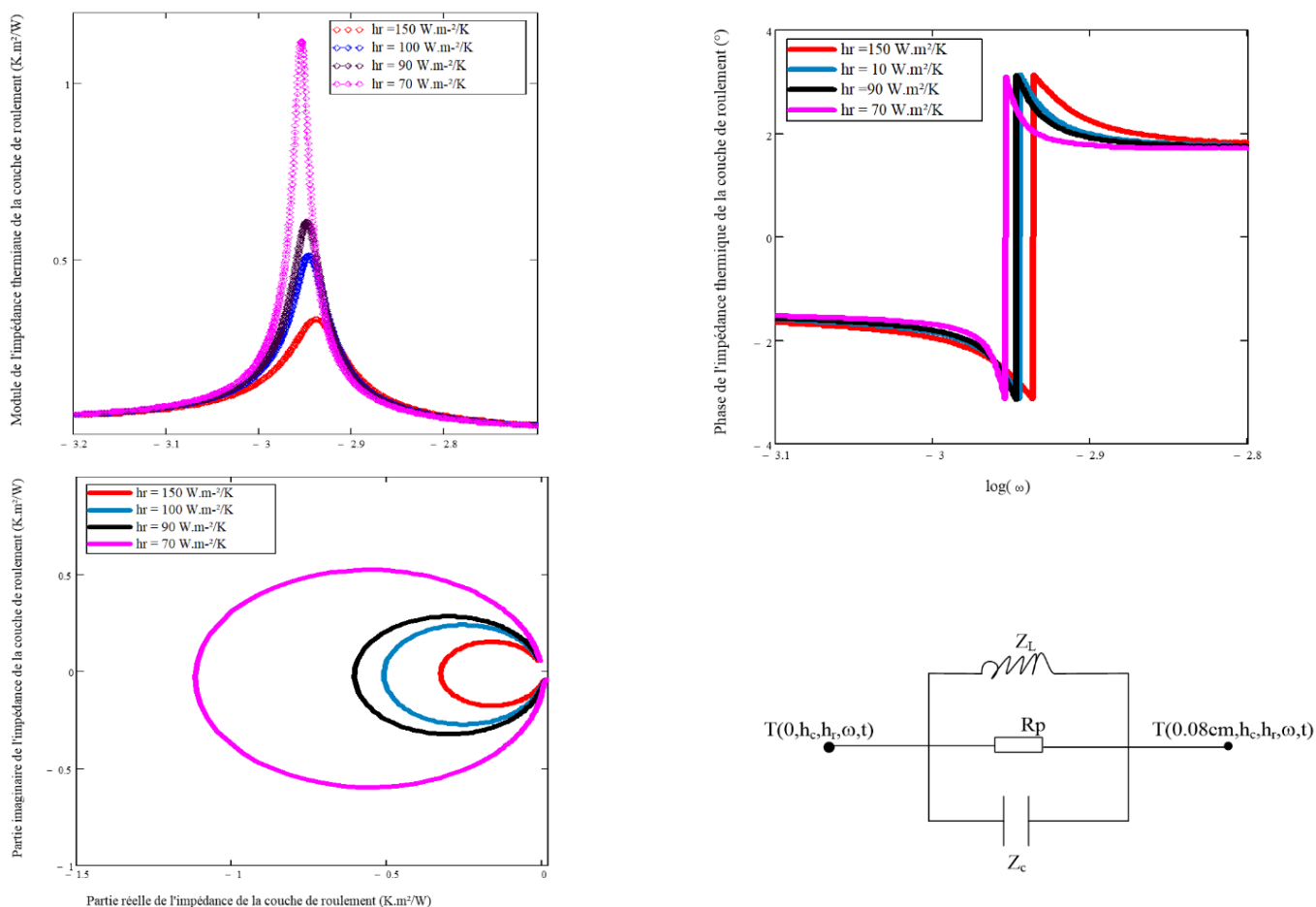


Fig. 9. Module de l'impédance thermique, de sa phase et de la représentation de nyquist sous eclairement de la couche de roulement en fonction de logarithme décimal de la pulsation.

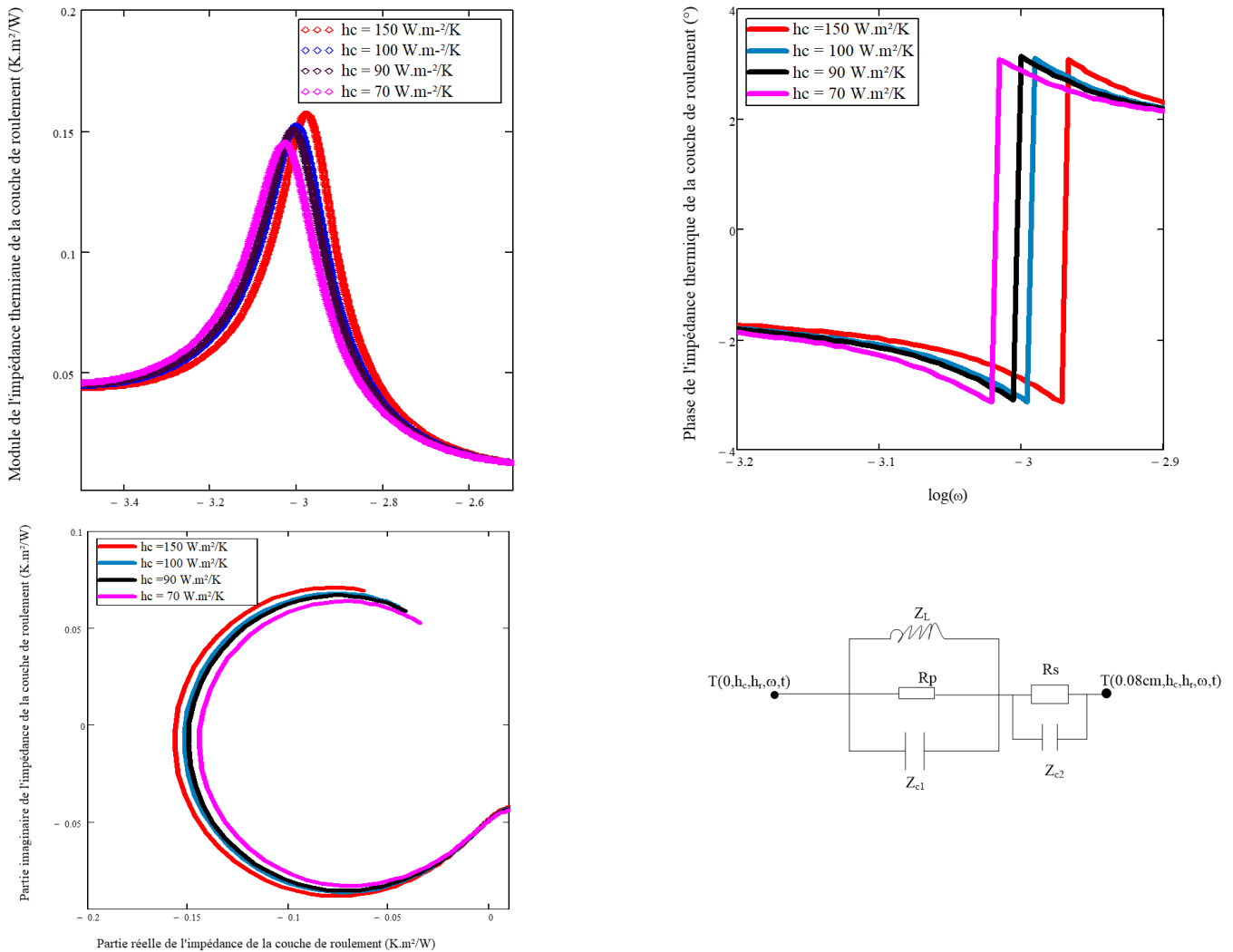


Fig. 10. Module de l'impédance thermique, de sa phase et de la représentation de nyquist sous ombre de la couche de roulement en fonction de logarithme décimal de la pulsation.
 $hr=0.01 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, $l=800 \text{ W.m}^{-2}$, $z=0.08 \text{ m}$

5. CONCLUSION

La stabilité thermique de la couche de roulement constitué de déchets de sacs en plastique broyés et du résidu de canne de sucre d'une structure de chaussée est faite par analogie électrique thermique. Les comportements inductive ou capacitive montrent que la couche de surface de la chaussée présente dans certaine condition climatique (en zone éclaircissement) une conservation de l'énergie emmagasinée et restitué au milieu extérieur. Mais dans d'autre condition (en zone d'ombrage), on note un réchauffement sanctionné par l'effet capacitif.

REFERENCES

- [1] Ö ; zen, H. (2011). Rutting Evaluation of Hydrated Lime and SBS Modified Asphalt Mixtures for Laboratory and Field Compacted Samples. *Construction and Building Materials*, 25, 756-765.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.010>.
- [2] Taylor, N. (1997). Life Expectancy of Recycled Asphalt Paving. *Recycling of Bituminous Pavements* (Wood, L.E., Ed.). American Society for Testing and Materials, 662, 3-15.
- [3] Tabakovič, A., Gibney, A., McNally, C. and Gilchrist, M.D. (2010). Influence of Recycled Asphalt Pavement on Fatigue Performance of Asphalt Concrete Base Courses. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22, 643-650.

- [4] K.Rekha, B.H. Nagendra Rao (2017). A stone mastic asphalt is gap graded by using bagasse fiber (sugar cane).
- [5] International Research Journal of Engineering and Technology, Vol-3 Issue-6 IJARIE-ISSN (O) -2395-4396.
- [6] Sokhna Khadidiatou Ben Thiam, Alassane Ba, Mamadou Babacar Ndiaye, Issa Diagne, Youssou Traore, Seydou Faye, Cheikh Thiam, Pape Touty Traore, Ablaye Fame, Gregoire Sissoko (2020). One-Dimensional Study of Thermal Behavior of Typha Panel: Spectroscopy Characterization of Heat Exchange Coefficient on Front Face. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 10, 52-61, <https://www.scirp.org/journal/jsbs>.
- [7] Hernández-Olivares F., Oteiza I., De Villanueva L., (1994). Fire Behaviour of Sisal Short Fibers Reinforced Gypsum. *Fire and Materials*, Vol.19, 77-80.
- [8] Dame Diao, Alassane Diene, Mamadou Lamine Lo, Mohamed Sidya Ould Brahim1, Youssou Traore, Abdoulaye Korka Diallo, Issa Diagne, Hawa Ly Diallo, Makinta Boukar and Gregoire Sissoko (2016). Study of thermal exchange phenomena in surface of thermal insulation kapok-plaster. *Int. J. Pure Appl. Sci. Technol.*, 33 (1) - 37 (2), 18-25.
- [9] De Medina J., Motta L.M., Dos Santo J.D (2006). Deformability characteristics of brazilian laterites. *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 24, n° 4, p. 949-971.
- [10] HRB, (1945). Report of Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads. *Proceedings, Highway Research Board*, Vol 25, pp. 376–384.
- [11] Mahrez, A., Karim, M.R., bt Katman, H.Y. (2005). Fatigue and deformation properties of glass fiber reinforced bituminous mixes. *Eastern Asia society for Transportation studies*, 6, 997-1007.
- [12] Bell, M. J., Halpin. N. V., Orange, D. N., Haines, M. (2001). Effect of compaction and trash blanketing on rainfall infiltration in sugarcane soils. *Proceedings of the Australian Society of SugarCane Technologists*. 23rd Mackay, Queensland, 1-4 May 2001. pp. 161-167.
- [13] Ekpelikpeze, O. S., Agre, P., Dossou Aminon, I., Adjatin, A., Dassou, A., Dansi, A., (2016). Characterization of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) cultivars of Republic of Benin. *Int.J.Curr.Res.Biosci.Plantbiol.* 3 (5): 147-156.
- [14] J. Fourier (2004). *Théorie analytique de la chaleur*. Editons Jacques Gabay.
- [15] Youssou Traore, Séni Tamba, Alassane Diene, Khatry Ould Cheikh, Moussa Dieng, El Hadji Bala Moussa Nyakhaté, Issa Diagne, And Grégoire Sissoko (2017). Etude du transfert de chaleur à travers une chaussée en régime dynamique fréquentiel: l'influence des paramètres extrinsèques. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. ISSN 2028-9324 Vol. 20 No. 2, pp. 616-623.
- [16] Vouffo, M., Kamga, D.T., Ngagoue, F. and Kemtchou, F.H (2020). Mechanical Characterization of Pyroclastic Products for Use in Civil Engineering Works. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 17, 35-43.
- [17] Ngagoue, F., Wouatong, A.S.L., Kabeyene, B.K.V. and Keyangue, T.J.H. (2009). Physical Characterization of Batie Sand (West-Cameroon) and Its Correction: Case Study of Mount Metchou. *Journal of Solid and Structures*, 3, 125-136.
- [18] Youssou Traore, Alassane Ba, Cheikh Thiam, M. S. Ould Brahim, Moussa Dieng, Ould Mohamed Bah, Issa Diagne, Gregoire Sissoko (2017). Thermal impedance spectroscopy method as applied for road bearing layer structure thermoelectric parameters determination. *SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE) – volume 4 Issue*, pp 38-44, <http://www.internationaljournalssrg.org/IJCE/paper-details?id=226>.