

## Impact de la température sur les déformations d'une chaussée en fibre de canne à sucre (Bagasse) dans du mélange bitumineux en modulation de fréquence

### [ Impact of temperature on the deformations of a sugar cane fiber pavement (Bagasse) in a bituminous mixture in frequency modulation ]

*Ndack Niang<sup>1</sup>, Alassane Ba<sup>2</sup>, Mamadou Lamine Lo<sup>2</sup>, Youssou Traore<sup>1</sup>, Issa Diagne<sup>1</sup>, Seydou Faye<sup>1</sup>, and Gregoire Sissoko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Laboratory of Semiconductors and Solar Energy, Physics Department, Faculty of Science and Technology, University Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal

<sup>2</sup>Polytechnic School of Thiès, BP A10, Thiès, 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:** In this article, we propose a study of heat transfer through a flexible pavement, the wearing course of which is composed of bitumen modified with sugar cane fibers (bagasse). The expressions for temperature and heat flux density are obtained from the heat equation established by Fourier. The influence of extrinsic parameters such as the convective and radiative heat exchange coefficient on pavement deformations are presented in order to quantify the thermal behavior of the bituminous mixture under lighting and shade.

**KEYWORDS:** Heat transfer, deformations, pavement, bitumen, sugar cane, frequency modulation.

**RESUME:** Nous proposons dans cet article, une étude de transfert de chaleur à travers une chaussée souple dont la couche de roulement est composée de bitume modifié avec des fibres de canne à sucre (bagasse). Les expressions de la température et de la densité de flux de chaleur sont obtenues à partir de l'équation de la chaleur établit par Fourier. L'influence des paramètres extrinsèques tels que le coefficient d'échange thermique convectif et radiatif sur les déformations de la chaussée sont présentées afin de quantifier le comportement thermique du mélange bitumineux sous éclairage et sous ombrage.

**MOTS-CLEFS:** Transfert de chaleur, déformations, chaussée, bitume, canne à sucre, modulation de fréquentiel.

## 1 INTRODUCTION

La route joue un rôle important dans le développement socio-économique d'un pays.

Un certain nombre de routes dans la plupart des pays du monde sont recouvertes de mélanges bitumineux chauds, mélange de granulats liés au bitume [1]. Cependant, les différentes couches de la route ne sont pas statiques à cause du développement continu de la conception des véhicules et des pneumatiques qui augmente souvent les contraintes qui leur sont appliquées. Leurs conceptions doivent tenir en compte de conditions climatiques extérieures [2,3].

Des études ont montré que certains matériaux locaux d'origine végétal [4,5] participe à améliorer le confort thermique et d'autres peuvent renforcer le comportement mécanique et thermique [6, 7, 8].

Ainsi par l'abondance des déchets de cendre de canne à sucre (Bagasse) [9,10] les résultats de recherche ont montré la nécessité à déterminer leur aptitude dans la modification de la construction de routes bitumineuses d'une part, et à vérifier

d'autre part, la réduction de la détérioration de la chaussée [11] sous forme d'ornières, de nids de poule, de fissures lorsque la température varie, préserver l'environnement de la pollution [12].

La structure d'une chaussée est l'ensemble des couches de matériaux [13] rapportés sur un terrain naturel [14] pour permettre la circulation des véhicules.

La présente étude portera sur les effets de l'utilisation des fibres de canne à sucre (bagasse) [15] sur les performances mécaniques du bitume et son comportement thermique sous éclairage et sous ombrage [2].

## 2 THEORIE

Les couches qui constituent la chaussée (figure. 1, a) sont composées de matériaux de nature différente et de qualité généralement croissante de la base à la surface et contribue ainsi à la performance de la structure.

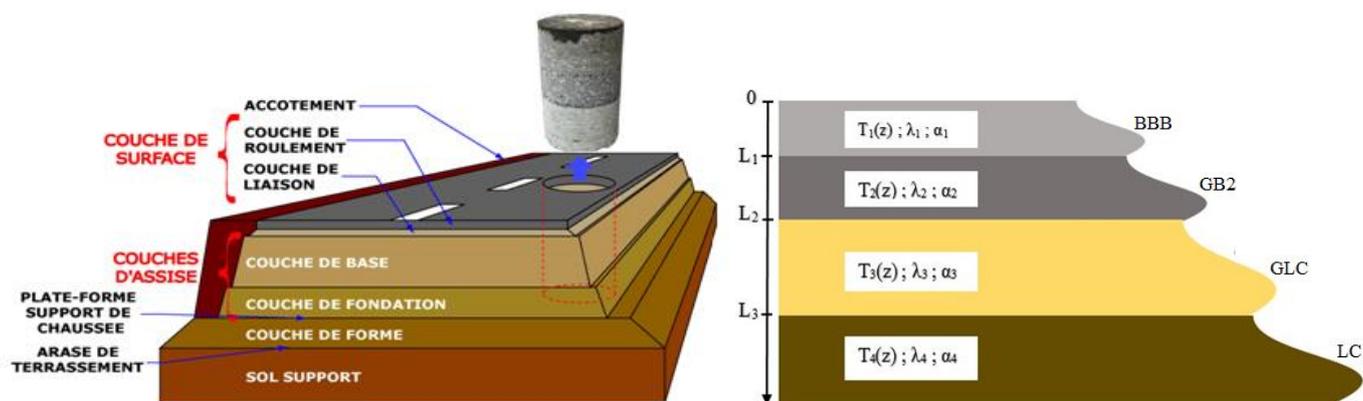


Fig. 1. a) structure d'une chaussée b) schéma simplifié

La canne à sucre (« *Saccharum officinarum* ») est une plante de la famille des Poacées (graminées) principalement cultivée dans les régions tropicales et subtropicales (Figure 2, a).

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

La bagasse (figure 2, b), 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) [16].

De façon générale, les fibres naturelles connaissent une large gamme d'application relative à leurs propriétés thermiques, mécaniques et physico-chimiques [17].



Fig. 2. a) champs de canne à sucre b) fibre de canne à sucre: Bagasse

### 3 LES EXPRESSIONS DA TEMPÉRATURE ET DE LA DENSITÉ DE FLUX DE CHALEUR

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

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

$\rho$  (Kg.m<sup>-3</sup>) la masse volumique du matériau

$C$  (J.Kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>) la chaleur spécifique du matériau

$\lambda$  (W. m<sup>-1</sup>.k<sup>-1</sup>) la conduction thermique du matériau

$P_p$  (W.m<sup>-3</sup>) le puits de chaleur ou source de chaleur interne

$T$  la température en un point considéré

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, nous établissons les équations décrivant les transferts de chaleur à l'intérieur des quatre couches (figure 1, b). Avec l'indice  $i$  ( $i$  variant de 1, 2, 3 et 4) représentant respectivement les différentes couches de la chaussée.

$$\frac{\partial^2 T_1(z_1, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial z^2} - \frac{1}{\alpha_1} \frac{\partial T_1(z_1, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 T_2(z_2, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial z^2} - \frac{1}{\alpha_2} \frac{\partial T_2(z_2, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 T_3(z_3, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial z^2} - \frac{1}{\alpha_3} \frac{\partial T_3(z_3, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 T_4(z_4, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial z^2} - \frac{1}{\alpha_4} \frac{\partial T_4(z_4, hc, hr, cn, I, \omega, t)}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

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

Avec l'indice  $i$  ( $i$  variant de 1, 2,3 et 4) représentant respectivement les différentes couches de la chaussée.

$T_1(z_1, hc, hr, cn, I, \omega, t)$ : Représentant la température considérée en un point du mélange Béton Bitumineux avec la Bagasse (BBB),

$T_2(z_2, hc, hr, cn, I, \omega, t)$ : Représentant la température en un point considéré dans la Grave Bitume de classe 2 (GB2),

$T_3(z_3, hc, hr, cn, I, \omega, t)$ : Représentant la température en un point considéré dans la Grave latérite ciment (GLC)

$T_4(z_4, hc, hr, cn, I, \omega, t)$ : Représentant la température en un point considéré dans la latérite crue (LC).

Les conditions aux limites pour les différentes interfaces sont:

a. Interface entre le milieu extérieur et la couche de béton bitumineux, bagasse

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(z)}{\partial z} \Big|_{z=0} = hc(Ta1 - T(0)) + hr(Ts - T(0)) + I_{sol} \quad (7)$$

$hc$ : le coefficient d'échange thermique par convection

$hr$ : le coefficient d'échange thermique par rayonnement

$Ta1$ : la température ambiante du milieu

$Ts$ : la température du soleil

$I_{sol}$ : le flux solaire arrivant à la surface de la première couche

$$I_{sol} = (0.828.I + b) \cdot \left(1 - \frac{cn}{100}\right) \quad (8)$$

Elle combine l'expression du flux solaire I au sommet de l'atmosphère [18] au coefficient d'interception du flux solaire par l'atmosphère b = - 47.4 W/m<sup>2</sup> [19].

b. Interface entre la couche de béton bitumineux, bagasse et la couche de grave bitume de classe 2

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(z)}{\partial z} \Big|_{z=L_1} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2(z)}{\partial z} \Big|_{z=L_1} \quad (9)$$

$$T_1(L_1) = T_2(L_1) \quad (10)$$

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

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2(z)}{\partial z} \Big|_{z=L_2} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3(z)}{\partial z} \Big|_{z=L_2} \quad (11)$$

$$T_2(L_2) = T_3(L_2) \quad (12)$$

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

$$-\lambda_3 \frac{\partial T_3(z)}{\partial z} \Big|_{z=L_3} = -\lambda_4 \frac{\partial T_4(z)}{\partial z} \Big|_{z=L_3} \quad (13)$$

$$T_3(L_3) = T_4(L_3) \quad (14)$$

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

$$-\lambda_4 \frac{\partial T_4(z)}{\partial z} \Big|_{z=L_4} = 0 \quad (15)$$

$$T_4(L_4) = T_p \quad (16)$$

T<sub>p</sub> est la température de la plateforme supposée constante dans ce travail.

La température initiale est considérée uniforme à l'intérieur de chaque couche:

$$T_i = T_{0i} \quad (17)$$

Pour introduire la température initiale T<sub>i</sub>, on effectue les changements de variable de température

$$\begin{cases} \bar{T}_1 = T_1 - T_i \\ \bar{T}_2 = T_2 - T_i \\ \bar{T}_3 = T_3 - T_i \\ \bar{T}_4 = T_4 - T_i \end{cases} \quad (18)$$

En utilisant la méthode des séparations des variables, Nous obtenons les expressions de la température sur chaque couche:

Dans le mélange Béton Bitumineux, Bagasse (BBB):

$$T_1(z, hc, hr, cn, I, \omega, t) = (A_1 \sinh(\beta_1(\omega) \cdot z) + B_1 \cosh(\beta_1(\omega) \cdot z)) \cdot e^{i\omega t} + T_{01} \quad (19)$$

Dans la grave bitume (GB):

$$T_2(z, hc, hr, cn, I, \omega, t) = (A_2 \sinh(\beta_2(\omega).z) + B_2 \cosh(\beta_2(\omega).z)).e^{i\omega t} + T_{02} \quad (20)$$

Dans la grave latérite ciment

$$T_3(z, hc, hr, cn, I, \omega, t) = (A_3 \sinh(\beta_3(\omega).z) + B_3 \cosh(\beta_3(\omega).z)).e^{i\omega t} + T_{03} \quad (21)$$

Dans la latérite crue

$$T_4(z, hc, hr, cn, I, \omega, t) = (A_4 \sinh(\beta_4(\omega).z) + B_4 \cosh(\beta_4(\omega).z)).e^{i\omega t} + T_{04} \quad (22)$$

Avec:

$$\beta_1(\omega) = \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha_1}}(i+1) L_1^*(\omega) = \frac{1}{\beta_1(\omega)} \quad (23)$$

$$\beta_2(\omega) = \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha_2}}(i+1) L_2^*(\omega) = \frac{1}{\beta_2(\omega)} \quad (24)$$

$$\beta_3(\omega) = \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha_3}}(i+1) L_3^*(\omega) = \frac{1}{\beta_3(\omega)} \quad (25)$$

$$\beta_4(\omega) = \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha_4}}(i+1) L_4^*(\omega) = \frac{1}{\beta_4(\omega)} \quad (26)$$

$L_1^*(\omega), L_2^*(\omega), L_3^*(\omega)$  et  $L_4^*(\omega)$  représentent les longueurs caractéristiques de la diffusion thermique des différentes couches.

Les coefficients  $A_1, B_1, A_2, B_2, A_3, B_3, A_4$  et  $B_4$  sont déterminés à partir de la condition initiale et des conditions aux limites.

Nous supposons dans la suite du travail  $T_{01} = T_{02} = T_{03} = T_{04}$  (température initiale avant excitation) respectivement pour les différentes couches de la chaussée.

La densité de flux de chaleur traduit la puissance thermique qui traverse la structure par unité de surface. Elle s'exprime en ( $W.m^{-2}$ ).

$$\vec{\Phi}_i(z, hc, hr, cn, I, \omega, t) = -\lambda_i \cdot \overrightarrow{\text{grad}} T_i(z, hc, hr, cn, I, \omega, t) \quad (27)$$

#### 4 EXPRESSION DE LA DÉFORMATION ADMISSIBLE

Pour une couche de matériau bitumineux sollicité en extension par flexion, la déformation admissible en fonction des paramètres thermo physique [20] est calculée selon l'équation suivante:

$$\varepsilon_{iadm}(z, hc, hr, cn, I, \omega, t) = \varepsilon_{i6} \cdot \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \cdot \sqrt{\left(\frac{E_i(10^\circ C)}{E_i(z, hc, hr, cn, I, \omega, t)}\right)} \cdot ks \cdot kr_i \cdot kc_i \quad (28)$$

Avec:

$$E_i(z_i, hc, hr, cn, I, \omega, t) = 2200 - 30 \cdot T_i(z_i, hc, hr, cn, I, \omega, t) \quad (29)$$

$\varepsilon_6(10^\circ C, 25Hz)$  = paramètre de la loi de fatigue du matériau bitumineux, représentant la déformation conduisant à une durée de vie de 1 million de cycles. Il est déterminé par essai de fatigue en flexion 2 points (NF EN 12697-24) à  $10^\circ C$  et 25Hz.

Pente de la loi de fatigue du matériau bitumineux (entre 0 et -1).

E est le module de rigidité obtenu à la température équivalente (NF EN 1297-26).

NE est le nombre de passage à l'essieu de référence.

$k_c$  est le coefficient de calage qui prend en compte l'écart entre les prédictions de la démarche de calcul et l'observation du comportement des chaussées réelles. Sa détermination passe par l'analyse du comportement des chaussées sur une période de temps suffisante pour tenir compte des effets saisonniers.

$k_s$  est le coefficient minorateur tenant compte de l'effet d'hétérogénéités locales de portance d'une couche de faible rigidité supportant les couches liées. Ce coefficient ne s'applique qu'à la couche reposant sur la plateforme et est fonction de cette dernière. Les données sont établies dans le tableau suivant.

$k_r$  est le coefficient prenant en compte les dispersions sur les propriétés mécaniques des matériaux et sur les épaisseurs des couches de chaussées. Le module du matériau est celui de la couche sous-jacente.

$$k_r = 10^{-\mu b \delta} \quad (30)$$

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c \cdot Sh}{b}\right)^2} \quad (31)$$

$\mu$  est la variable aléatoire de la loi normale centré réduite au risque  $r$

$SN$  est l'écart type sur le logarithme décimal du nombre de cycle entraînant la rupture par fatigue.

$sh$  est l'écart type sur l'épaisseur des matériaux mis en œuvre en couche d'assise (en m)

$c$  est le coefficient associant la variation de déformation à la variation d'épaisseur de la chaussée ( $c = 2 m^{-1}$ )

**Tableau 1. Valeurs du coefficient  $k_s$**

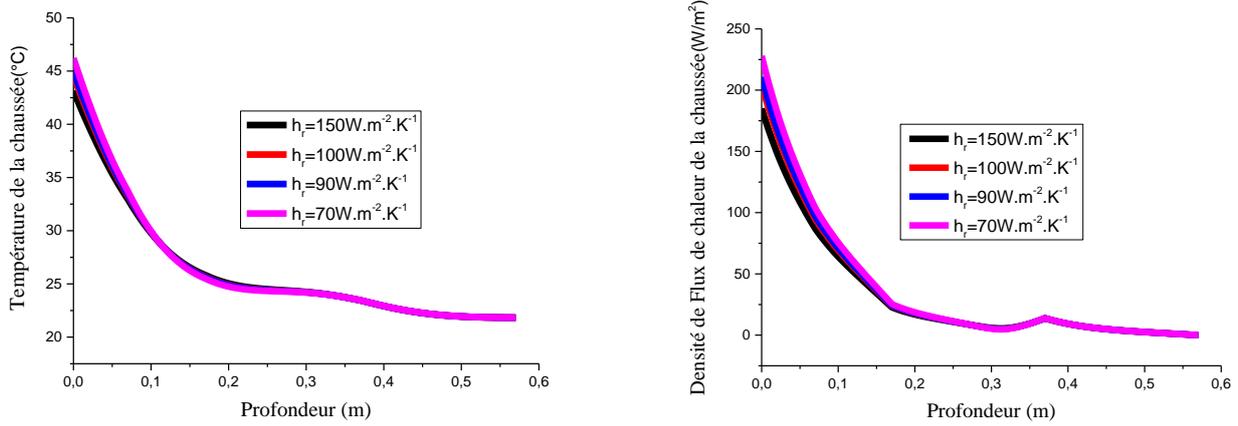
E de la couche sous-jacente	< 50 MPa	50-80 MPa	80-120MPa	> 120MPa
$k_s$ (fondation)	1/1.2	1/1.1	1/1.065	1

## 5 RESULTATS ET DISCUSSIONS

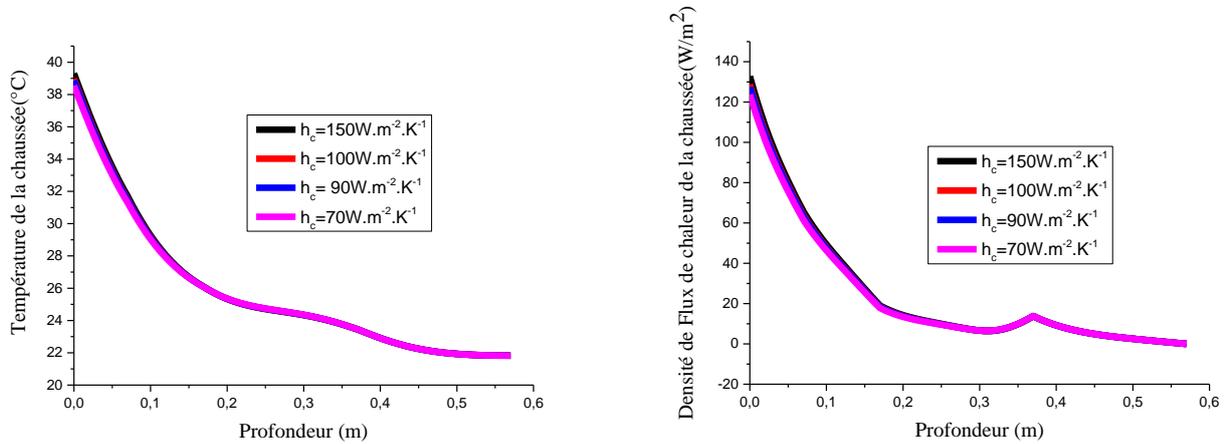
### 5.1 TEMPÉRATURE ET DENSITÉ DE FLUX DE CHALEUR EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DE LA CHAUSSÉE SOUS ÉCLAIREMENT ET SOUS OMBRAGE

Les figures 3 et 4 suivantes montrent l'influence du coefficient d'échange thermique radiatif, du coefficient d'échange thermique convectif sur la température et la densité de flux de chaleur relative à la couche de roulement constitué du mélange béton bitumineux, bagasse à la couche de liaison en grave bitume à la couche de base en grave latérite ciment et à la couche de fondation en latérite crue. Ces couches sont les éléments constituant notre structure routière.

Nous notons que la température de même que la densité de flux de chaleur augmentent avec les grandeurs thermiques traduisant une importante quantité d'énergie emmagasinée au niveau de la couche de roulement constitué du mélange béton bitumineux, bagasse. Cette phase est suivie d'une diminution progressive de celles-ci lorsqu'on entre en profondeur jusqu'à un extrémum ou le gradient de température est nul traduisant une perte thermique au niveau des différentes couches de la structure.



**Fig. 3.** *Température et densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur de la chaussée pour différentes valeurs du coefficient d'échange thermique par Rayonnement,  $h_c=0.01W.m^{-2}.K^{-1}$ ;  $\omega = 10^{-4}rad/s$*

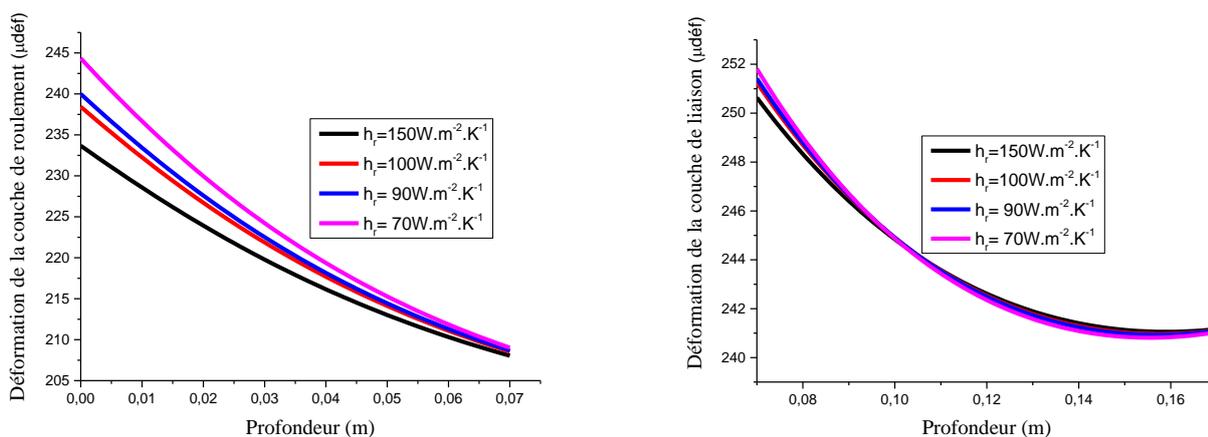


**Fig. 4.** *Température en fonction de la profondeur de la chaussée sous l'influence du coefficient d'échange thermique par convection en zone d'ombrage  $h_r=0.01W.m^{-2}.K^{-1}$ ;  $\omega = 10^{-4}rad/s$*

**5.2 DÉFORMATION DE LA CHAUSSÉE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DE LA COUCHE DE SURFACE SOUS ÉCLAIREMENT**

La figure 5 montre l'évolution de la déformation de la couche de surface en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange thermique par rayonnement. Sur le tapis roulant c'est-à-dire à la position  $z = 0$  nous constatons une forte présence de dégradation avec le rayonnement. Ainsi le bitume se ramollit [21,22] lorsque la température augmente [23] à 50°C.

L'augmentation de l'intensité de la circulation entraine une surcharge des routes [24] et une hausse de la température du sol [25]. Ceci favorise des orniérages et un développement des fissures dans la couche de liaison [26].

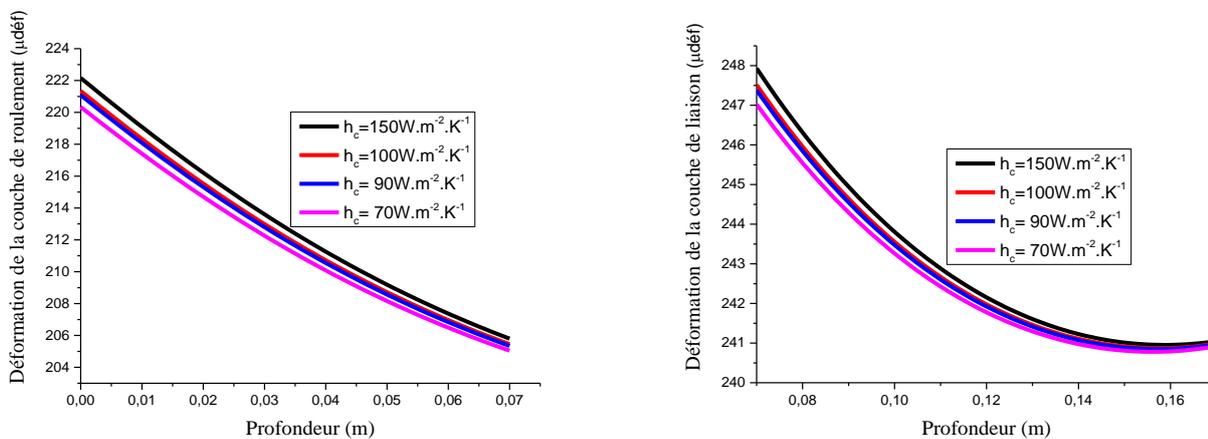


**Fig. 5.** Déformation de la chaussée en fonction de la profondeur de la chaussée sous éclairciment  $h_c=0.01W.m^{-2}.K^{-1}$ ;  $\omega = 10^{-4}rad/s$

**5.3 DÉFORMATION DE LA CHAUSSEE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DE LA COUCHE DE SURFACE SOUS OMBRAGE**

La figure 6 montre l'évolution de la déformation de la couche de surface en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange thermique par convection.

Sous ombrage, les déformations de la couche de surface sont d'autant plus importantes que le coefficient d'échange thermique par convection est élevé. Elle est beaucoup plus importante à la couche de liaison ce qui s'explique par le fait que le mélange bitumineux, bagasse se raidit [27,28] quand il fait froid, se fissurant lorsque la température baisse et avec l'augmentation de l'intensité de la circulation qui entraîne une surcharge des routes et une augmentation de température du sol, nous notons un développement des fissures en profondeur [29].



**Fig. 6.** Déformation de la chaussée en fonction de la profondeur dans la couche de liaison sous ombrage  $h_r=0.01W.m^{-2}.K^{-1}$ ;  $\omega = 10^{-4}rad/s$

**6 CONCLUSION**

Les phénomènes de transfert thermique et d'emménagement d'énergie ont été étudiés sous l'influence des coefficients d'échange thermique par convection sous d'ombrage et sous rayonnement de la chaussée.

La variation de la déformation admissible dans la chaussée en fonction de sa profondeur sous l'influence des paramètres extrinsèques a permis d'évaluer le comportement mécanique en régime dynamique fréquentiel du mélange bitumineux bagasse.

## REFERENCES

- [1] M. Bocci, A. Grilli, F. Cardone, A. Graziani (2011). A study on the mechanical behaviour of cement-bitumen treated materials. *Construction and Building Materials*, Volume 25, Issue 2, pp. 773-778.
- [2] Youssou Traore, Mamadou Lamine Lo, Cheikh Thiam, M. S. Ould Brahim Moussa Dieng, Ould Mohamed Bah, Issa Diagne, Gregoire Sissoko, (2017).
- [3] Theoretical study of the thermal behavior of a supple road structure in frequency dynamic modulation under illumination and shade: determination of the temperatures and the flow densities in the interfaces.
- [4] SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE) – volume 4 Issue 8, pp 32-3, <http://www.internationaljournalsrsg.org/IJCE/paper-details?Id=310>.
- [5] Rezqallah H. Ramadhan Hamad I. Al-abdulwahhab (1997). Temperature variation of flexible and rigid pavement in Eastern Saudi Arabia. *Building and environment*, Vol. 32, No. 4, pp. 367-373.
- [6] Mohamed Sidya Ould Brahim, Issa Diagne Ma, madou Babacar Ndiaye, Youssou Traore, Seydou Faye, Cheikh Thiam, Pape Touty Traore, Ablaye Fame, Sokhna Khadidiatou Ben Thiam, Gregoire Sissoko (2020). Study at Two Dimensions of Thermal Transfer through a Fibers Panel Subjected to Climatic Constraints in Dynamic Frequency Regulations Established. *Energy and Power Engineering*, 12, 135-142, ISSN Online: 1947-3818.
- [7] Ould Mohamed BAH, Mamadou Babacar NDIAYE, Youssou TRAORE, Seydou FAYE, Issa DIAGNE, Moussa GOMINA, and Grégoire SISSOKO (2018). 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. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 24 No. 4, pp. 1917-1922, ISSN 2028-9324.
- [8] 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>.
- [9] Baba Mbengue, Issa Diagne, Alassane Ba, Youssou Traore, Seydou Faye, Pape Touty Traore, Sokhna Khadidiatou Ben Thiam, and Gregoire Sissoko (2020). 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. *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 29 No. 3, pp. 359-367.
- [10] Amadou Gueye, Khatry Ould Cheikh, Issa Diagne, Youssou Traore, Seydou.
- [11] Faye, Cheikh Thiam, Pape Touty Traore, Sokhna Khadidiatou Ben Thiam, Ablaye Fame, El Hadj Bamba Diaw, Gregoire Sissoko, (2020). Study of the Heat Exchange Coefficients in Frequency Modulation for the Determination of Minimum Thickness of Thermal Insulation with Rice Husk Panel. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 7 (5): 323-331. <http://jsaer.com/download/vol-7-iss-5-2020/JSAER2020-7-5-323-331.pdf>.
- [12] K.Rekha, B.H. Nagendra Rao (2017). A stone mastic asphalt is gap graded by using bagasse fiber (sugar cane). *International Research Journal of Engineering and Technology*, Vol-3 Issue-6 IJARIE-ISSN (O) -2395-4396.
- [13] Er Aman Joon, Irfan Ahmad Najar, Heemant Gulati (2017). Design of low Volume Traffic Pavements Using Bagasse Ash. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* e-ISSN: 2395 -0056 Volume: 04 Issue: 04, [www.irjet.net](http://www.irjet.net) p-ISSN: 2395-0072.
- [14] Juliette Sohma, Thomas Gabeta, Pierre Hornycha, Jean-Michel Piau and Hervé Di Benedetto (2012).
- [15] Creep tests on bituminous mixtures and modelling. *Road Materials and Pavement Design* Vol. 13, No. 4, 832-849.
- [16] J. Schmetz (1993). Relationship between solar net radiative fluxes at the top of the atmosphere and at the surface. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 50 (8), 1122-1132.
- [17] Dong L., Li L and Huajie C., (2015). Pavement performance of cement stabilized municipal solid waste incineration bottom ash aggregate and crushed stones. *Journal of Tongji University (Natural Science)* 43 (3), 405-409.
- [18] P. Flyhammar and D. Bendz (2006). Leaching of different elements from subbase layers of alternative aggregates in pavement constructions. *Journal of Hazardous Materials* 137 (1), 603-611.
- [19] Saumitra Yadav, D. S. Ray (2019). Utilization of Sugarcane Bagasse Ash in Bitumen.
- [20] *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 8 Issue 04, pp.479-481.
- [21] Mao-Chieh Chi (2012). Effects of sugar cane bagasse ash as a cement replacement on properties of mortars. *Sci Eng Compos Mater*; 19 (3): 279-285.
- [22] Almeida, F.C.R, Sales, A Moretti, J.P. Mendes and P.C.D (2015). Sugarcane bagasse ash sand (SBAS): Brazilian agroindustrial by-product for use in mortar construction. *Building Material*. 82, 31-38.
- [23] J. E. Vehrencamp (1953). Experimental Investigation of Heat Transfer at an Air-Earth Interface.
- [24] *Transactions, American Geophysical Union*, Vol. 34, No. 1, pp. 22-29.
- [25] J. SCHMETZ, (1993). Relationship between solar net radiative fluxes at the top of the atmosphere and at the surface. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 50-8 pp1125.

- [26] Youssou Traore, Seni Tamba, Alassane Diene, Khatry Ould Cheikh, Moussa Dieng, El Hadji Bala Moussa Nyakhate, Issa Diagne, And Gregoire Sissoko, (2017). Study of the transfer of heat through a road in dynamic frequency regime: the influence of the extrinsic parameters.
- [27] International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 20 No. 2, pp. 616-623.
- [28] H. D. Benedetto Et J. Corte (2005). Matériau routiers bitumineux 2 - constitution et propriétés thermomécaniques des mélanges. Ed. Hermès science - Lavoisier, ISBN 2-7462-0960-8.
- [29] E. Riahia, F. Alloua, F. Duboisa, L. Ulmeta, J. Absib and C. Petit, (2015). Etude de la variation des champs mécaniques et thermique dans le béton bitumineux lors de chargement cyclique, 22ème Congrès Français de Mécanique, pp.1-14.
- [30] S. C. Somé, V. Gaudefroy, and D. Delaunay (2013). A new laboratory method to evaluate the influence of aggregate temperature on the binder-aggregate bonding: first results, Mater. Struct 47, no. 6, 963–976.
- [31] Swapan Bagui, Atasi Das, Chiranjeevi Bapanapalli (2013). Controlling Vehicle Overloading in BOT Projects. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 104, 962 – 971.
- [32] Jeremy J. James, Roger L. Sheley, Elizabeth A. Leger, Peter B. Adler, Stuart P. Hardegree, Elise S. Gornish, Matthew J. Rinella (2019). Increased soil temperature and decreased precipitation during early life stages constrain grass seedling recruitment in cold desert restoration. J Appl. Ecol., 00, 1–11.
- [33] F.G. Gaudette, A.E. Giannakopoulos and S. Suresh (2001). Interface cracks in layered materials subjected to a uniform temperature change. International Journal of Fracture 110: 325–349.
- [34] A.A.Murana<sup>1</sup>, and L. Sani<sup>2</sup> (2015). Partial Replacement of Cement with Bagasse Ash In H Partial Replacement Of Cement With Bagasse Ash In Hot Mix Asphalt Asphalt.
- [35] Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH) Vol. 34 No. 4, pp.699 – 704.
- [36] Bohdan Dołżycki, Piotr Jaskuła (2019). Review and evaluation of cold recycling with bitumen emulsion and cement for rehabilitation of old pavements. J. Traffic Transp. Eng. (Engl. Ed.); 6 (4): 311-323.
- [37] Baoxian Li, Kelvin C. P. Wang, Allen Zhang, Enhui Yang & Guolong Wang (2018). Automatic classification of pavement crack using deep convolutional neural network. International Journal Of Pavement Engineering, 21 (3): 1-7.