

## **Caractérisation thermique des mortiers de ciment dopés en fibres de coco par la méthode du plan chaud asymétrique à une mesure de température**

**Sibiath O. G. OSSENI<sup>1\*</sup>, Berléo D. APOVO<sup>1</sup>, Clément AHOUANNOU<sup>1</sup>,  
Emile A. SANYA<sup>1</sup> et Yves JANNOT<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> *Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquées (LEMA), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC-UAC), 01 BP 2009 Cotonou, Bénin*

<sup>2</sup> *Université de Lorraine, LEMTA, UMR 7563, Vandœuvre-lès-Nancy, F-54500, France*

<sup>3</sup> *CNRS, LEMTA, UMR 7563, Vandœuvre-lès-Nancy, F-54500, France*

\* Correspondance, courriel : [sibiath88@gmail.com](mailto:sibiath88@gmail.com)

### **Résumé**

L'étude réalisée concerne la valorisation des déchets agricoles pour l'élaboration de matériaux biosourcés utilisables comme isolants dans l'habitat. Le présent article est consacré à l'analyse de l'influence de l'incorporation des fibres de coco (coir) sur les paramètres thermophysiques des mortiers de ciment classiques. Des essais de caractérisation thermique ont été effectués, utilisant la méthode du plan chaud asymétrique, la température étant mesurée seulement sur la face chauffée, pour des échantillons de mortiers composites confectionnés avec une incorporation des fibres de coco de longueurs 0,2 cm à 10 cm environ dans des proportions de 1 %, 2 %, 3 % et 4 % en masse de sable. Les paramètres étudiés sont l'effusivité thermique, la conductivité thermique et la capacité thermique volumique des échantillons. Les résultats ont montré que la conductivité thermique diminue d'environ 10 % lorsque la proportion (jusqu'à 3 %) et / ou la longueur des fibres augmente, confirmant ainsi la capacité des fibres à assurer l'isolation thermique.

**Mots-clés :** *matériaux biosourcés, fibres de coco, mortiers de ciment, paramètres thermophysiques, plan chaud asymétrique.*

### **Abstract**

**Thermal characterization of cement mortars with coconut fibers by asymmetrical hot plate method with one temperature measurement**

The study deals with the valorization of agricultural wastes through the elaboration of bio-based materials usable as heat insulators in building. The present article is dedicated to the analysis of the influence of the coconut fibers incorporation on the thermophysical parameters of the conventional cement mortars. Thermal characterization tests were performed using the asymmetrical hot plate method for which the temperature is measured only on the heated surface of the samples. The composites samples were prepared with incorporation of the coconut fibers into the classical mortar, in respective proportions of 1 %, 2 %, 3 % and 4 % mass of sand with about 0.2 cm to 10 cm long. The studied parameters are the thermal effusivity, the thermal conductivity and the volumetric heat capacity of the samples. The results showed that the thermal conductivity decreases by about 10 % when the proportion (until 3 %) and / or the length of the fibers increases, thereby confirming the thermal insulation capacity of fibers.

**Keywords :** *bio-based materials, coconut fibers, cement mortars, thermophysical parameters, asymmetrical hot plate.*

## 1. Introduction

La réduction des charges thermiques des bâtiments est l'une des innombrables solutions pour la lutte contre les effets du changement climatique et pour la préservation de l'environnement. Pour faire baisser la consommation énergétique dans le bâtiment, il sera indispensable de promouvoir dès la construction, des systèmes intégrés aux structures, qui assurent un confort thermique et hygrosopique naturel, diminuant ainsi les besoins en énergie conventionnelle. L'isolation thermique est un moyen efficace pour pallier les déperditions dans l'enveloppe du bâtiment car une bonne partie des déperditions de la chaleur se fait à travers les parois verticales. L'utilisation des matériaux de construction isolants permet d'atténuer le transfert de chaleur à travers les parois du bâtiment [1]. Il existe des isolants synthétiques (polyuréthane, polystyrène, laine de verre ou de roche, etc.) qui sont efficaces, mais leur utilisation augmente le prix de revient des édifices et a des impacts sur l'environnement. Depuis quelques années, les matériaux biosourcés sont élaborés et répondent aussi bien aux critères techniques habituellement exigés des matériaux de construction classiques, qu'aux critères environnementaux pendant leur durée de vie. Les composites à base de fibres de diss, par exemple, ont servi d'isolant thermique tout en conservant des propriétés mécaniques convenables [2].

Les propriétés mécaniques et physiques des mortiers de ciment à base de fibres cellulosiques d'alfa ont été étudiées par [3]. Ces auteurs ont observé que ces mortiers à fibres ont une bonne conductivité thermique : de l'ordre de  $0,8 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , assez proche de celle d'un isolant. Pour connaître les caractéristiques thermophysiques des matériaux, on dispose de plusieurs méthodes, en régime permanent que sont les méthodes : des boîtes [4], du régime régulier [5] et en régime variable comme les méthodes : du ruban chaud [6, 7], du disque chaud [8, 9], du fil chaud [10], de tri-couche [11] et du plan chaud [12 - 17]. De manière générale, le temps de mise en œuvre des méthodes en régime permanent est très long. On a donc recours aux méthodes en régime variable permettant la détermination de plusieurs paramètres comme la conductivité et l'effusivité thermiques. La présente étude a pour objectif, de formuler et de caractériser des échantillons de mortiers de ciment dans lesquels on a incorporé des fibres issues de la bourre de coco. L'objectif est de quantifier l'amélioration apportée par l'ajout des fibres, du point de vue thermique. La méthode choisie est celle du plan chaud très utilisée actuellement pour la caractérisation des matériaux de construction comme le bois ou les matériaux à base de terre.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Protocole expérimental

Pour la caractérisation thermique des matériaux formulés, un dispositif de mesure, de type plan chaud asymétrique [13], utilisant la mesure de la température de la face chauffée de l'échantillon (dite à une mesure de température), a été réalisé au Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquées (LEMA). Le dispositif expérimental (*Figure 1*) est constitué d'une structure métallique (potence + dispositif de serrage), portant deux blocs isolants en polystyrène entre lesquels sont disposés l'échantillon à caractériser et la résistance chauffante de faible épaisseur ( $3 \times 10^{-4} \text{ m}$ ), sur laquelle est fixé un thermocouple de type K (Chromel-Alumel). Tous ces derniers composants sont pris en sandwich entre deux blocs en aluminium. La pression de maintien est obtenue à l'aide d'un axe métallique fileté qui permet d'assurer un contact parfait de l'ensemble des composants entre le plateau de la potence et le disque de serrage. La résistance chauffante est raccordée à une alimentation stabilisée «GPS-3303» de puissance 90 W et couplée à une centrale d'acquisition (PICOLOG TC 08) de la température mesurée grâce au thermocouple.



(a)

(b)

1- Potence, 2- Dispositif de serrage, 3- Alimentation stabilisée, 4- Enregistreur de température, 5- Blocs d'aluminium, 6- Isolants, 7- Echantillon, 8- Résistance chauffante

Figure 1 : Photo du dispositif de mesures de type plan chaud asymétrique utilisé (a) et de la chaîne de mesure (b)

### 2-2. Modèle considéré

La méthode du plan chaud repose sur le respect des hypothèses du milieu semi-infini et du transfert unidirectionnel de la chaleur à travers l'échantillon testé. On considère que les dimensions transversales de la résistance chauffante sont grandes devant l'épaisseur de l'échantillon. Le transfert de chaleur reste donc unidirectionnel au centre de l'échantillon (éprouvette). Les isolants sont déformables ce qui assure une parfaite adhérence du thermocouple à l'isolant du bas. En négligeant les pertes de chaleur par convection à travers les faces latérales de l'échantillon et en considérant que la résistance chauffante est suffisamment mince, nous pouvons appliquer le formalisme des quadripôles [18] qui permet d'écrire, en considérant le modèle (Figure 2), les **Équations** suivantes :

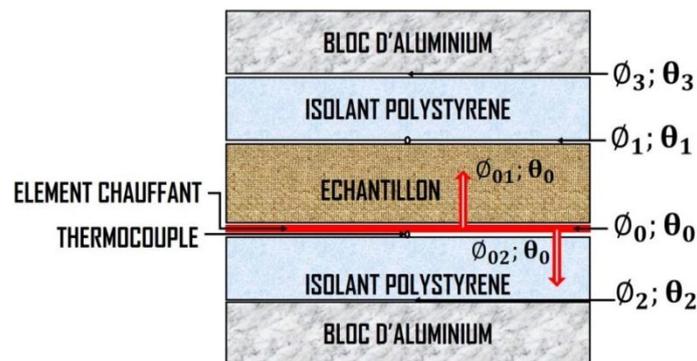


Figure 2 : Modèle physique du dispositif de plan chaud à une mesure de température (face chauffée), notations et position du thermocouple

- Sur la face supérieure chauffée de l'échantillon :

$$\begin{bmatrix} \theta_0 \\ \phi_{01} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ m_s c_{sp} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R_{c1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_e B_e \\ C_e D_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R_{c2} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_i B_i \\ C_i D_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_3 \\ \phi_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

avec,

$$A_e = D_e = ch(q_e e_e), B_e = \frac{1}{\lambda_e S q_e} sh(q_e e_e), C_e = \lambda_e S q_e sh(q_e e_e), q_e = \sqrt{\frac{p}{a_e}}$$

$$A_i = D_i = ch(q_i e_i), B_i = \frac{1}{\lambda_i S q_i} sh(q_i e_i), C_i = \lambda_i S q_i sh(q_i e_i), q_i = \sqrt{\frac{p}{a_i}}$$

$\theta_0$  : transformée de Laplace de la différence de température au centre de l'élément chauffant ;

$\theta_3$  : transformée de Laplace de la différence de température entre l'isolant et le bloc d'aluminium du haut ;

$\Phi_{01}$  : transformée de Laplace du flux traversant l'échantillon ;

$\Phi_3$  : transformée de Laplace du flux à la face supérieure de l'isolant du haut ;

$R_c$  : résistance de contact échantillon / résistance chauffante ( $KW^{-1}$ ) ;

$m_s$  : masse de l'élément chauffant ( $kg$ ) ;

$c_s$  : chaleur spécifique de l'élément chauffant ( $Jkg^{-1}K^{-1}$ ) ;

$p$  : paramètre de Laplace ( $s^{-1}$ ) ;

$e_e$  : épaisseur de l'échantillon ( $m$ ) ;

$e_i$  : épaisseur du polystyrène ( $m$ ) ;

$S$  : surface de l'échantillon et de la résistance chauffante ( $m^2$ ) ;

$\lambda_e$  : conductivité thermique du matériau à caractériser ( $Wm^{-1}K^{-1}$ ) ;

$\lambda_i$  : conductivité thermique du polystyrène ( $Wm^{-1}K^{-1}$ ) ;

$a_e$  : diffusivité thermique du matériau à caractériser ( $m^2s^{-1}$ ) ;

$a_i$  : diffusivité thermique du polystyrène ( $m^2s^{-1}$ ).

- Sur la face inférieure de l'échantillon, du côté de la résistance :

$$\begin{bmatrix} \theta_0 \\ \Phi_{02} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & R_{c3} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_i B_i \\ C_i D_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_2 \\ \Phi_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$\theta_2$  : transformée de Laplace de la différence de température entre l'isolant et le bloc d'aluminium du bas ;

$\Phi_2$  : transformée de Laplace du flux qui atteint l'isolant du bas ;

$\Phi_{02}$  : transformée de Laplace du flux traversant l'isolant du bas ;

$\theta_2 = \theta_3 = 0$ , du fait de la présence des isolants et de l'hypothèse du milieu semi-infini.

En négligeant  $R_{c2}$  et  $R_{c3}$  du fait du contact avec l'isolant déformable, posons:

$$\begin{bmatrix} A_0 & B_0 \\ C_0 & D_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ m_s c_s p & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R_c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_e & B_e \\ C_e & D_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{bmatrix}$$

Les **Équations (1) et (2)** conduisent donc à :

$$\Phi_{01} = \theta_0 \frac{D_0}{B_0} \text{ et } \Phi_{02} = \theta_0 \frac{D_i}{B_i}; \text{ avec : } \Phi_0 = \frac{\varphi_0}{p} = \Phi_{01} + \Phi_{02},$$

où,  $\varphi_0$  est le flux de chaleur produit par effet Joule dans la résistance chauffante.

On alors a :  $\theta_0 = \frac{\theta_0}{\left(\frac{D_i}{B_i} + \frac{D_0}{B_0}\right)}$  (3)

La température  $\theta_0$  est obtenue dans l'espace de Laplace. Pour revenir dans l'espace de temps réel, on applique la transformation inverse de Laplace en utilisant l'algorithme de [19], permettant de calculer la température  $T_0$  à un instant  $t$  donné. La transformée inverse de Laplace est obtenue numériquement en utilisant un programme écrit dans le logiciel Matlab. Le principe de la méthode consiste à estimer les valeurs de l'effusivité  $E$  et de la capacité thermique volumique  $\rho C$  de l'échantillon qui minimisent la somme des écarts quadratiques :

$$\Psi = \sum_{i=1}^N [T_{\text{exp}}(t_i) - T_{\text{mod}}(t_i)]^2$$

Entre les valeurs expérimentales et les valeurs théoriques obtenues à partir de l'Équation (3).  $\rho$  est la masse volumique de l'échantillon à caractériser et  $C$  sa chaleur massique.

### 2-3. Étalonnage du dispositif expérimental

L'étalonnage du dispositif expérimental revient à estimer la surface  $S$  de la résistance chauffante et sa capacité calorifique  $m_S C_S$  qui seront fixées dans le programme d'estimation. Pour cela, trois expériences successives ont été faites en plaçant dans le dispositif représenté (Figure 2), respectivement :

- un échantillon de PVC dont les propriétés thermiques, mesurées au moyen d'un calorimètre Setaram  $\mu\text{dsc3}$  d'une part et la méthode flash d'autre part, sont :  $\rho C = 1,42 \times 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$  et  $\lambda = 0,19 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- deux échantillons de polystyrène extrudé (isolants) dont les propriétés thermiques, mesurées à l'aide du calorimètre Setaram  $\mu\text{dsc3}$  d'une part et par la méthode de plan chaud centré d'autre part, sont :  $\rho_i C_i = 48000 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$  et  $\lambda_i = 0,032 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

Ces expériences ont été utilisées pour estimer la surface et la capacité thermique de la résistance chauffante en considérant les propriétés du matériau PVC connues dans le processus d'estimation. Les résultats sont regroupés respectivement dans les Tableaux 1 et 2.

**Tableau 1** : Valeurs estimées de la surface de la résistance chauffante à  $t = 360 \text{ s}$  ;  $I = 0,287 \text{ A}$  ;  $e_e = 0,0102 \text{ cm}$

Essais	Surface estimée $S$ (m <sup>2</sup> )
1	0,01058
2	0,01039
3	0,01036
Moyenne	0,01044
Ecart-type sur la moyenne	0,00012

$I$  est l'intensité du courant de chauffage,  $e_e$  l'épaisseur de l'échantillon et  $t$  la durée des estimations. L'écart relatif entre cette valeur moyenne de la surface estimée et la valeur mesurée au moyen d'un pied à coulisse ( $S = 0,0103 \text{ m}^2$ ) est de 1,4 %. Cet écart est acceptable car sa valeur demeure inférieure à 5 %.

**Tableau 2** : Valeurs estimées de  $m_s c_s$  à  $t = 360$  s ;  $l = 0,287$  A ;  $e_e = 0,0102$  cm

Essais	$m_s c_s$ estimée (J K <sup>-1</sup> )
1	431,0
2	451,8
3	403,1
Moyenne	428,6
Ecart-type sur la valeur moyenne	24,46

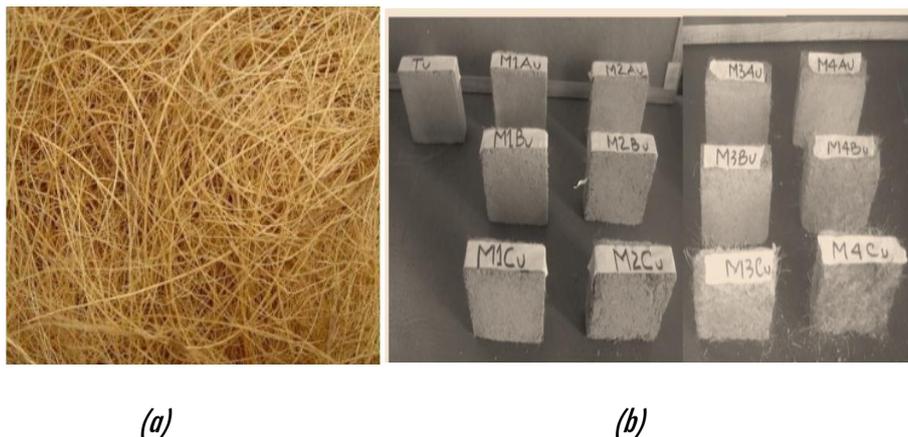
### 3. Résultats et discussion

#### 3-1. Formulation des échantillons testés

Les échantillons étudiés sont de dimensions 10 cm × 10 cm × 3 cm et composés de ciment, de sable et d'eau. Le ciment utilisé est du type CPJ 35 fourni par la Nouvelle Cimenterie de Bénin (NOCIBE) et dosé à 250 kg m<sup>-3</sup> dans le mélange. Le sable utilisé provient de la carrière de Dêkougbé dans l'arrondissement de Godomey au Bénin. L'eau est celle du forage alimentant le réseau d'adduction du campus de l'Université d'Abomey-Calavi. Dans le matériau issu de la formulation de référence présentée ci-dessus, sont ensuite incorporées les fibres de coco (**Figure 3a**) initialement lavées à l'eau chaude et séchées à l'air libre. La substitution du sable par les fibres de coco, dans le mélange formulé, s'effectue à égales proportions. Enfin, trois classes de fibres sont obtenues suivant leur longueur :

- Classe A : mélange fibres courtes de longueur appartenant à l'intervalle [0,2 ; 2 cm [ ;
- Classe B : mélange intermédiaire de fibres de longueur appartenant à l'intervalle [2 ; 5 cm [ ] ;
- Classe C : mélange fibres longues, longueur supérieure à 5 cm.

Les échantillons types de matériaux composites à mortier de ciment élaborés qui sont soumis aux tests de caractérisation thermique sont présentés à la **Figure 3b**.



**Figure 3** : Présentation physique des fibres de coco (a) et des échantillons de mortiers de ciment testés (b)

#### 3-2. Résultats des tests effectués sur les échantillons de mortier

Les résultats des différents tests de caractérisation thermique réalisés sur les matériaux composites (mortier de ciment + fibres de coco) dosés respectivement à 1 %, 2 %, 3 % et 4 % en masse de fibres puis sur l'échantillon de référence sont illustrés par les **Figures 4 et 5**, qui présentent respectivement l'évolution

de l'effusivité thermique et de la conductivité thermique des matériaux élaborés en fonction de la longueur (courte, moyenne, longue) et du pourcentage des fibres de coco. Les différents échantillons, de masse volumique moyenne  $1600 \pm 150 \text{ kg m}^{-3}$ , ont été séchés et conservés à l'air ambiant à la température moyenne de  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ , l'humidité relative mesurée étant de  $80 \pm 2 \%$ .

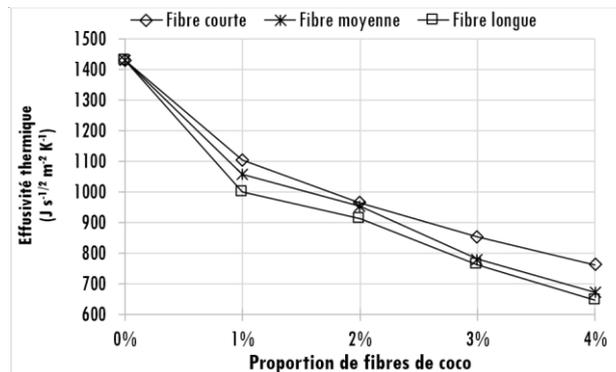


Figure 4 : Effusivité thermique des matériaux composites élaborés en fonction de la longueur des fibres (courte : [0,2 cm; 2 cm], moyenne : [2 ; 5 cm], longue : supérieure à 5 cm)

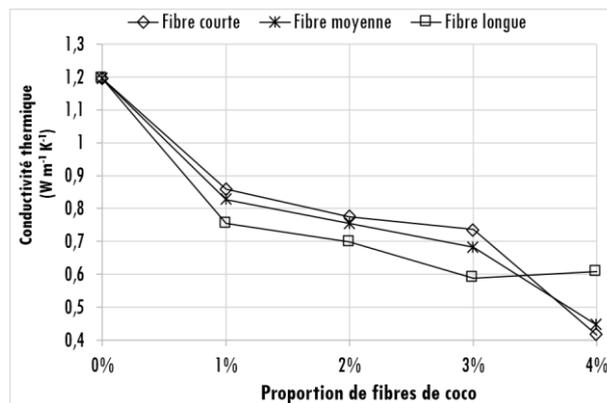
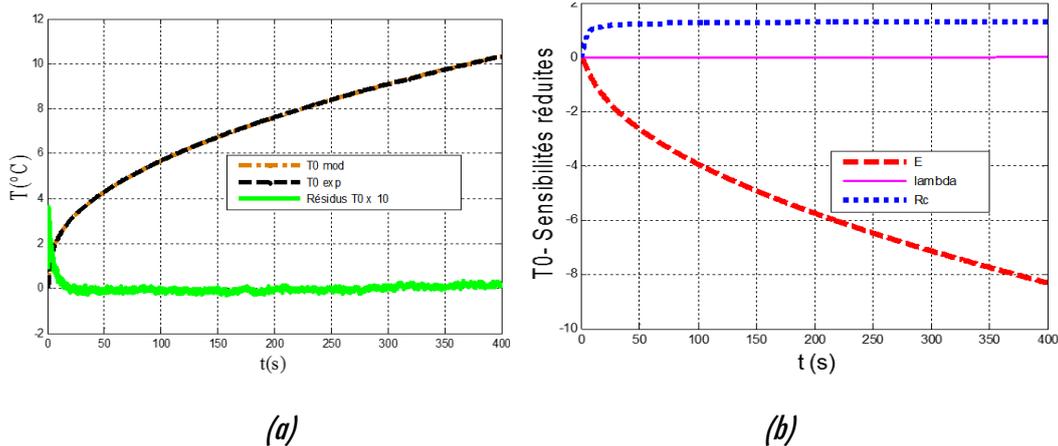


Figure 5 : Conductivité thermique des matériaux composites élaborés en fonction de la longueur des fibres (courte : [0,2 ; 2 cm] ; moyenne : [2 ; 5 cm] ; longue : supérieure à 5 cm)

Les résultats obtenus montrent que l'effusivité thermique et la conductivité thermique diminuent d'environ 10 % au fur et à mesure que le pourcentage de fibres incorporées augmente (jusqu'à 3 %). Pour un même pourcentage de fibres, la conductivité thermique des mortiers de ciment fibrés, diminue quand la longueur des fibres augmente. La fibre de coco étant en effet un bon isolant thermique avec une conductivité thermique de  $0,055 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  [20], son introduction dans le mortier de ciment améliore les propriétés d'isolation thermique des mortiers composites obtenus. Toutefois, pour les mortiers de ciment contenant 4 % de fibres de coco, on note un chevauchement entre les courbes de conductivité thermique. Cette tendance serait due à l'hétérogénéité de l'échantillon, comme cela apparaît sur les échantillons notés M4 (Figure 3b). Des analyses complémentaires, notamment par microscopie électronique à balayage (MEB) pourraient mieux nous renseigner sur la structure et donc l'homogénéité ou l'hétérogénéité des matériaux confectionnés. Ce dernier résultat a constitué un facteur bloquant et nous a donc permis de limiter l'incorporation des fibres de coco à 3 % en masse de sable. Sur la Figure 6a, sont représentées les courbes de résidus (différences entre les températures théorique et expérimentale), après l'estimation réalisée sur des échantillons de mortier de ciment fibré à 2 %. Ces résultats montrent que les résidus d'estimation sont nuls. Ceci nous permet de conclure

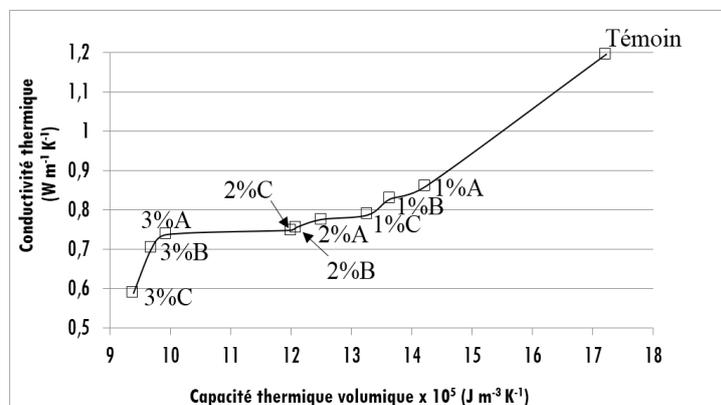
que le modèle élaboré décrit, de façon adéquate, les résultats expérimentaux sur la durée de chauffage retenue et déterminée à partir des courbes de sensibilité réduite représentées (**Figure 6b**). En effet, la sensibilité réduite de la température, par rapport à un paramètre  $K_i$  est calculée par la relation  $K_i \frac{\partial T}{\partial K_i}$  qui représente la variation de la température  $T$  (en °C) pour une variation relative de  $K_i$  de 100 %. Les sensibilités réduites présentent ainsi l'avantage de permettre la comparaison directe de l'influence relative des différents paramètres sur la température  $T$  et de déterminer l'intervalle approprié pour l'estimation de chacun des paramètres en étude.



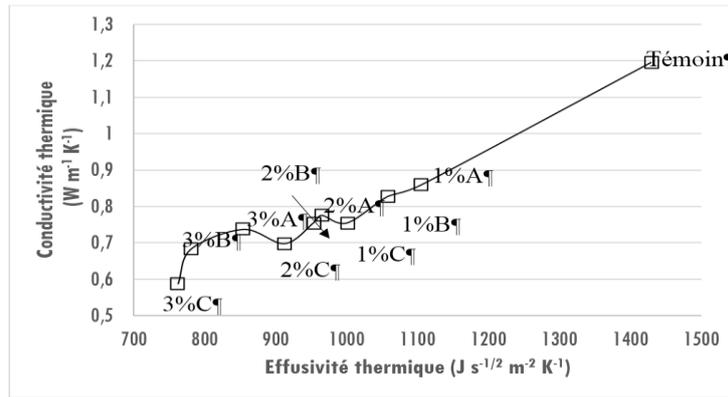
**Figure 6 :** Courbes de température et de résidus d'estimation (a) et courbes de sensibilités réduites (b) pour un échantillon de mortier de ciment fibré à 2 %

### 3-3. Influence de la capacité thermique volumique ou de l'effusivité thermique sur la conductivité thermique

La **Figure 7** présente l'évolution de la conductivité thermique  $\lambda$  en fonction de la capacité thermique volumique  $\rho c$  et de l'effusivité thermique  $E$ , pour les différents dosages en fibres de coco testés, notamment à 1 %, 2 % et 3 %. On y observe une augmentation de la conductivité thermique en fonction de la capacité thermique volumique (produit de la chaleur massique et de la masse volumique de l'échantillon considéré). La capacité thermique étant constante sur la plage de température considérée (écart d'environ 10°C sur la face chauffée), l'estimation de la capacité thermique volumique est donc directement fonction de la masse volumique des composites élaborés.



**Figure 7a :** Evolution de la conductivité thermique en fonction de la capacité thermique volumique



**Figure 7b :** Evolution de la conductivité thermique en fonction de l'effusivité thermique

L'analyse des résultats reportés sur ces **Figures** permet de conclure que, parmi les matériaux composites à mortiers de ciment incorporés de fibres de coco, les moins denses et les moins effusifs sont meilleurs isolants thermiques. Par ailleurs, à partir des graphes des **Figures 7**, il est possible de choisir des valeurs de la conductivité thermique et celles de l'effusivité thermique ou de la capacité thermique volumique permettant d'initialiser le programme d'estimation écrit dans Matlab et ainsi faciliter une convergence rapide de la minimisation numérique. Généralement, les essais de caractérisation thermique faits dans le cadre des travaux présentés dans la littérature sur les mortiers renforcés de fibres, conduisent à l'estimation d'un seul paramètre : soit l'effusivité thermique, soit la diffusivité thermique ou la conductivité thermique des matériaux étudiés. La méthode présentée dans cette étude permet d'estimer simultanément tous ces paramètres sur le même dispositif, à chaque essai. Elle a donc l'avantage de réduire les incertitudes sur les mesures et constitue ainsi une avancée notable dans la technologie de caractérisation thermique des matériaux. En effet, la connaissance de deux des paramètres thermophysiques permet de calculer tous les autres. En outre, afin d'évaluer l'adaptabilité de la technique de plan chaud asymétrique, à une mesure de température (celle de la face chauffée), à d'autres matériaux locaux, divers essais de caractérisation thermique ont été faits à l'aide de ce même dispositif. Les résultats obtenus concernant les paramètres thermophysiques de quelques matériaux locaux qui y ont été testés avec le dispositif expérimental sont reportés dans le **Tableau 4**.

**Tableau 4 :** Moyenne des valeurs estimées des paramètres thermophysiques de quelques matériaux ou composites locaux utilisés au Bénin

Matériau	Paramètres déterminés		
	Effusivité thermique $E$ ( $J K^{-1} m^{-2} s^{-1/2}$ )	Conductivité thermique $\lambda$ ( $W m^{-1} K^{-1}$ )	Capacité thermique volumique $10^6 \times \rho c$ ( $J m^{-3} K^{-1}$ )
Sciure de bois (Ebène) + Sachet plastique fondu	760,2	0,3180	1,817
Polystyrène* + Sciure de bois (Ebène)	327,6	0,1135	0,945
Marbre (Bénin)	3416,3	4,941	2,363
Granite (Bénin)	2470,5	3,224	1,893
Basalte (Bénin)	2744,2	3,849	1,956

\* Le polystyrène a été mélangé avec de l'essence pour obtenir un liant.

#### 4. Conclusion

Cette étude nous a permis d'avoir une vue globale sur les méthodes de mesure en thermique. La méthode de plan chaud asymétrique a été ainsi retenue pour effectuer les tests de caractérisation thermique sur des mortiers de ciment renforcés en fibres de coco. Les échantillons de mortier ont été élaborés avec le ciment de type CPJ 35 provenant de la Nouvelle Cimenterie du Bénin, le sable provenant de la carrière de Dêkougbe, l'eau du réseau d'adduction de l'UAC et des pourcentages de fibres de 0 % (témoin), 1 %, 2 %, 3 % et 4 % en masse de sable. Les essais de caractérisation thermique ont permis d'estimer l'effusivité thermique, la conductivité thermique et la capacité thermique volumique des échantillons considérés. Les résultats obtenus montrent que les caractéristiques thermophysiques des mortiers de ciment fibrés sont améliorées, grâce à l'augmentation de leur pouvoir isolant, suivant le pourcentage et la longueur des fibres incorporées, par rapport au mortier sans fibres. Ces composites, de par leur capacité thermique volumique, présentent l'avantage d'être des mortiers plus légers par rapport au mortier témoin. Les résultats des essais mécaniques devraient nous permettre de retenir les échantillons pouvant servir d'éléments de remplissage pour les murs en élévation ou porter des structures. D'autres formulations seront étudiées par la suite en substituant une quantité de fibres partiellement au sable dans mélange de base (sable + ciment) pour analyser les comportements thermique et mécanique des composites susceptibles d'être utilisés comme matériaux de construction répondant aux impératifs énergétiques et environnementaux pour réduire les effets du réchauffement climatique.

#### Références

- [1] - P. MEUKAM, Y. JANNOT, A. NOUMOWE, T. C. KOFANE, Thermo physical characteristics of economical building materials, *Construction and Building Materials*, 18 (2004) 437 - 443.
- [2] - M. MERZOUD, Elaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de fibres de diss dans la fabrication de la maçonnerie, Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat d'Etat, Département de Génie Civil, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Badji Mokhtar-Annaba, (2007).
- [3] - O. BAHLOUL, A. BOURZAM, A. BAHLOUL, Utilisation des fibres végétales dans le renforcement de mortiers de ciment (cas de l'alfa), SBEIDCO - 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October, 12-14, (2009) 415 - 422.
- [4] - L. BOUKHATTEM, R. MIR, M. KOURCHI, A. BENDOUCHE, Caractérisation thermo physique du mortier à base de ciment et de sable, Laboratoire d'Ingénierie des Procédés de l'Energie et de l'Environnement (LIP2E), ENSA d'Agadir, Maroc, (2007).
- [5] - A. VIANOU, Etude de la méthode du régime régulier pour la détermination de la diffusivité thermique des matériaux faiblement conducteurs de chaleur, Thèse de Doctorat, Université d'Evry Val d'Essonne, (1994).
- [6] - A. BENAZZOUK, O. DOUZANE, K. MEZREB, B. LAIDOUDI and M. QUENEUDEC, Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles: Experimental study and modeling, Elsevier : *Construction and Building Materials*, 22 (2006) 573 - 579.
- [7] - A. SALEH, Measurements of thermal properties of insulation materials by using transient plane source technique, Elsevier : *Applied Thermal Engineering*, 26 (2006) 2184 - 2191.
- [8] - F. DE PONTE and S. KLARSFELD, Conductivité thermique des isolants, *Techniques de l'Ingénieur*, Doc. R 2 930, (2002).
- [9] - A. S. BAHRANI, Y. JANNOT and A. DEGIOVANNI, Extension and optimization of a three-layer method for the estimation of thermal conductivity of super-insulating materials, Elsevier : *Journal of applied physics*, 116 (2014) 1 - 9.

- [10] - Y. JANNOT, Z. ACEM et A. KANMOGNE, Transient hot plate method with two temperature measurements for thermal characterization of metals, Institute of Physics Publishing, Meas. Sci. Technol, 17 (2006) 69 - 74.
- [11] - Y. JANNOT, B. RÉMY and A. DEGIOVANNI, Measurement of thermal conductivity and thermal resistance with a tiny hot plate, High Temperatures-High Pressures, 39 (1) (2009) 1 - 21.
- [12] - S. RAJI, Y. JANNOT, P. LAGIÈRE and J. R. PUIGGALI, Thermophysical characterization of a laminated solid wood pine wall, Elsevier : Construction and Building Materials, 23 (2009) 3189 - 3195.
- [13] - H. BAL, Y. JANNOT, N. QUENETTE, A. CHENU, S. GAYE, Water content dependence of the porosity, density and thermal capacity of laterite based bricks with millet waste additive, Construction & Building Materials, 31 (2012) 144 - 150.
- [14] - N. LAAROUSSI, A. CHERKI, M. GAROUM, A. KHABBAZI, A. FEIZ, Thermal properties of a sample prepared using mixtures of clay bricks, Conference : Sustainable Building technologies, (2012).
- [15] - H. BAL, Y. JANNOT, S. GAYE, F. DEMEURIE, Measurement and modelisation of the thermal conductivity of a wet composite porous medium : Laterite based bricks with millet waste additive, Construction & Building Materials, 41 (2013) 586 - 593.
- [16] - D. MAILLET, A. ANDRE, J-C. BATSALE, A. DEGIOVANNI, C. MOYNE, Thermal quadrupoles, John Wiley & Sons Ltd, (2000).
- [17] - Y. JANNOT, Théorie et pratique de la métrologie thermique, Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Théorique et Appliquées (LEMTA), (2011).
- [18] - FR. DE HOOG, An improved method for numerical inversion of Laplace transforms, Soc Ind Appl Math, 3 (3) (1982) 357 - 366.
- [19] - A. DEGIOVANNI, Conductivité et diffusivité thermiques des solides, Techniques de l'Ingénieur, Doc R 2 850, (1994).
- [20] - J. C. DAMFEU, P. MEUKAM, Y. JANNOT, Modeling and measuring of the thermal properties of insulating vegetable fibers by the asymmetrical hot plate method and the radial flux method : Kapok, coconut, groundnut shell fiber and rattan, Thermochimica Acta, 630 (2016) 64 - 77.