

Influence de la taille des fibres de coco sur les propriétés thermiques et mécaniques des mortiers de terre

Ouro-Djobo E. Samah¹, Ange Christine Djohoré^{2,*}, Oubrè Sery P. Jolisaint³, Moro Olivier Boffoué³

¹Centre Régional de Formation pour Entretien Routier (CERFER) 01 BP 1369, Lomé, Togo

²Université Nangui ABROGOUA, Institut de Recherche sur les Énergies Nouvelles, Laboratoire des Études Energétiques, Climatiques et Environnementales, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

³Université Félix Houphouët-Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Reçu : 26 Septembre 2025 / Reçu sous sa forme révisée : 28 Novembre 2025 / Accepté : 13 Décembre 2025

Résumé :

Dans l'optique d'utiliser des matériaux plus écologiques, un regain d'intérêt pour les matériaux locaux à base de terre et de fibres végétales constitue une alternative intéressante aux matériaux classiques (béton, mortier sable-ciment, acier, verre, carbone, aramide, amiante). Cette étude s'intéresse principalement aux fibres extraites de l'enveloppe des noix de coco pour élaborer des matériaux composites. En effet, la grande consommation de noix de coco sous diverses formes génère beaucoup de déchets abandonnés dans la nature. La valorisation de ces déchets pourrait représenter une opportunité économique tout en contribuant à la protection de l'environnement. Par ailleurs, l'introduction de matériaux de construction écologiques dans un contexte contemporain nécessite des essais attestant de leurs propriétés fondamentales. Ainsi, différents échantillons d'un mélange terre-ciment, contenant différentes longueurs de fibres de coco à une teneur massique de 1%, ont été élaborés et soumis à des essais physiques (densité apparente et conductivité thermique) et mécaniques. Les essais de conductivité thermique réalisés sur les mortiers à base de fibres de coco montrent que les mortiers secs renforcés de fibres de coco sont de très bons isolants thermiques, contrairement au mortier témoin sec. Ces matériaux présentent une conductivité thermique d'environ $0,1 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, ce qui en fait de bons isolants. En outre, l'ajout de fibres dans le mortier terre-ciment permet de transformer le comportement fragile du matériau en un comportement ductile. Les mortiers secs à base de fibres de coco peuvent donc servir à la fois de matériau de construction (torchis, pisé, etc.) et de matériau d'isolation thermique.

Mots-clés : Mortier terre-ciment; Fibres de coco; Conductivité thermique; Résistance mécanique; Densité apparente.

*Auteur correspondant:

Adresse e-mail : drdjohore@gmail.com (A. C. Djohoré)
<https://doi.org/10.70974/mat09225274>

Abstract :

In the interest of using more ecological materials, a renewed interest in local materials made from earth and plant fibers is becoming an interesting alternative compared to traditional materials (concrete, sand-cement mortar, steel, glass, carbon, aramid, asbestos). This study focuses primarily on fibers extracted from coconut husks to develop composite materials. Indeed, the high consumption of coconut in various forms generates a lot of waste that is abandoned in nature. Recycling this waste could be an economic opportunity while also protecting the environment. Furthermore, transposing ecological construction materials into a contemporary context requires tests to attest to their fundamental properties. Different samples of a clay-cement mixture, containing different lengths of coconut fibers with a mass content of 1%, were prepared and subjected to physical (bulk density and thermal conductivity) and mechanical tests. The thermal conductivity tests carried out on mortar containing coconut fibers show that dry mortars containing coconut fiber are very good thermal insulators, unlike the dry control mortar. These materials have a thermal conductivity of around $0.1 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, which makes them good insulators. The addition of fibers to the earth-cement mortar allows the material's brittle behavior to be changed to ductile behavior. Dry mortars containing coconut fibers can therefore be used as a construction material (cob, rammed earth, etc.) and thermal insulation materials.

Keywords : Earth-cement mortar ; Coconut fibers ; Thermal conductivity ; Mechanical strength ; Apparent density.

1. Introduction

Les matériaux conventionnels à base de ciment affectent le comportement hygrothermique de l'enveloppe des bâtiments et la qualité de l'environnement intérieur. Les recherches ont contribué à l'introduction d'écomatériaux innovants, réduisant ainsi la part du ciment. Les écomatériaux sont fabriqués à partir de ressources renouvelables d'origine biologique, telles que les fibres végétales (paille, fibres de coco, sisal, chanvre, bambou, lin, jute et palmier) et les déchets animaux [1]. L'utilisation de ressources renouvelables d'origine biologique représente aujourd'hui une alternative viable aux matériaux conventionnels. Cependant, les propriétés thermiques et mécaniques de ces écomatériaux dépendent du type de fibres, de leur proportion, de leur longueur et de leur orientation. Des études ont montré qu'il existe une quantité optimale et une longueur optimale de fibres à ajouter, pour une application donnée, selon le type de fibres et le type de matrice minérale (matrices argileuses ou cimentaires) afin d'améliorer les performances des composites [2–5]. Djomo

et al. [2] ont élaboré des mortiers d'argile stabilisée à 8% de ciment, contenant différentes teneurs en fibres de coco (0 ; 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 et 1%), d'une longueur de 30 mm. Ils ont souligné que la conductivité thermique des mortiers secs contenant des fibres de coco diminue avec l'augmentation de la teneur en fibres, et que le composite contenant 1% de fibres de coco était un bon isolant thermique comparé au matériau sans fibres. Abani et al. [6] ont étudié l'effet des fibres végétales du palmier dattier sur les propriétés thermiques des mortiers cimentaires. Les résultats de leur étude montrent que l'augmentation du pourcentage de fibres de palmier (1 ; 2 ; 3 ; 4 et 5%) d'une longueur de 20 mm réduit la conductivité thermique de 36% et la chaleur spécifique des composites de 10% comparativement au mortier témoin. Lertwattanakul et Suntijitto [7] ont utilisé des longueurs variables de 5 à 10 mm et des pourcentages massiques de 5, 10 et 15% de fibres de coco et de palmier à huile, traitées à l'eau bouillante, dans des mortiers cimentaires. Ils ont observé que la conductivité thermique diminue par rapport au mortier

de ciment sans fibres et décroît avec l'augmentation de la teneur en fibres. Selon les auteurs, cette diminution de la conductivité thermique serait due à la présence des fibres dans la matrice cimentaire, ce qui augmente la capacité d'isolation thermique des matériaux composites. L'efficacité d'un matériau isolant dépend principalement de sa conductivité thermique et de sa capacité à conserver ses propriétés thermiques sur une longue période d'utilisation [5].

L'ajout de fibres naturelles influence les performances mécaniques des matériaux composites. Pour Djohoré *et al.* [4], l'ajout de 0,8% de fibres de coco mesurant 30 mm améliore la résistance à la compression des mortiers d'argile-8% de ciment. Dans les travaux de Sedan *et al.* [8], la résistance à la flexion passe de 4,9 MPa pour la pâte de ciment seule à 6,8 MPa pour le composite avec 16% de fibres, soit une amélioration de 40%. Au-delà de 16%, les auteurs ont observé une chute de la résistance à la flexion jusqu'à 4 MPa. Reis [9] a rapporté que le renforcement d'un béton par des fibres naturelles augmente la résistance à la flexion de 25% avec des fibres de coco et de 3,5% avec des fibres de canne à sucre. Néanmoins, une diminution de la résistance à la flexion est observée avec les fibres de banane. On peut donc ajouter des fibres en même temps que certains liants hydrauliques (ciment et/ou chaux) dans des matrices minérales pour améliorer les comportements thermiques et mécaniques des matériaux composites. Millogo *et al.* [10] ont utilisé des fibres d'*Hibiscus cannabinus* (kenaf) pour renforcer de la latérite sans stabilisant chimique avec des teneurs en fibres de 0,2 à 0,8% et avec deux longueurs de fibres de 3 cm et 6 cm. La valeur de résistance à la compression la plus élevée des blocs comprimés (2,85 MPa) a été obtenue à une teneur de 0,4% en masse avec des fibres de 3 cm, soit 30 mm de long. Pour Khedari *et al.* [11], l'augmentation de la teneur en fibres de coco dans les produits à base d'argile latéritique conduit à une réduction de la résistance à la compression. Par ailleurs, plusieurs études ont été menées sur l'impact de la fraction

massique ou volumique des fibres sur le comportement thermique et les propriétés mécaniques des composites. Cependant, peu d'études traitent de l'influence de la taille des fibres naturelles sur le comportement thermique et les performances mécaniques de ces derniers. L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence de la taille des fibres de coco sur les propriétés thermiques et mécaniques des mortiers terre-ciment.

2. Techniques expérimentales

2.1. Matières premières

2.1.1. Fibres de coco

Les fibres de coco sont obtenues à partir du traitement des bourres de coco (enveloppe qui entoure la noix de coco mûre), fruit du cocotier (*Cocos nucifera*). Ces bourres de coco sont récupérées dans une plantation de Jacqueville (Côte d'Ivoire). En effet, les bourres sèches sont trempées dans l'eau pendant deux semaines et battues pour éliminer la matière liante qui entoure les fibres entremêlées. Ensuite, un peigne permet de les démêler pour obtenir des fibres longues de 5 à 100 mm, avec des diamètres variables de 0,3 à 0,5 mm (Figure 1). Les valeurs de la densité et de la résistance à la traction sont respectivement de 1,25 et 127,2 MPa [3]. Ces fibres ont été retenues car elles sont issues de déchets agricoles sans grand intérêt pour les cultivateurs, donc disponibles.

2.1.2. Ciment

Le ciment utilisé dans ce travail est un Ciment Portland Composé (CPJ) de résistance nominale R 32,5 MPa. Il est couramment utilisé dans la construction des bâtiments.

2.1.3. Terre

La terre est prélevée à Dabou, au sud-ouest d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Elle contient 52% d'argile, 47% de limon et 1% de sable fin, avec une limite de liquidité (WL) de 50, une limite de plasticité (WP) de 23 et un indice de plasticité (IP) de 27%. Elle est majoritairement constituée de kaolinite [3].

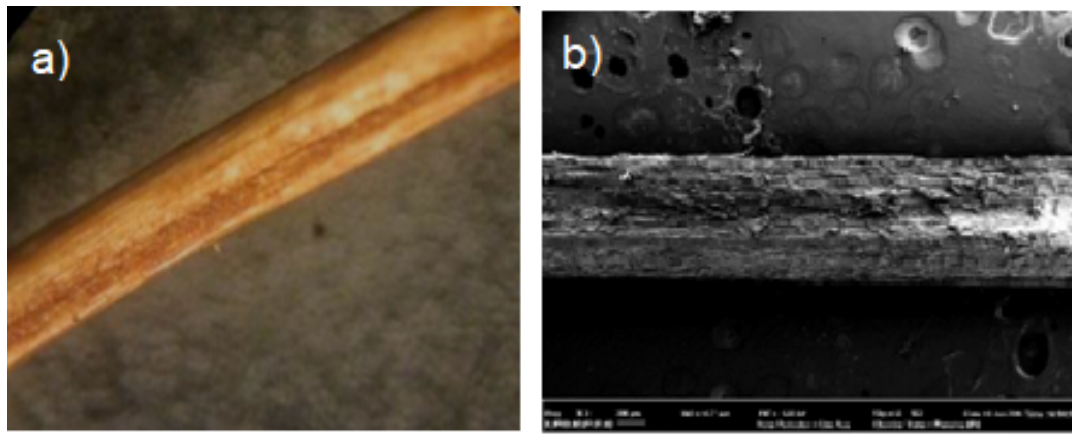


Fig. 1. Fibre de coco : a) Vue à la loupe binoculaire de marque LEICA (Grossissement x 35) ; b) Image MEB.

2.2. Fabrication des matériaux

Pour la fabrication des échantillons, la masse du ciment (m_C) correspond à 8% en proportion massique de ciment par rapport à la masse de la terre sèche (m_T). Ensuite, la masse des fibres de coco correspond à 1% en proportion massique de fibres par rapport à la masse de la terre (m_T). Ainsi, la masse totale du mélange (M_s), la masse du ciment (m_C), la masse des fibres (m_F) et la masse de la terre (m_T) sont respectivement calculées selon les équations (1) à (4) :

$$M_s = m_C + m_T + m_F \quad (1)$$

$$m_C = 0,08 \times M_s \quad (2)$$

$$m_F = 0,01 \times M_s \quad (3)$$

$$m_T = M_s - (m_C + m_F) \quad (4)$$

où C = ciment ; F = fibres.

- **Confection du mortier témoin (0 % de fibres).**

Le ciment et la terre sont d'abord mélangés à sec pendant 30 s à l'aide d'un malaxeur

mécanique à vitesse lente et constante de 150 tr/min. Ensuite, à ce mélange, on ajoute l'eau de gâchage puis on malaxe le tout à une vitesse lente pendant 1 min pour rendre la pâte homogène. On obtient un mortier frais de consistance dont l'affaissement au mini-cône d'Abrams correspond à 32 mm avec un rapport eau/(terre-8% ciment) de $0,6 \pm 0,1$.

- **Confection du mortier contenant des fibres de coco.**

Une proportion de 1% de fibres de coco de différentes longueurs (10, 20, 30 et 40 mm) est ajoutée au mélange sec de terre-8% de ciment. L'ensemble de chaque formulation est malaxé à sec. Ensuite, l'eau de gâchage est ajoutée jusqu'à obtenir une pâte homogène. Dans le but de garder une consistance similaire à celle du mortier sans fibres, un supplément d'eau de 300 ± 10 ml a été ajouté au mortier terre-ciment-fibre (Tableau 1). Ainsi, le rapport eau/mélange total est de $0,66 \pm 0,1$ quelle que soit la longueur des fibres.

Tableau 1

Constituants entrant dans la formulation des mortiers.

Mélange sec (g)	8% Ciment (g)	Terre (g)	1% Fibres de coco (g)	Longueur des fibres (mm)	Quantité d'eau (ml)	Eau/(Mélange total)
$5000,0 \pm 0,1$	$400,0 \pm 0,1$	$4600,0 \pm 0,1$	0	0	3000 ± 10	$0,6 \pm 0,1$
$5000,0 \pm 0,1$	$400,0 \pm 0,1$	$4554,0 \pm 0,1$	$46,0 \pm 0,1$	10, 20, 30, 40	3300 ± 10	$0,66 \pm 0,01$

La pâte obtenue est coulée dans des moules prismatiques de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ qui sont couverts d'un film plastique afin d'éviter l'évaporation rapide de l'eau de gâchage. Ensuite, ces moules pleins sont conservés au laboratoire où les conditions de température et d'humidité varient respectivement entre 23 et 27°C et 50 et 70% . Après 28 jours de séchage, six échantillons de chaque formulation sont soumis à des essais physiques (masse apparente et conductivité thermique) et mécaniques (flexion trois points et compression).

2.3. Essais physiques sur blocs $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$

2.3.1. Détermination de la masse volumique apparente

La masse volumique sèche est le rapport de la masse du matériau sec par unité de volume. Après 28 jours de séchage, la masse des blocs secs est pesée à l'aide d'une balance électronique de précision $0,1 \text{ g}$ (Figure 2a). Ensuite, leurs dimensions (longueur, largeur et hauteur) sont mesurées à l'aide d'un pied à coulisse de précision $0,01 \text{ mm}$ (Figure 2b). La masse volumique (ρ) est calculée à l'aide de l'équation (5) :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

où, m (g) est la masse de l'échantillon et V (mm^3) le volume de l'échantillon.

2.3.2. Mesure de la conductivité thermique en régime transitoire [12]

La conductivité thermique d'un matériau (λ) est sa capacité à conduire la chaleur. Elle s'exprime en $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$. Dans cette étude, la conductivité thermique λ est mesurée en régime transitoire à l'aide d'un CT-mètre (Figure 3). C'est un appareil constitué :

- d'un organe de commande qui permet de régler les différents paramètres (puissance de chauffage, temps de chauffage et température) et d'interpréter les mesures. Cet organe est relié à un ordinateur afin d'acquérir les points de mesure ;
- d'une sonde de type fil souple chaud longue de 5 cm destinée à être placée entre deux échantillons plans. Le flux de chaleur et le temps de chauffage sont choisis pour atteindre une élévation suffisante de la température ($> 10^\circ\text{C}$).

L'essai consiste à placer une sonde entre les surfaces de deux échantillons. Ensuite, un flux de chaleur (q) constant est appliqué à cette sonde et on relève l'évolution de la température (T). Selon le fabricant, le fil chaud est dans une gamme de valeurs comprise entre $0,02$ et $5 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ avec une précision de $\pm 0,5 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$. Le temps de chauffage retenu est de 120 s et le flux thermique varie de 2 à $11,4 \text{ W/m}$.

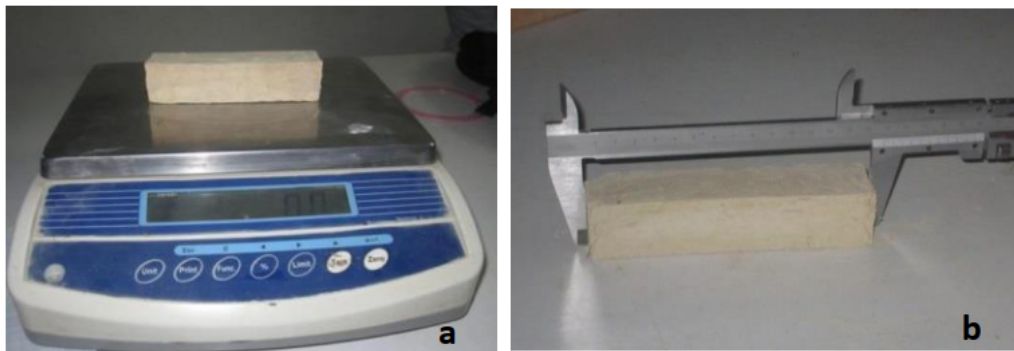


Fig. 2. Dispositifs : a) Pesée des blocs ; b) Mesure des dimensions des blocs.

Les échantillons utilisés sont des parallélépipèdes de 10 cm de côté et de 5 cm d'épaisseur. La température de 23°C et l'humidité relative de 50% sont également maîtrisées par la climatisation de la salle. La variation de température est calculée selon l'équation (6) :

$$\Delta T = \frac{q}{4\pi\lambda} \ln(t) + K \quad (6)$$

où q : le flux de chaleur par mètre (W/m) ; K : constante qui inclut la diffusivité thermique du matériau ; t : le temps en seconde (s) ; T : la température (Kelvin).

2.4. Essais mécaniques des blocs $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$: résistances à la flexion trois points et à la compression selon la norme EN 916-1 [13].

L'essai permet de déterminer la capacité limite du matériau à supporter une charge. L'essai est réalisé selon la norme EN 916-1 [13] sur une presse de marque CONTRO-LAB. Le bâti est composé de deux plateaux dont le plateau inférieur est mobile. Ce bâti porte un dispositif pour chaque essai : flexion trois points (Figure 4b) ou compression (Figure 5c). Le dispositif hydraulique peut développer une pression maximale de 15 kN pour la flexion trois points et de 250 kN pour la compression. Un ordinateur portable est

relié à la presse et sert à acquérir les résultats d'essai sous forme de valeurs.

- **Détermination de la résistance à la flexion trois points**

L'essai de flexion trois points consiste à soumettre un bloc rectangulaire sur deux appuis simples à un effort vertical agissant au milieu du bloc (Figure 4b). La sollicitation en flexion impose au bloc un fléchissement qui engendre une traction à la face inférieure et une compression à la face supérieure.

- **Détermination de la résistance à la compression**

Cet essai consiste à placer un demi-prisme de bloc $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ entre les plateaux de la presse et à lui appliquer une charge (Figure 4c). La contrainte à la rupture en compression est le rapport de la force appliquée à la surface (section) du demi-prisme.

Les résistances à la flexion et à la compression sont respectivement déterminées par les relations (7) et (8) :

$$f = \frac{3Fl}{2bd^2} \quad (7)$$

$$R_c = \frac{F}{b^2} \quad (8)$$

où l est la distance entre les deux appuis ; b est la largeur ; d : est l'épaisseur ; F : est la charge appliquée.



Fig. 3. Dispositif de mesure de la conductivité thermique.

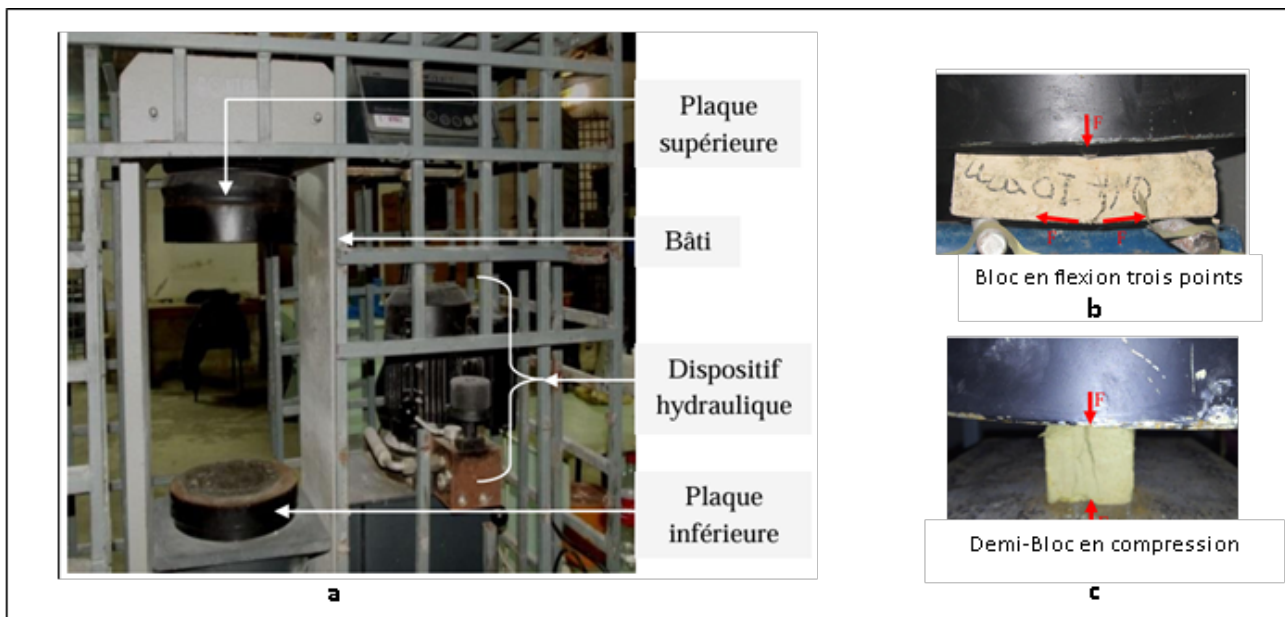


Fig. 4. Dispositif des essais mécaniques : a) Presse hydraulique CONTROLAB ; b) Essai en flexion trois points ; c) Essai en compression.

2.5. Observation à la loupe binoculaire et au MEB

La structure et la microstructure des mortiers ont été observées à l'aide d'une loupe binoculaire et d'un microscope électronique à balayage (MEB). La loupe binoculaire utilisée est de marque LEICA. Elle est associée à une caméra qui permet de prendre des photos des échantillons. Le MEB utilisé fonctionne sous vide avec une tension d'accélération de 15 kV. Une distance de travail de 3 mm a été utilisée avec une inclinaison réglée à 0°. Les images obtenues ont été analysées pour identifier les transformations qui ont affecté la structure et l'adhérence entre les fibres et la matrice terre-ciment.

3. Résultats et discussion

3.1. Impact de la longueur sur la densité apparente et la conductivité thermique

Les valeurs moyennes calculées de ces deux grandeurs pour des échantillons secs de blocs $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ sont représentées sous forme d'histogrammes à la Figure 5.

La Figure 5 montre que la densité et la conductivité thermique des blocs terre-ciment diminuent avec l'ajout de fibres de coco pour une teneur en fibres constante de

1% et une longueur de 10 mm. Les valeurs de la densité passent de $1,8 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ pour les blocs sans fibres à $1,60 \pm 0,07 \text{ g/cm}^3$ pour les blocs avec 1% de fibres de 10 mm. Alors que la conductivité thermique diminue de $0,47 \pm 0,01 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (blocs sans fibres) à $0,26 \pm 0,01 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (blocs avec 1% de fibres de 10 mm). Ainsi, pour une proportion massique de 1% de fibres de 10 mm, la densité et la conductivité thermique sont respectivement réduites de 20% et 21%. Par conséquent, l'incorporation de fibres naturelles dans un mortier argilo-cimentaire diminue la densité du composite. La conductivité thermique, fortement liée à la densité, est ainsi réduite. Lorsque la longueur passe de 10 à 40 mm, la densité baisse de $1,60 \pm 0,07 \text{ g/cm}^3$ à $1,10 \pm 0,06 \text{ g/cm}^3$ et la conductivité thermique de $0,26 \pm 0,01 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ à $0,17 \pm 0,02 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (Fig. 6). Cette diminution est attribuée d'une part à la faible densité des fibres ($1,25 \text{ g/cm}^3$) comparée à celle de la matrice terre-ciment ($1,8 \text{ g/cm}^3$) et d'autre part aux vides d'air (pores) dans la matrice, dus au retrait de séchage [2]. La baisse de la densité de l'ensemble avec l'augmentation de la longueur des fibres s'explique par l'ampleur du retrait de séchage (Fig. 6). En effet, lorsque les fibres d'une teneur donnée sont courtes,

l'importante contraction lors du retrait de séchage conduit à un matériau plus dense par rapport au même matériau contenant des fibres plus longues de 40 mm (Fig. 6). La présence de fibres longues fait que la contraction est moins importante, d'où un faible retrait (faible rétrécissement des dimensions du bloc), donc un volume important. Les fibres courtes engendrent un fort retrait (un fort rétrécissement des dimensions du bloc), donc un petit volume (Fig. 6b). La différence entre ces deux volumes est occasionnée par plusieurs vides qui se forment dans les blocs

avec les fibres longues (Fig. 6a). Or, selon la littérature, plus la proportion de vides est élevée dans un matériau, plus il est bon isolant thermique [14].

Des études ont également été menées sur des matériaux de construction renforcés par le bois par Khedari *et al.* [11]. Ils ont observé une diminution de la conductivité thermique suite à l'augmentation des vides dans le matériau. Ces résultats concordent avec ceux observés sur nos blocs renforcés par les fibres de coco.

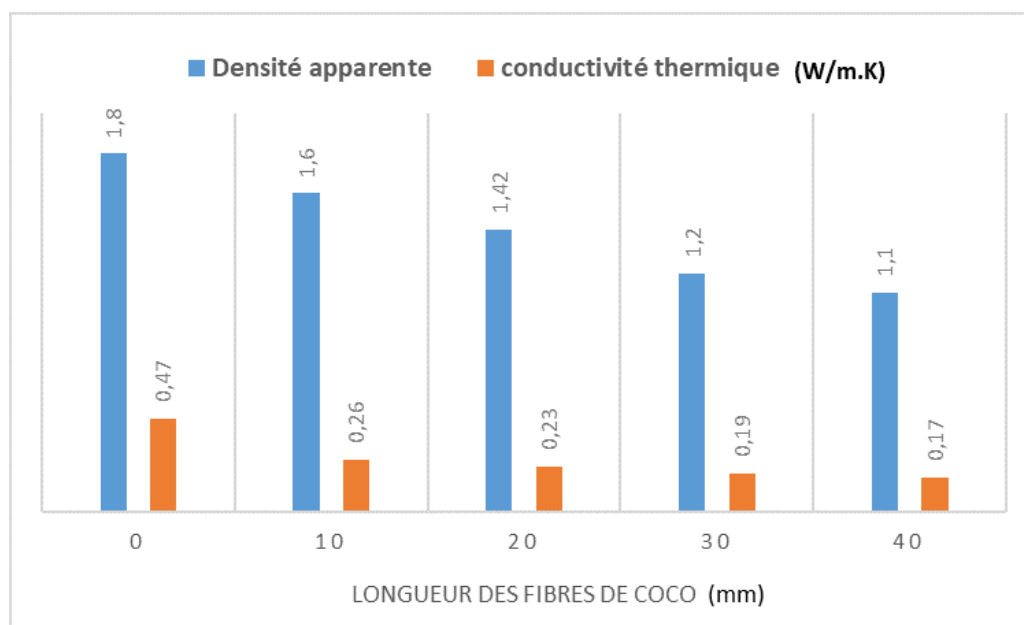


Fig. 5. Impact de la longueur des fibres sur la densité apparente et la conductivité thermique des blocs terre-ciment secs.

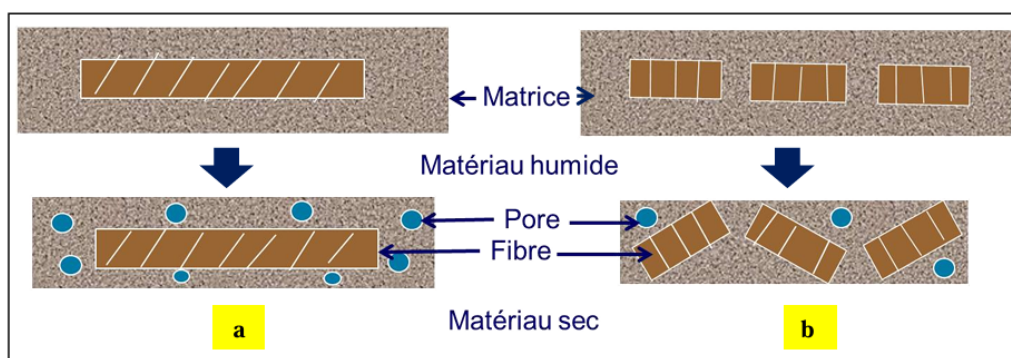


Fig. 6. Schéma explicatif de l'effet de la longueur des fibres sur le séchage des blocs : a) Matrice avec fibres longues ; b) Matrice avec fibres courtes.

La réduction de la conductivité était prévisible, à cause du caractère poreux des fibres qui possèdent une conductivité thermique plus faible que celle de la matrice terre-ciment [5]. De plus, la baisse de la densité peut être considérée comme l'un des avantages de l'utilisation de fibres naturelles mélangées à la matrice terre-ciment. En effet, les matériaux obtenus sont beaucoup plus légers. Ces mêmes remarques ont été observées par Djomo *et al.* [2] travaillant sur les mortiers secs renforcés par les fibres de coco et les pailles de riz. Ces résultats sont en conformité avec ceux d'Osseni *et al.* [14] qui ont montré que l'ajout de fibres dans les mortiers baisse la conductivité thermique. Berderina *et al.* [15] ont étudié l'effet de l'ajout de copeaux de bois sur la conductivité thermique d'un béton. Leurs résultats montrent que l'ajout de bois réduit la conductivité thermique de 1,2 à 0,55 W m⁻¹ K⁻¹. Ces résultats concordent avec ceux observés sur nos matériaux renforcés par les fibres de coco. Les valeurs de la conductivité thermique de nos blocs contenant des fibres de coco sont dans la fourchette de celles des matériaux tels que le pisé, la bauge, le torchis et le béton de terre stabilisés, compris entre 0,45 et 0,1 W m⁻¹ K⁻¹ [11]. Dans l'ensemble, les blocs par coulage de cette étude peuvent être utilisés comme matériaux d'isolation thermique. Les blocs contenant 1% de fibres de coco de 40 mm sont les meilleurs isolants thermiques (0,17 W m⁻¹ K⁻¹) comparés aux blocs terre-ciment (0,47 W m⁻¹ K⁻¹) et au béton de ciment (2 W m⁻¹ K⁻¹) [14]. Qu'en est-il des performances mécaniques des composites en fonction de la taille des fibres de coco pour une proportion massique constante de 1% ?

3.2. Influence de la taille des fibres de coco sur les propriétés mécaniques des blocs par coulage

3.2.1. Résistance à la flexion trois points

Les résistances à la flexion trois points ont été déterminées sur des blocs par coulage après 28 jours de séchage selon la norme EN 916-1 [13]. Les valeurs moyennes calculées à partir de six blocs de 4 × 4 × 16 cm³ sont

représentées sous forme d'histogrammes à la Figure 7.

Cette figure montre que la résistance en flexion des blocs terre-ciment augmente avec l'ajout de 1% de fibres de coco de 10 mm de long. Elle passe de 140,34 ± 3,53 kPa (0% de fibres) à 155,34 ± 1,18 kPa (1% de fibres de 10 mm). Lorsque la longueur des fibres passe de 10 à 40 mm, la résistance augmente de 155,34 ± 1,18 à 185,8 ± 5,49 kPa. L'augmentation de la résistance avec l'ajout et la longueur des fibres est due au rôle de renforcement de la structure (Fig. 8a). En effet, lorsque les fibres sont ajoutées, elles agissent comme des armatures supportant les efforts de traction. Par ailleurs, quand leur longueur augmente, elle oppose une résistance à l'ouverture, donc à la propagation de la fissure [4, 6, 7].

La résistance à la flexion augmente quelle que soit la longueur des fibres car la rupture se produit après la fissuration de la matrice suite à une décohésion des fibres de cette dernière (Fig. 8b). Cette décohésion se justifie par la présence d'éléments chimiques provenant de la matrice argile-ciment à la surface de la fibre après rupture du composite (Fig. 10).

Djohore *et al.* [4] ont aussi observé que la rupture du matériau composite se fait de manière contrôlée puisque la propagation de la fissure est retardée par la présence de fibres supportant une partie de la charge appliquée. Dans les travaux de Sedan *et al.* [8], la résistance à la flexion passe de 4,9 MPa pour la pâte de ciment seule à 6,8 MPa pour le composite avec 16% de fibres, soit une amélioration de 40%. Au-delà de 16%, les auteurs ont observé une chute de la résistance à la flexion jusqu'à 4 MPa. Reis [9] a rapporté que le renforcement d'un béton par des fibres de coco et des fibres de canne à sucre améliore la résistance à la flexion respectivement de 25% et 3,5%. Cependant, une diminution de la résistance à la flexion est observée avec les fibres de banane. Gupta *et al.* [16] ont étudié le renforcement d'une pâte de ciment par des fibres de coco. Ils ont montré que la résistance à la flexion est optimale à une teneur en fibres de 4% et

une longueur de 38 mm. En comparant les valeurs obtenues dans cette étude avec celles trouvées dans la littérature, il est évident que les résultats ne se situent pas dans les mêmes fourchettes. Certes, les auteurs n'ont pas utilisé les mêmes matières premières ni les mêmes conditions de mise en œuvre que cette étude, mais ils ont tous démontré qu'il y a une teneur et une longueur optimales pour lesquelles la résistance à la flexion est améliorée. Dans notre cas, la résistance à la flexion trois points est meilleure pour une longueur de fibres de coco de 40 mm à une teneur massique de 1%.

3.2.2. Résistance à la compression

Les valeurs moyennes de la résistance à la compression, calculées à partir de six demi-blocs de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ sont repré-

sentées sous forme d'histogrammes à la Figure 11. Cette figure montre que la résistance à la compression des matériaux composites diminue avec la longueur des fibres jusqu'à 40 mm pour une teneur en fibres de 1%. L'apport de 1% de fibres dans le composite influence la répartition de ces dernières dans la matrice d'argile-ciment. La variation de la résistance peut s'expliquer par la distribution des fibres et le recouvrement fibre-fibre (Fig. 12).

Lorsque la teneur en fibres est constante (1%), le nombre de morceaux de fibres augmente quelle que soit la longueur de ces dernières dans la matrice. Or, l'augmentation du nombre de morceaux de fibres entraîne une réduction de la distance entre les fibres et la matrice, jusqu'à la multiplication des contacts fibres-fibres (Fig. 12b).

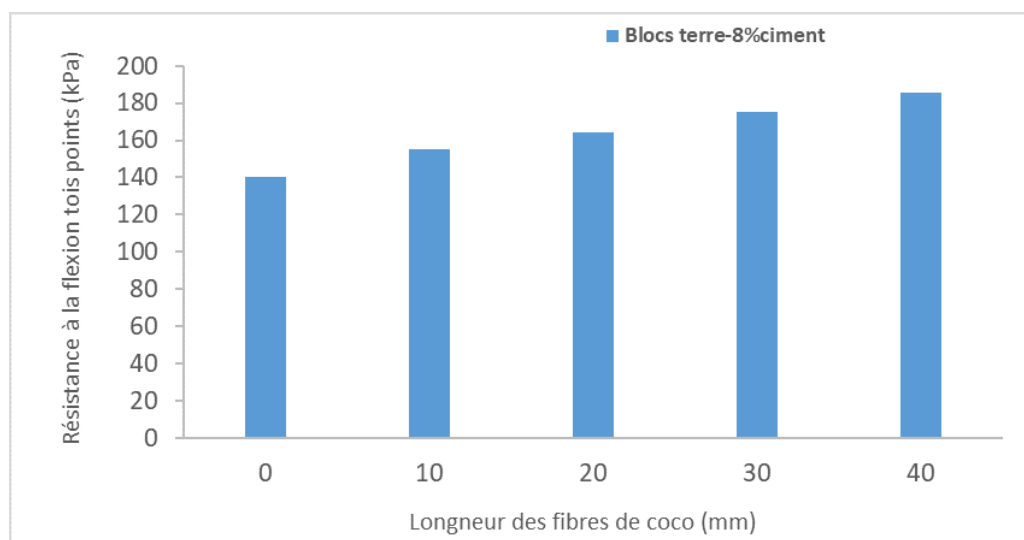


Fig. 7. Évolution de la résistance en flexion des matériaux composites en fonction de la longueur des fibres.

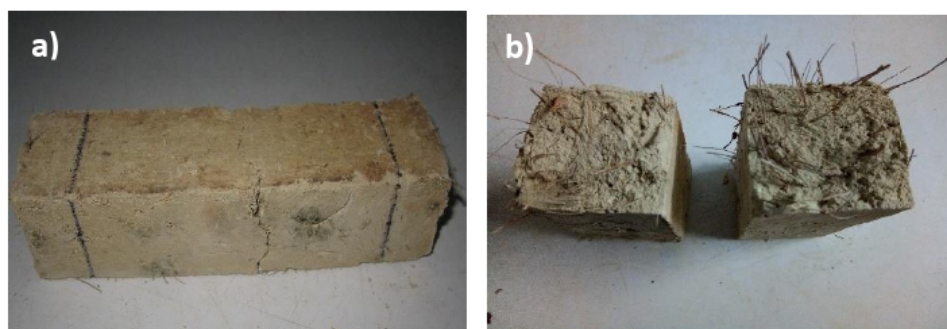


Fig. 8. Bloc $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ avec des fibres : a) Après le test de rupture en flexion ; b) Séparé manuellement après rupture.

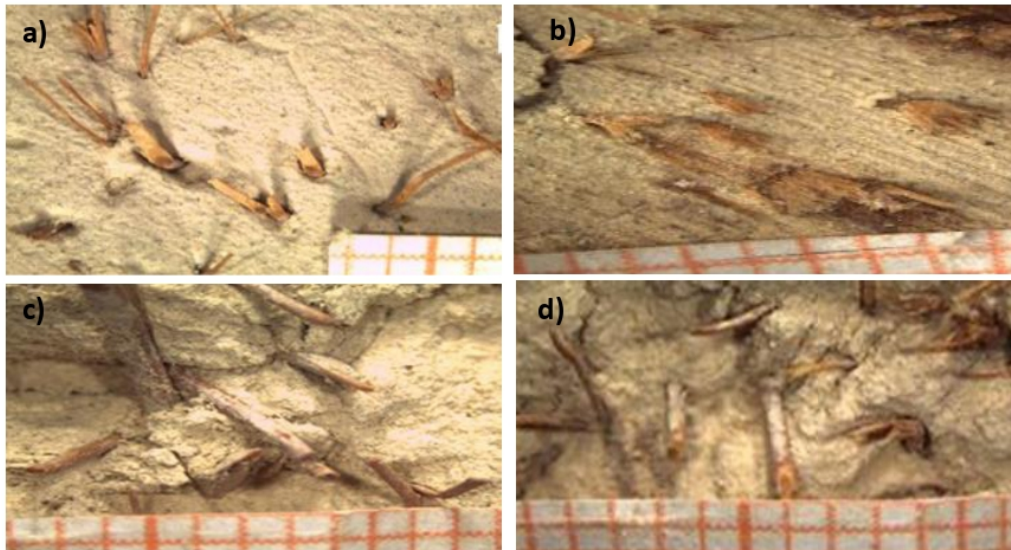


Fig. 9. Images de blocs vues à loupe binoculaire : a) Matrice terre-8% ciment avec 1% de fibre de 10 mm ; b) Matrice terre-8% ciment avec 1% de fibres de 20 mm ; c) Matrice terre-8% ciment avec 1% de fibres de 30 mm ; d) Matrice terre-8% ciment avec 1% de fibres de 40 mm.

De plus, la longueur importante (40 mm) des fibres induit des distorsions au cours du séchage. Cela a pour conséquence l'apparition de microfissures dans la matrice terre-ciment qui entraîne une chute de la résistance à la compression (Fig. 13c). Ces résultats sont similaires à ceux de Mohamed [17]. Pour Mohamed *et al.* [17], l'ajout de foin dans une argile expansive non stabilisée provoque une diminution de la capacité de l'argile à reprendre les forces de compression. Il explique cela par l'observance de points de faiblesse (vides) entre la fibre et l'argile qui apparaissent après le séchage et diminuent l'adhérence de la fibre à l'argile. Cette chute de la résistance a aussi été notée par Kouakou [3]. L'auteur indique que la présence d'une proportion massique de 1% de fibres de coco d'une longueur de 30 mm fait baisser la résistance des mortiers argile-ciment. Il explique cette chute de résistance par l'augmentation du nombre de défauts dans la matrice causée par la mauvaise distribution des fibres. Par ailleurs, la présence de fibres dans le composite limite la destruction de ce dernier. Le comportement commence par la formation de fissures dans la matrice terre-ciment (Fig. 13a). Ensuite, il y a un retard dans la propagation des fissures, ce qui empêche une démolition totale du matériau (Fig. 13b). Certains travaux ont montré que

la résistance à la compression des matériaux minéraux augmente avec l'ajout de fibres naturelles et en fonction de leur teneur et longueur.

Millogo *et al.* [10] ont utilisé des fibres d'*Hibiscus cannabinus* (kenaf) pour renforcer de la latérite sans stabilisant chimique avec des teneurs en fibres de 0,2 à 0,8% et avec deux longueurs de fibres de 3 cm et 6 cm.

La valeur de résistance à la compression la plus élevée des blocs comprimés (2,85 MPa) a été obtenue à une teneur de 0,4% en masse avec des fibres de 3 cm, soit 30 mm de long. Cette augmentation de la résistance à la compression est certainement liée aux méthodes de mise en œuvre, par compactage des blocs, quel que soit le type de fibres. Nos blocs contenant des fibres ont été simplement coulés. Pour Khedari *et al.* [11], l'ajout de fibres de coco dans les produits à base d'argile latéritique conduit à une réduction de la résistance à la compression. Dans cette étude, la résistance en compression baisse avec l'ajout et l'augmentation de la longueur des fibres. Ainsi, le matériau terre-8% ciment contenant 1% de fibres de coco, quelle que soit la longueur (10 à 40 mm), ne pourra pas être utilisé pour réaliser des structures porteuses de bâtiments.

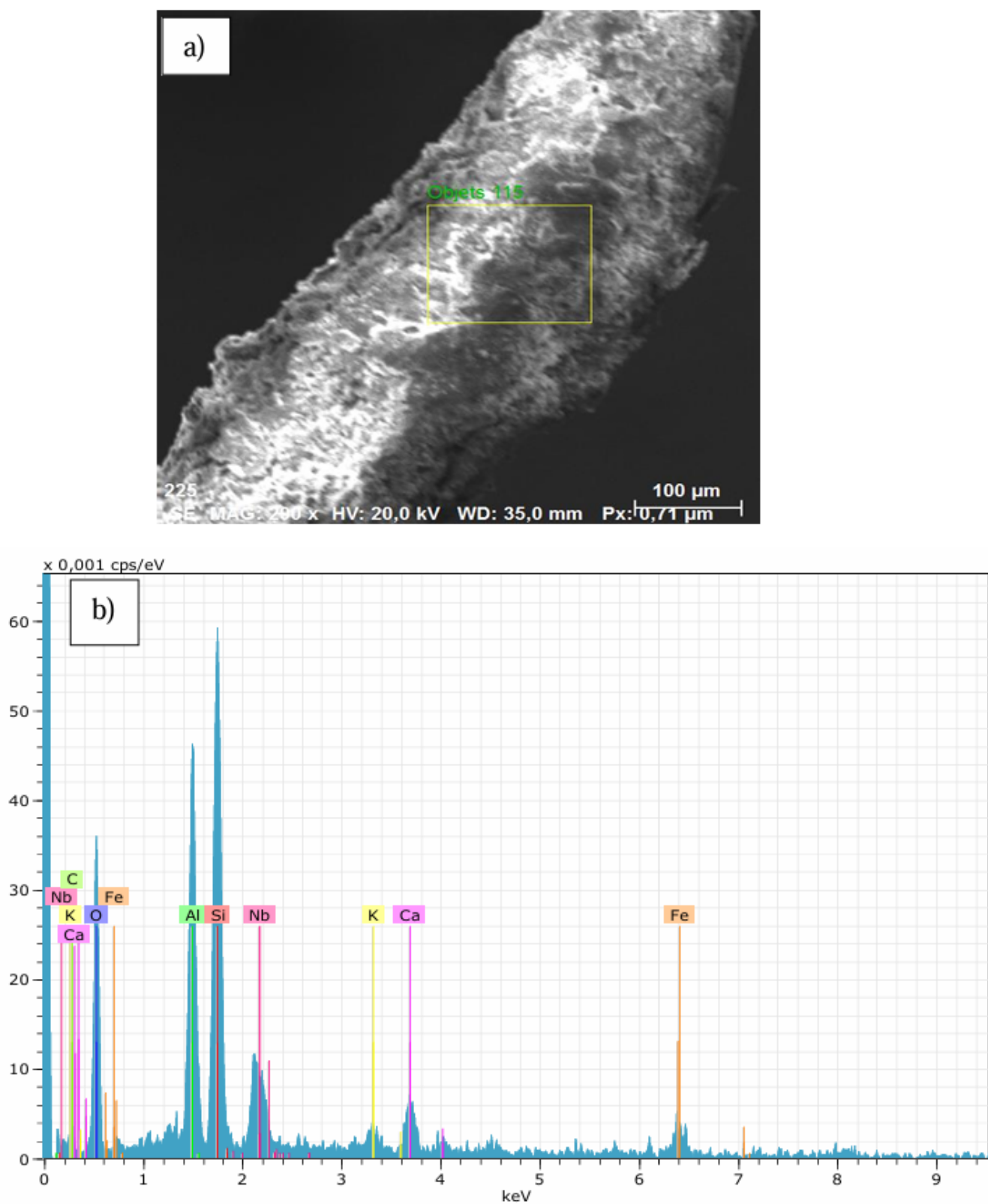


Fig. 10. État de la fibre après rupture : a) Image MEB ; b) Composition EDS montrant les éléments chimiques à la surface de la fibre.

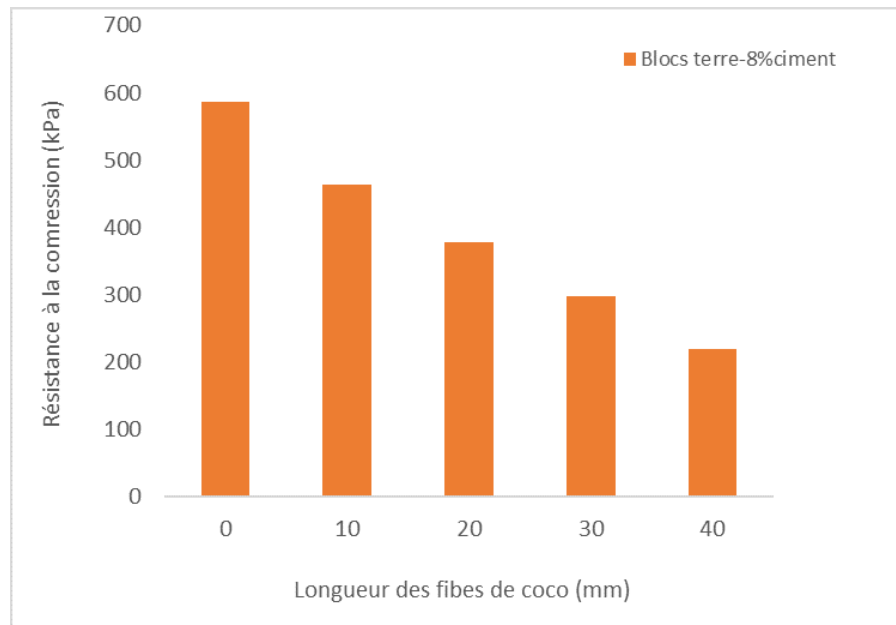
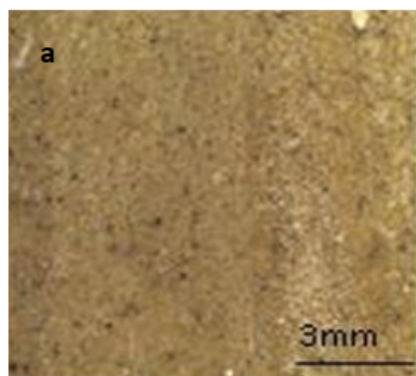
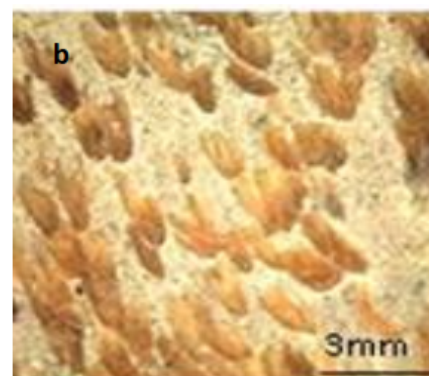


Fig. 11. Évolution de la résistance à la compression des matériaux composites en fonction de la longueur des fibres.



Matrice terre-ciment témoin



Matrice terre-ciment-1% de fibres

Fig. 12. Images en section transversale vues à la loupe binoculaire LEICA : a) Matrice terre-ciment sans fibres ; b) Matrice terre-ciment avec 1% de fibres.

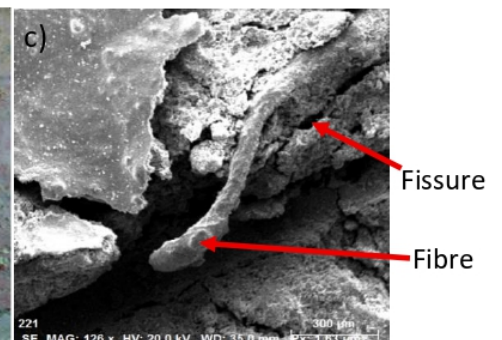
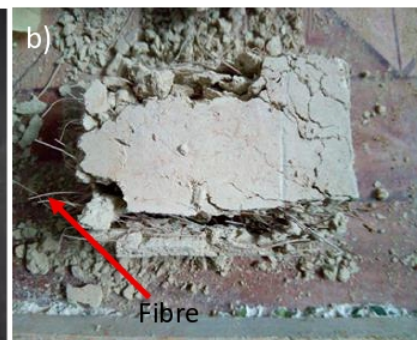


Fig. 13. Échantillon avec 40 mm de fibres de coco : a) Après le test en compression ; b) Image montrant la décohésion des fibres ; c) Image MEB d'une fibre dans la matrice fissurée.

4. Conclusion

Dans le domaine du bâtiment, les matériaux utilisés doivent limiter la transmission de chaleur et avoir un comportement satisfaisant pour supporter les charges mécaniques. L'introduction d'écomatériaux dans la construction des bâtiments est une opportunité de valorisation des ressources biologiques telles que les déchets agricoles (pailles, fibres de coco, lin, etc.). La présence de 1% de fibres de coco dans une matrice terre-8% ciment, quelle que soit leur longueur, fait baisser la conductivité thermique et la résistance à la compression du composite final. Cependant, la résistance à la flexion augmente par rapport à la matrice terre-ciment avec l'ajout de 1% en masse de fibres de différentes longueurs (10 à 40 mm). Pour une longueur de 40 mm, la conductivité thermique est réduite de 36%, ce qui augmente la capacité d'isolation thermique du mortier composite. Le mortier terre-8% ciment contenant 1% en masse de fibres de coco d'une longueur de 40 mm ($0,17 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) est donc un bon isolant thermique comparé au béton ($2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Ce matériau composite peut servir à des applications de type pisé, torchis, ou plaque de revêtement intérieur et extérieur.

Références

- [1] A. Charaka, *Etude du comportement hygrothermique des matériaux biosourcés : effet du vieillissement sur leurs propriétés thermiques et hydriques*, Matériaux, Université de La Rochelle, France (2024) 191.
<https://theses.hal.science/tel-04748167/document>
- [2] A.S. Djomo, A.C. Djohore, L.M. Thieblessou, *Comportement thermique des mortiers de terre-ciment renforcés avec des fibres végétales (bourres de coco et paille de riz)*, REB-PASRES 8(1) (2023) 35-42.
[www://rebpasres.org](http://www.rebpasres.org)
- [3] C.H. Kouakou, A. Djohore, A.A. As-sande, K.C. Kouadio, E. Emeruwa, *The Mechanical Properties And Stability In The Water Of Clay Mud Blocks Reinforced With Rice (Oryza sativa) Straw*, Australian Journal of Basic and Applied Sciences 16(7) (2022) 20-27.
<https://doi.org/10.22587/ajbas.2022.16.7.3>
- [4] A.C. Djohore, A.S. Djomo, M.O. Bof-foué, *Effet de l'addition de fibres de coco traitées à la potasse sur les propriétés mécaniques des matériaux de construction à base d'argile-ciment*, European Scientific Journal 14(36) (2018) 104-116.
<https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n36p104>
- [5] O. Hamdaoui, O. Limam, L. Ibos, A. Mazhoud, *Thermal and mechanical properties of hardened cement paste reinforced with Posidonia-Oceanica natural fibers*, Construction and Building Materials 269 (2021) 121339.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820333432>
- [6] S. Abani, F. Hafsi, A. Kriker, A. Bali, *Valorization of Date Palm Fibers in Sahara Constructions*, Energy Procedia 74 (2015) 289-293.
- [7] P. Lertwattanakur, A. Suntijitto, *Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications*, Construction and Building Materials 94 (2015) 664-669.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.154>
- [8] D. Sedan, C. Pagnoux, A. Smith, T. Chotard, *Mechanical properties of hemp fibre reinforced cement : Influence of the fibre/matrix interaction*, Journal of the European Ceramic Society 28 (2008) 183-192.
- [9] J.M.L. Reis, *Fracture and flexural characterization of natural fiber-reinforced polymer concrete*, Construction and Building Materials 20 (2006) 673-678.
- [10] Y. Millogo, J-C. Morel, J.E. Aubert, K. Ghavami, *Experimental analysis of pressed adobe blocks reinforced with Hibiscus cannabinus fibers*, Construction

- and Building Materials 52 (2014) 71-78.
<https://insa-toulouse.hal.science/hal-01063059>
- [11] J. Khedari, N. Nankongnab, J. Hirunlabh, S. Teekasap, *New low-cost insulation particle boards from mixture of durian peel and coconut coir*, Building and Environment 39 (2004) 59-65.
- [12] L.M. Thiebleson, *Élaboration et caractérisation de matériaux issus de ressources locales recyclées ou biosourcées*, Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire) (2018) 251.
<https://theses.hal.science/tel-02309637v1>
- [13] EN 196-1, Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques (2006).
- [14] S. Osseni, B.D. Apovo, C. Ahouannou, E.A. Sanya, Y. Jannot, *Caractérisation thermique des mortiers de ciment dopés en fibres de coco par la méthode du plan chaud asymétrique à une mesure de température*, Afrique Science 12(6) (2016) 119-129.
- [15] M. Bederina, L. Marmoret, K. Mezreb, M. M. Khenfer, A. Bali, M. Quéneudec, *Effect of the addition of wood shavings on thermal conductivity of sand concretes : experimental study and modelling*, Construction and Building Materials 21(3) (2007) 662-668.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.008>
- [16] P.K. Gupta, V. Uniyal, S. Naithani, *Polymorphic transformation of cellulose I to cellulose II by alkali pretreatment and urea as an additive*, Carbohydrate Polymers 94 (2013) 843-849.
- [17] A.E.M.K. Mohamed, *Improvement of swelling clay properties using hay fibers*, Construction and Building Materials 38 (2015) 242-247.