

## Etude de la faisabilité d'un composite à matrice cimentaire renforcé de fibres de jute

Souad Menadi\*<sup>1</sup>, Amar Benazzouk<sup>2</sup>, Omar Douzane<sup>2</sup>, Mouloud Merzoud<sup>1</sup>, Mohamed Fouzi Habita<sup>1</sup> & Thierry Langlet<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Génie Civil (LGC), Université Badji Mokhtar Annaba, BP.12, Annaba, 23000, Algérie

<sup>2</sup> Laboratoire des Technologies Innovantes (LTI, EA 3899) Université Jules Verne de Picardie, Avenue des Facultés, le Bailly 80025 Amiens Cedex, France

Révisé le 08/04/2013

Accepté le 15/05/2013

### ملخص

يتعين على مجال البناء أن يؤدي دورا هاما في حل المشاكل البيئية المتصلة بإعادة تصنيع واستغلال الكتلة الحيوية. ضمن فئة المواد الإسمنتية، أنواع مختلفة من النفايات ومخلفات منتجات الزراعة قد استخدمت بالفعل، إما في شكل جزيئات، كاستبدال كلي أو جزئي للمكونات المعدنية، أو في شكل ألياف للتدعيم. في هذه الدراسة تطرقنا لإمكانية استخدام ألياف الجوت كعنصر تدعيم البغلي. تم استخدام ألياف الجوت في استبدال جزء من الرمل في كميات مختلفة. المركب الأسمنتي المرجعي لا يحتوي على الألياف. أجريت مذكرة من الاختبارات التجريبية لدراسة حالة المركبات قبل جفافها (عجينة) وبعد جفافها (صلبة). كما تم تقييم مدى التوافق الكيميائي لألياف الجوت مع الاسمنت باستخدام اختبارات التوافق التي تركز على تسجيل ارتفاع درجة الحرارة في قلب المركب خلال التفاعلات المنتجة للحرارة بين مكونات الاسمنت و ماء المزج. نتائج هذه الاختبارات تؤكد التوافق الكيميائي لألياف الجوت مع الاسمنت. الاختبارات الميكانيكية تظهر انخفاضا في الأداء الميكانيكي مع زيادة كمية الألياف، ولكن مكسب كبير في الوزن.

الكلمات المفتاحية: مركب إسمنتي - بغلي بالألياف - ألياف الجوت - التوافق الكيميائي.

### Résumé

Le domaine de la construction doit jouer un rôle important dans la résolution des problèmes environnementaux liés au recyclage et l'exploitation de la biomasse. Dans la catégorie des matériaux cimentaires, différents types de déchets et coproduits issus de l'agriculture ont déjà été utilisés, soit sous forme de particules, en remplacement total ou partiel des granulats minéraux, soit sous forme de fibres pour renforcement. Dans cette, étude nous sommes intéressés au potentiel d'utilisation des fibres de jute comme éléments de renfort pour mortiers. La fibre de jute a été utilisée en substitution partielle du sable à différents taux, le mortier de référence étant sans fibres. Un protocole d'essais expérimentaux a été mené pour étudier les composites à l'état frais et à l'état durci. La compatibilité chimique des fibres de jute avec le ciment a été évaluée à l'aide des tests d'hydratation qui consistent à enregistrer l'élévation de température au cœur du composite lors des réactions exothermiques des composants du ciment avec l'eau de gâchage. Les résultats révèlent un faible indice d'inhibition confirmant la compatibilité de la fibre avec le ciment. Les essais mécaniques montrent une baisse des performances avec l'augmentation du taux de fibres, mais un gain substantiel en poids.

**Mots clés:** Composite cimentaire - Mortier de fibres - Fibres de jute - Compatibilité chimique.

### Abstract

Construction field has to play an important role in resolving environmental problems related to recycling and exploitation of the biomass. In the category of cementitious materials, various types of wastes and by-products derived from agriculture have already been used, either as particles, in total or partial replacement of mineral aggregates, or as fibers for reinforcement. In this study we were interested at the potential use of jute fibers as reinforcing elements for mortars. The jute fiber was used in partial replacement of sand at different rates; the control mortar was without fibers. A Memorandum of experimental tests was conducted in order to study the composite in fresh and hardened state. The chemical compatibility of jute fibers with cement was evaluated using tests of hydration which consist in recording the temperature rise in the heart of the composite during the exothermic reactions between the components of the cement and the mix water. The results of these tests revealed very low index of inhibition confirming the compatibility of the jute fiber with cement. The mechanical tests showed a decrease in performances according to the increase of fiber and a substantial gain weight.

**Key words:** Cementitious composite - Fiber mortars - Jute fibers - Chemical compatibility.

\*Auteur correspondant : souad.menadi@lgc-univ-annaba.dz

## 1. INTRODUCTION

Les déchets de différentes sources sont à l'origine de divers problèmes environnementaux liés à leur stockage et leurs quantités croissantes. Par ailleurs, les matériaux de construction traditionnels d'origine naturelle sont confrontés, à terme, à l'épuisement. Il est donc important de penser à l'élaboration de matériaux composites à agrégats artificiels ou recyclés provenant de déchets industriels et agricoles. Ce type de matériaux répond aux exigences économiques et environnementales. Dans le secteur du bâtiment, l'exploitation et la valorisation des déchets industriels ainsi que des coproduits agricoles ont donné lieu à un certain nombre de travaux de recherche sur de nouveaux matériaux composites [1-3]. La caractérisation mécanique de composites incorporant des matières renouvelables tels que les coproduits issus de l'exploitation agricole (lin, chanvre, coco, jute, palmier...) en qualité d'agrégats, sous forme de particules, ou de fibres, dans une matrice cimentaire de mortier ou de béton a fait l'objet de nombreuses publications [4-6]. Cette valorisation des agro-ressources constitue une solution d'un grand intérêt par rapport à leur élimination par brûlage sur place. De plus, ces composites sont caractérisés par une densité relativement faible par rapport aux matériaux traditionnels et présentent plusieurs intérêts d'applications potentielles, telles que l'isolation thermique ou l'isolation acoustique. En revanche, ils peuvent présenter une certaine sensibilité à l'eau et une instabilité dimensionnelle tels que le retrait et le gonflement en service ou en présence d'un environnement humide [7]. Ainsi, pour améliorer les performances des composites renforcés par des fibres végétales, plusieurs approches ont été étudiées y compris l'imprégnation des fibres ou particules avec un agent hydrofuge [8].

Néanmoins, l'incorporation de résidus issus du végétal dans une matrice cimentaire nécessite dans certains cas un traitement chimique ou physique et parfois les deux. L'incompatibilité entre les deux matériaux se manifeste par un ralentissement de la réaction d'hydratation dû à la composition de la fraction végétale. La partie lignocellulosique présente, en effet, un pouvoir inhibiteur vis à vis des réactions d'hydratation du ciment, par réduction de la cinétique et de la température d'hydratation, ce qui engendre un retard de prise. Ce phénomène freine le développement des propriétés mécaniques du composite. C'est pourquoi, l'incorporation de

particules issues du végétal dans des bétons ou des mortiers de ciment est limitée [9,10]. Cette incompatibilité chimique est en général attribuée à la quantité de matières lignocellulosiques contenues dans la partie végétale, tels que les terpènes, les acides gras, la lignine et les sucres. L'inhibition se produit essentiellement lorsque le silicate de calcium hydraté, site des nucléations sur les surfaces à l'origine chargées positivement, se retrouve en présence d'anions d'acide gras et la lignine [11]. Plusieurs études [1, 5, 7, 12], ont été menées dans le but de minimiser les effets néfastes de cette fraction lignocellulosique sur l'hydratation des ciments. Les résultats de ces études ont montré qu'il est possible de contrôler ces effets négatifs et d'améliorer ainsi certaines propriétés mécaniques des composites à matrice cimentaire, moyennant un traitement approprié de la partie végétale.

L'objectif principal de ce travail est d'étudier l'utilisation potentielle de fibres de jute comme additif de renfort à un mortier de ciment afin de proposer une solution alternative au renforcement par fibres synthétique ou fibres d'acier. Les fibres de jute ont été utilisées par substitution massive partielle du sable dans la composition du mortier, à des taux de 0.5%, 1%, 1.5% et 2% par rapport à un mortier de référence à 0% de fibres. L'effet inhibiteur qui correspond à l'incompatibilité chimique entre les fibres de jute et le ciment Portland a été évalué en examinant la cinétique d'hydratation et de durcissement du matériau [1]. Complémentairement, un programme d'essais expérimental, a été réalisé pour étudier les propriétés des composites à l'état frais et à l'état durci dont, la maniabilité, la teneur en air occlus, la masse volumique et les résistances mécaniques à la compression et à la flexion.

## 2. MATÉRIAUX UTILISÉS ET TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES

### 2.1 Matériaux utilisés

Le jute est une plante tropicale qui produit la fibre végétale la moins chère, extraite par rouissage. Selon l'estimation de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO: Food and Agriculture Organization), l'Inde est le premier pays producteur de cette fibre (60% de la production mondiale).

La fibre de jute rouie et adoucie est utilisée comme matière première pour la production de textile (tissu de toile de jute, sacs de transport et d'emballage...etc.). La fibre utilisée dans cette étude provient de la toile de jute usée ayant servi comme sacs d'emballage de produits alimentaires et agricoles. D'une longueur d'environ 15 mm, elle a une masse volumique de l'ordre de  $35 \text{ kg/m}^3$ , déterminée par pesées d'un volume unitaire de fibres tapoté non tassé obtenue par la moyenne de 6 essais. La figure 1 montre la forme et la dimension de la fibre. Les caractéristiques physiques et chimiques de la fibre végétale de jute à l'état naturel sont données respectivement dans les tableaux 1 et 2 [9]. La fibre utilisée dans ce travail provient du déchet de toile de jute dont la fibre a subi des traitements chimiques et physiques qui ont contribué à la dissolution des matières lignocellulosiques, en vue de son utilisation en industrie textile [13]. Le module spécifique est le rapport du module d'élasticité longitudinale ou module de Young sur la masse volumique. Il exprime la tenue à l'allongement à masse identique. Le ciment utilisé est du type CEM II/B-M 32.5R conforme à la norme NF EN 197-1 [14] additionné d'une chaux hydraulique NHL5 conforme à la norme EN 459 [15] et un sable naturel de granularité 0/5. Afin d'améliorer la maniabilité et la viscosité des composites, 30% du ciment a été substitué par la chaux [16].

## 2.2 Techniques expérimentales

Pour la confection des composites, la fibre de jute a été ajoutée en remplacement partiel du sable à des taux massiques de 0% (mortier de référence), 0.5% ; 1% ; 1.5% et 2%. Les composites fibrés sont notés respectivement CF0, CF0.5, CF1, CF1.5 et CF2 (le chiffre indique le taux de fibres). Le ciment et la chaux sont mélangés à sec dans un malaxeur à mortier. Pour toutes les compositions, un taux de fluidifiant de 1.5% de la masse totale du

liant a été retenu dans le but de réduire la quantité d'eau nécessaire pour avoir la maniabilité d'un mortier normal mesuré à l'aide du maniabilimètre du LCPC [17]. Pour le mortier de référence, les proportions des constituants sont de 0.7 (ciment), 0.3 (chaux), 3 (sable) et 0.5 (eau) par rapport à la masse du liant (ciment + chaux). Afin d'éviter leur agglomération pendant le malaxage, les fibres ont été d'abord mélangées à sec avec le sable. Pour chaque composition la quantité d'eau de gâchage a été ajustée pour conférer au matériau frais une maniabilité de l'ordre de celle du mortier de référence qui correspond à un écoulement de 10s.

Les cinq composites ont été confectionnés avec les mêmes proportions de ciment et de chaux avec un rapport massique (sable + fibres de jute)/ (liant : 0.7ciment + 0.3 chaux) égale à 3. Les variables sont le rapport eau / liant et le taux de fibres. Les différentes formulations ainsi que les propriétés des matériaux élaborés sont données dans le tableau 3. Pour les composites, la mesure du temps de prise à l'état frais a été réalisée en utilisant l'appareil de Vicat selon la norme NF-P 15-431 [18]. Le pourcentage d'air occlus à l'état frais a été estimé selon la méthode des pressions suivant la norme NF-P 18-353 [19].

Des tests d'hydratation ont été conduits selon la méthodologie décrite par Hofstrand *et al.* [20]. Ces tests ont été réalisés dans le but de déterminer la compatibilité ciment-fibres de jute. Le terme compatibilité désigne le degré de prise du ciment lorsqu'il est en présence d'eau et de fibres. Généralement, si le processus de durcissement du ciment n'est pas perturbé par la présence des fibres, il est considéré que le ciment et la fibre sont chimiquement compatibles. Les tests sont réalisés sur des mélanges contenant uniquement le liant et les fibres à des taux en masse de 0% (mélange de référence), 1%, 2% et 3% de fibres pour 400 g de liant (70% de ciment + 30% de chaux)

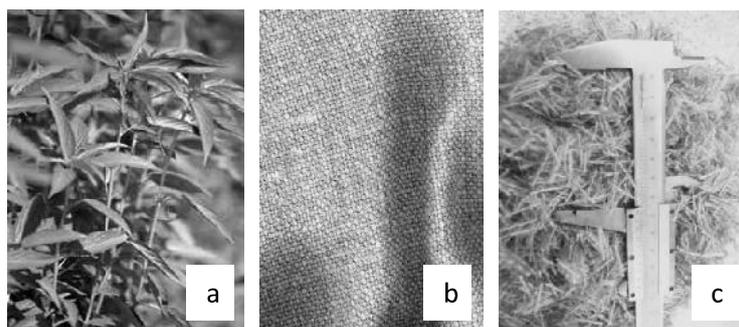


Figure 1. Aspects du jute, a: Plante, b: Tissu, c: Fibres utilisée .

Tableau 1 : Caractéristiques physiques de la fibre de jute à l'état naturel [9]

Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	Longueur (mm)	Diamètre (μm)	Résistance à la traction (MPa)	Module de traction (GPa)	Module spécifique (N.m/kg)	Elongation (%)	Angle microfibrillaire (degrés)
1.3 - 1.49	1.5 - 120	20 - 200	320 - 800	8 - 78	30	1 - 1.5	8

Tableau 2. Composition chimiques de la fibre de jute à l'état naturel [9], pourcentage en poids.

Cellulose	Hemicellulose	Lignine	Pectine	Cires	Eau
59 - 71.5	13.6 - 20.4	11.8 - 13	0.2 - 0.4	0.5	12.5- 13.7

Tableau 3. Composition et propriétés composites fibrés étudiés.

Composite	CF0	CF0.5	CF1	CF1.5	CF2
Ciment (kg/m <sup>3</sup> )	344.3	315.0	300.0	280.2	258.2
Chaux (kg/m <sup>3</sup> )	147.6	135.0	128.6	120.0	110.7
Sable (kg/m <sup>3</sup> )	1475.4	1343.2	1272.8	1182.0	1084.4
Fibres (kg/m <sup>3</sup> )	0	6.7	12.9	18,0	22.1
Eau (kg/m <sup>3</sup> )	245.9	315.0	321.4	360.0	424.2
Fluidifiant (%)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Air occlus (%)	3.5	3.5	3.6	3.7	3.8
Porosité (%)	71.4	72.0	74.0	77.0	84.0
Masse volumique à l'état frais (kg/m <sup>3</sup> )	2221	2122	2043	1966	1905
Masse volumique à l'état sec (kg/m <sup>3</sup> )	2000	1860	1820	1770	1630

La quantité d'eau ajoutée est de 0.3 ml/g de liant. Immédiatement après le malaxage des constituants, le mélange est placé dans un récipient cylindrique muni de son couvercle. Afin d'éviter les échanges avec le milieu ambiant, celui-ci est mis dans une autre enceinte remplie de vermiculite et pour assurer l'isolation totale du système, l'ensemble est placé dans un vase de Dewar. Le suivi de l'évolution des températures est réalisé grâce à des thermocouples de type T reliés à une centrale d'acquisition. Le thermocouple est noyé dans la masse au centre de l'échantillon. Pour s'assurer de l'absence de déperdition de chaleur, un second thermocouple est placé dans le vase de Dewar et un troisième dans le local d'essai.

Le dispositif expérimental, mis au point au laboratoire, est représenté schématiquement par la figure 2a. Un exemple type de courbe d'hydratation (température-temps) est donné par la figure 2b. L'effet inhibiteur a été quantifié par le calcul de l'indice d'inhibition  $I$  (%) en utilisant l'équation (1).

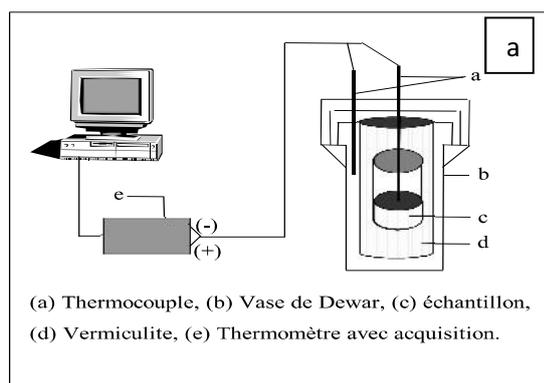


Figure 2a. Dispositif expérimental du test d'hydratation.

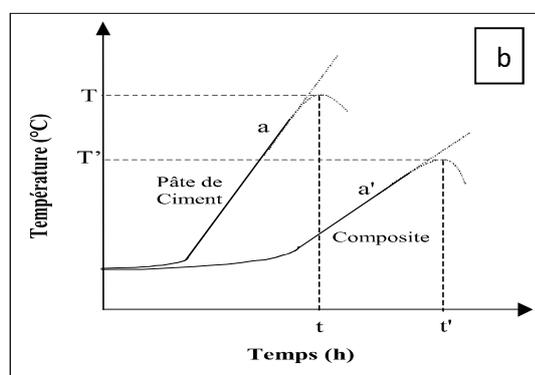


Figure 2b. Exemple type de courbe température - temps lors de l'hydratation

$$I = 100 \cdot \left( \frac{t' - t}{t} \right) \left( \frac{T - T'}{T} \right) \left( \frac{a - a'}{a} \right) \quad (1)$$

Où  $T$  et  $T'$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) sont les températures maximales à l'hydratation,  $t$  et  $t'$  (h) les temps correspondants,  $a$  et  $a'$  les pentes maximales des courbes (température - temps), respectivement du liant et du mélange liant-fibres [21]. L'effet inhibiteur sur la réaction d'hydratation du ciment est caractérisé par l'indice  $I$ , suivant la classification donnée dans le tableau 4.

Tableau 4. Classification de l'effet inhibiteur des ajouts sur la réaction d'hydratation du ciment [21]

Indice d'inhibition $I$ (%)	Effet inhibiteur
$I < 10$	Inhibition faible
$I = 10 - 50$	Inhibition modérée
$I = 50 - 100$	Grande inhibition
$I > 100$	Inhibition extrême

### 3. RESULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 Test d'hydratation

La variation de la température en fonction du temps pour les différentes compositions est montrée dans la figure 3 et les valeurs correspondant aux paramètres d'hydratation sont notées dans le tableau 5.

Tous les mélanges contenant la fibre issue de toile de jute font apparaître une température d'hydratation maximale du même ordre de grandeur et proche de celle du mélange de référence (non fibré) (Fig.3).

La cinétique d'hydratation varie de  $1.18^{\circ}\text{C/h}$  pour le mélange de référence, à  $0.64^{\circ}\text{C/h}$  pour celui à 3% de fibres, et un retard de début de prise de 4 heures (tableau 4). Ce retard est compensé par la température maximale et le temps d'atteinte de cette température, ce qui conduit à un indice d'inhibition faible [21]. Les tests d'hydratation menés sur le mélange à 3% de fibres dont la toile de jute n'a pas été lavée conduisent à un taux d'inhibition de 32.57%. Cette valeur le classe dans un niveau d'inhibition modérée. Le retard au début de prise de 19 heures peut être attribué aux sucres, aux hémicelluloses, aux tanins et autres constituants phénoliques contenus dans les composés hydrosolubles [9,11]. Toutefois, les principaux inhibiteurs de l'hydratation du ciment dans cette étude ne semblent pas suffisants pour justifier un traitement particulier des fibres autre que le lavage à l'eau chaude.

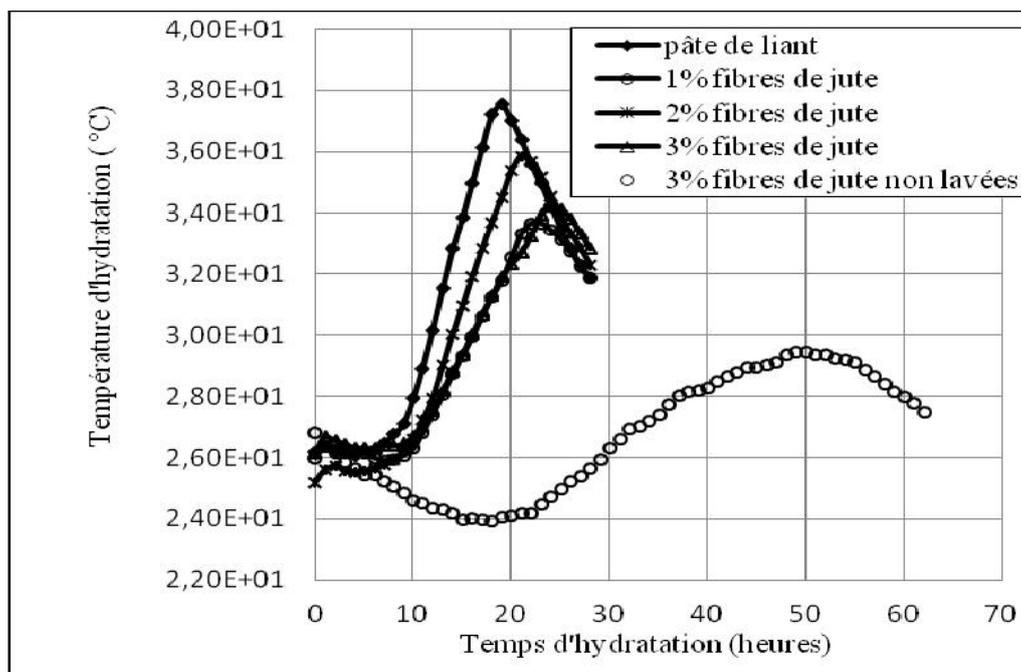


Figure 3. Température d'hydratation des mélanges (liant+fibres) en fonction du temps.

Tableau 5. Résultats des tests d'hydratation

Taux de jute (%)	Pente maximale (°C/h)	Temps de début de prise (heures)	Température maximale (°C)	Temps de fin de prise (heures)	Indice d'inhibition (%)
0 <sup>a</sup>	1.18	5	37.6	18.66	-
1	1.03	5	35.8	21.0	0.15
2	0.72	7	33.7	21.7	0.68
3	0.64	9	34.3	24.0	1.59
3 <sup>b</sup>	0.26	19	29.4	53	32.57

<sup>a</sup>: échantillon de référence, <sup>b</sup>: fibres de toile des sacs de Jute non lavés

### 3.2 Propriétés physico-mécaniques des composites

Des éprouvettes 40 x 40 x 160 mm ont été préparées et conservées pendant 28 jours à température et hygrométrie contrôlées (20°C, HR = 98%). Les propriétés mécaniques des composites ont été déterminées conformément à la norme EN 196-1 [22].

#### 3.2.1 Masse volumique à l'état sec

La masse volumique apparente a été déterminée par le rapport de la masse des éprouvettes 40 x 40 x 160 mm au volume apparent après la cure

de 28 jours (20°C, HR = 98%) et le séchage en étuve à 50°C jusqu'à masse constante. L'effet de la variation du pourcentage de fibres sur la masse volumique à l'état sec des composites est montré sur la figure 4.

La masse volumique diminue de 2000 kg/m<sup>3</sup> pour le mortier de référence à 1630 kg/m<sup>3</sup> pour le composite à 2% de fibres, soit une réduction de 18.5%. Cette diminution est attribuée d'une part, à la faible densité de la fibre comparée à celle du sable et d'autre part aux vides d'air piégés dans la matrice par l'introduction des fibres lors du malaxage.

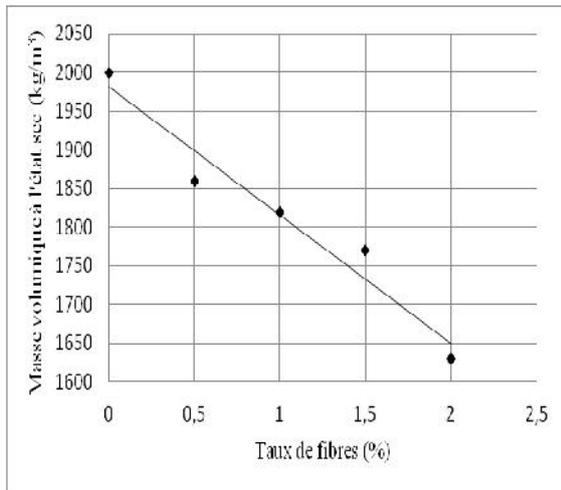


Figure 4. Variation de la masse volumique des composites avec le taux de fibres

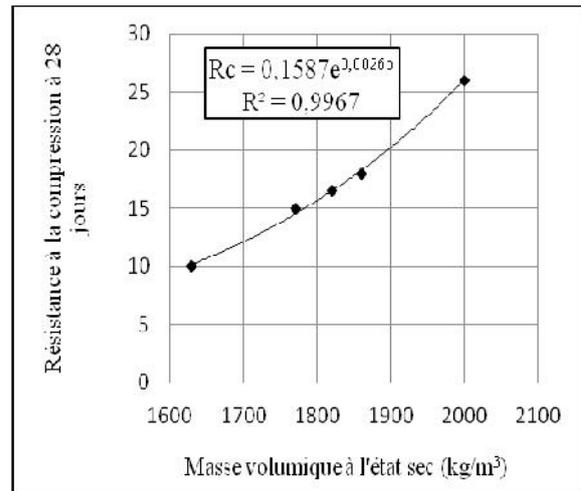


Figure 6. Evolution de la résistance à la compression à 28 jours en fonction de la masse volumique sèche.

### 3.2.2 Résistance à la compression

La figure 5 montre l'effet de l'ajout de fibres sur la résistance à la compression du composite. L'augmentation du taux de fibres diminue la résistance à la compression. Par rapport au mortier de référence, le composite à 2% de fibres montre une perte de résistance de l'ordre de 64% à l'âge de 3 jours et une perte de 61% à l'âge de 28 jours.

La diminution de cette résistance est attribuée aux propriétés physiques et géométriques des fibres qui engendrent des fragilités locales dans la matrice cimentaire. La figure 6 indique la correspondance entre la masse volumique et la résistance à la compression. La tendance exponentielle de la courbe confirme les résultats de travaux antérieurs menés sur le béton léger de bois [23]

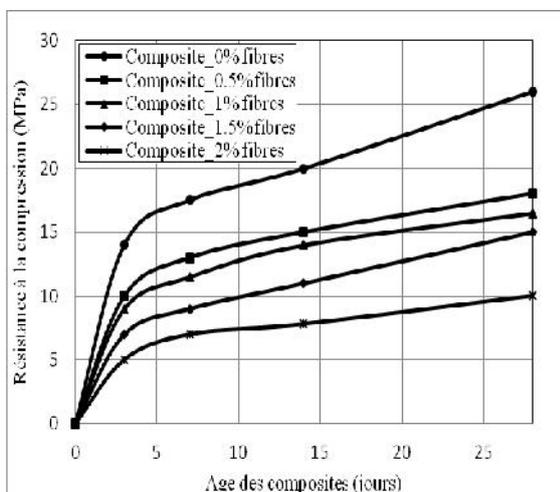


Figure 5. Evolution de la résistance à la compression En fonction de l'âge des composites.

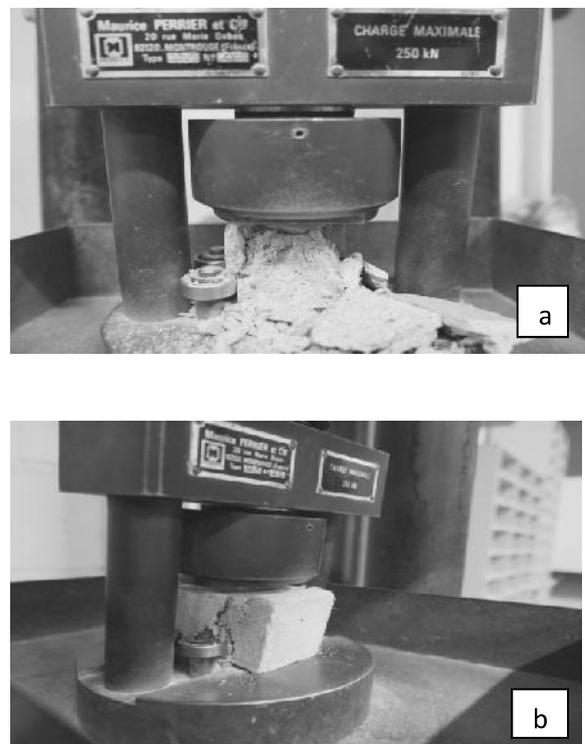


Figure 7. Rupture en compression, a: Composite de référence, b: Composite fibré.

La variation de la résistance à la compression en fonction de la masse volumique sèche est montrée par la figure 6. la relation proposée  $R_c = 0.1587 e^{0.0026\rho}$  (où  $R_c$  est la résistance à la compression et  $\rho$  est la masse volumique) avec un coefficient de corrélation de 0.99. Cette variation est similaire à celle rapportée par des travaux antérieurs effectués sur les bétons légers de bois [1]. L'ajout de fibres favorise l'entraînement d'air dans le matériau à l'état

frais tout en augmentant sa porosité et réduisant la densité du matériau durci. Néanmoins, une porosité élevée et une densité réduite sont deux paramètres inversement proportionnels aux performances mécaniques. La figure 7b montre l'effet des fibres sur le mode de rupture du matériau. L'éprouvette en composite sans fibre est fragile par contre le matériau renforcé de fibre ne l'est pas. Le gain en poids et l'amélioration de la fragilité peuvent, cependant être très attractifs en particulier dans les travaux de rénovation des bâtiments et la conception des éléments structuraux légers.

### 3.2.3 Résistance à la flexion

La figure 8 représente l'évolution de la résistance à la flexion à 28 jours en fonction du pourcentage de fibres. L'augmentation du taux de fibres provoque une diminution de la résistance à la flexion. Par rapport au mortier de référence CF0 (5 MPa), on constate une chute de résistance de 48% pour le composite CF2 (2.6 MPa).

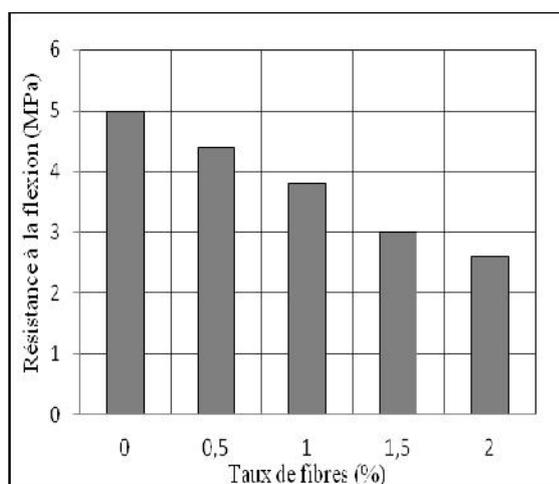


Figure 8: Influence du taux de fibres sur la résistance à la flexion à 28 jours

Comparativement à la compression, on remarque que les baisses de résistance à la flexion sont moins importantes. A titre d'exemple, pour le même âge du composite CF0.5 contenant 0.5% de fibres, les baisses de résistances sont de 30% dans le cas de la compression et seulement de 12% en flexion.

La figure 9 illustre le mode de rupture du CF1.5 en flexion trois points. L'éprouvette ne se rompt pas en deux parties comme dans le cas du composite de référence et la propagation de

la fissure n'atteint pas la fibre comprimée. Les fibres de jute ont donc atténué la fragilité de la matrice en flexion et le composite paraît plus "ductile".

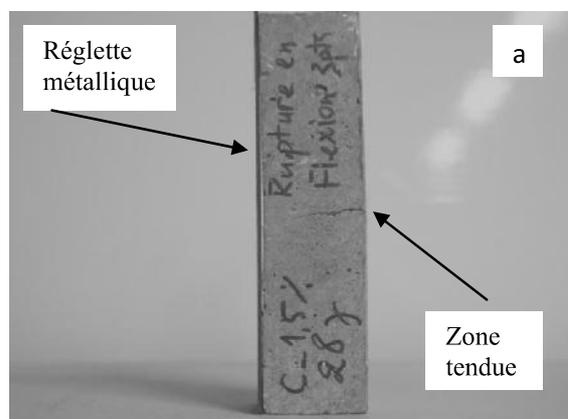


Figure 9a. Rupture en flexion 3 points du CF1.5

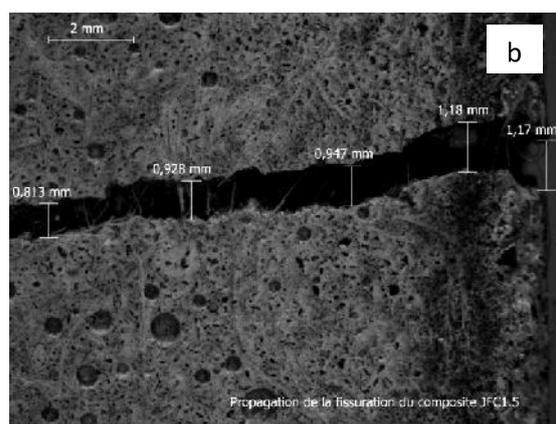


Figure 9b. Détail de l'ouverture de fissure dans la fibre extrême tendue

### 3.2.4 Module d'élasticité dynamique

La détermination du module d'élasticité dynamique des composites a été effectuée par auscultation ultrasonore. Le principe est basé sur la détermination de la célérité ou la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans le matériau. Les ultrasons sont des vibrations mécaniques qui se propagent sous forme d'ondes produisant un champ sinusoïdal de contraintes mécaniques. Pour un coefficient de Poisson compris entre 0.2 et 0.3, le module d'élasticité dynamique majoré est obtenu à partir de l'expression (2).

$$E_d^* = \rho \cdot C_l^2 \quad (2)$$

$E_d^*$  : Module d'élasticité dynamique (MPa).

$\rho$  : Masse volumique apparente ( $\text{kg/m}^3$ ).

$C_L$  : Célérité de l'onde (m/s).

La déformation de la matière se produit dans le sens de la propagation [24]. Les résultats représentés dans le tableau 6 montrent que la célérité décroît avec l'augmentation du taux de fibres d'où on constate une diminution de l'ordre de 56% pour le composite le plus fibré (CF2) où la célérité passe de 3374 m/s pour le composite de référence à 1486 m/s pour le composite CF2.

Il est possible d'attribuer le retard de propagation des ondes ultrasonores à la texture de la fibre et à la porosité de la matrice cimentaire. Les ondes doivent donc contourner les pores pour se propager dans la matrice.

L'évolution du module d'élasticité dynamique est donnée par la figure 10. Il diminue de 22.8 GPa pour le composite de référence à 3.6 GPa pour le composite CF2.

Nous pouvons remarquer que l'augmentation du taux de fibres met en évidence leur capacité à atténuer les ondes ultrasonores ainsi que l'amortissement des vibrations.

Tableau 6. Valeurs des résultats des tests de détermination des modules d'élasticité dynamique

Composites	Temps de propagation des ondes ( $\mu\text{s}$ )	Célérité (m/s)	Perte de célérité (%)	Module dynamique majoré (GPa)
CF0	74	3374	0	22.8
CF0.5	85	2851	15	15
CF1	91	2740	19	13.7
CF1.5	109	2290	32	9
CF2	142	1486	56	3.6

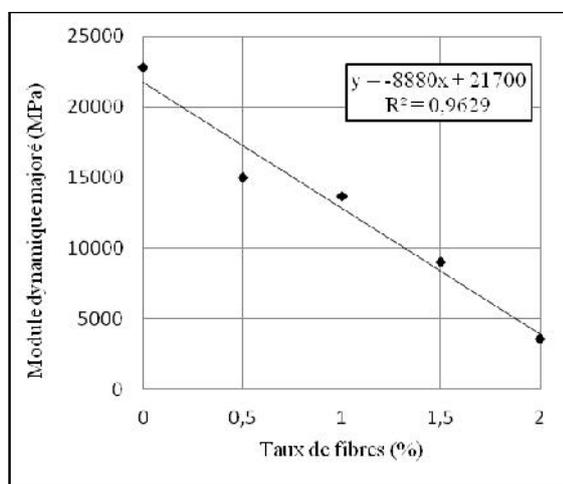


Figure 10. Evolution du module d'élasticité dynamique majoré en fonction du taux de fibres

#### 4. CONCLUSION

Le travail présenté dans cet article concerne l'étude de la faisabilité d'un composite cimentaire renforcé de fibres de jute issue des sacs récupérés en toile de jute. Une étude de la compatibilité entre le ciment et cette fibre a

montré que l'ajout de fibres de jute ne retarde que faiblement la prise du ciment pour des taux de substitution au sable ne dépassant pas 2% massique. Le matériau de référence pris en compte étant un mortier classique à maçonner dont le liant est composé de ciment et de chaux, destiné généralement à être utilisé comme enduit des murs en maçonnerie. L'examen des propriétés des composites à l'état frais a montré un besoin plus important en eau de gâchage, pour avoir une maniabilité comparable à celle du mortier témoin. Cette eau excédentaire est souvent préjudiciable au comportement mécanique des matériaux cimentaires. Les caractéristiques mécaniques obtenues en compression et en flexion ainsi que le module d'élasticité dynamique montrent que la mise en œuvre de ces composites dans le domaine de la construction est tout à fait envisageable pour la réalisation d'éléments secondaires tels que des panneaux d'isolation phonique et thermique, chape flottante ou enduit des murs en maçonnerie. Cette étude contribue ainsi au programme de recyclage des résidus végétaux

issus des déchets de tissus de jute tout en réduisant la part vouée à l'incinération.

Des études complémentaires sur l'évaluation de la ductilité, les propriétés thermiques, hydriques et de durabilité sont en cours de réalisation sur ces mêmes composites.

## REFERENCES

- [1] Aamr-daya E. & Langlet T. & Benazzouk A. & Quéneudec M., 2008. Feasibility study of lightweight cement composite containing flax by-product particles: Physico-mechanical properties, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 30, 957–963.
- [2] Merzoud M. & Habita M. F., 2008. Elaboration de composite cimentaire à base de *Diss Ampelodesma Mauritanica*, *Afrique Science*, Vol. 4, (2), 236-242.
- [3] Mir A., Zitouni R., Colombet F. & Bezzazi B., 2010. Studie of Mechanical and thermomechanical properties of jute/epoxy Composite Laminate, *Journal of reinforced plastics and composites*, 29 (11), 1669-1680
- [4] Boghossian E., Leon D. & Wegner R., 2008. Use of flax fibres to reduce plastic shrinkage cracking in concrete, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 30, 929-937.
- [5] Kriker A., Debicki G., Bali A., Khenfer M.M. & Chabannet M., 2005. Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate. *Cement & Concrete Composites*, Vol. 27, 554-564.
- [6] Elsaid A., Dawood M., Seracino R. & Bobko C., 2011. Mechanical properties of kenaf fiber reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, 25, 1991-2001.
- [7] Romildo D., Toledo Filho., Khosrow Ghavami., Miguel A., & Sanjuan George L. England., 2005. Free restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres. *Cement & Concrete Composites*, 27, 537-546.
- [8] Moslemi A. A. & Lim Y.T., 1984. Compatibility of southern hardwoods with Portland cement, *Forest Products Journal*, 34, Vol 4/7, 22-26.
- [9] David B. Dittenber & Hota V.S. Ganga Rao, 2012. Critical Review of Recent Publications on Use of Natural Composites in Infrastructure, *Composites, Applied Science and Manufacturing*, Vol. 43 (8), 1419-1429.
- [10] Karade S.R. 2010. Cement bended composites from lignocellulosique wastes. *Construction and Building Materials*, 24, 1323-1330.
- [11] Marius E. & Ovidiu M., 2002. Influence of the wood waste characteristics and its chemical treatment on the composites, *Proceedings NCMA/3 Vietnam International Conference*, 245-249.
- [12] Okino E. & DE Souza M.R. & Santana MAE., Alves MV. & DE Souza M.E., Teixeira D.E., 2004. Cement bonded wood particle board with a mixture of eucalypt and rubberwood, *Cement concrete Composite*, 26, 729-34.
- [13] Ramakrishna G. & Sundararajan T., 2005. Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of mortar, *Cement & Concrete Composites*, 27, 575-582.
- [14] NF EN 197-1, Norme AFNOR, Decembre 2004. Liants hydrauliques, ciments courants – Composition - Spécifications - Critères de conformité. Indice de classement P 15-101-1.
- [15] EN 459-1, Norme Européenne, Mai 1988. Partie 1: Composition - Spécifications - Critères de conformité. Indice de classement P 15-104-1.
- [16] Sebaïbi Y., Dheilily R.M. & Quéneudec M., 2004. A study of the viscosity of lime-cement past: influence of the physico-chemical characteristics of lime, *Construction and Building Materials*, Vol. 18, Issue 9, November, 653-660.
- [17] NF P 18-452, Norme AFNOR, Mai 1988. Bétons. Mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètres.
- [18] NF P 15-431, Norme AFNOR, Février 1994. Liants hydrauliques. Technique des essais - Détermination du temps de prise sur mortier normal.
- [19] NF P 18-353, Norme AFNOR, Juin 1985. Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis. Mesure du pourcentage d'air occlus dans un béton frais à l'aéromètre à béton.
- [20] Hofstrand A.D. & Garcia J.F., Moslemi A.A., 1983. Effect of various treatments and additives on wood-portland cement water-systems. *Wood Fibers Sciences*, 15, Vol. 2, 163-175.
- [21] Hachemi M., Moslemi A.A. & Campbel A.G.A., 1990. A new technical to classify the compatibility of wood with cement. *Wood Science and Technology*, Vol. 24 (4), 345-354.
- [22] EN 196-1, Norme Européenne, Avril 2006. Méthodes d'essai des ciments, Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques, Indice de classement P 15-471-1.
- [23] Pimienta P., Chandellier J., Rubaud M., Dutruel F. & Nicole H., 1994. Etude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois. *Cahier du CSTB*, Janvier-Février, N° 2703, p.45.
- [24] Benazzouk A., Mezreb K., Doyen G., Goullieux A. & Quéneudec M., 2003. Effect of rubber aggregates on the physico-mechanical behaviour of cement-rubber composites-influence of the alveolar texture of rubber aggregates. *Cement & Concrete Composites*, 25, 711–720.