

COMPOSITE CIMENT/BOIS DE *BORASSUS AETHIOPUM MART* : ETUDE DE L'INFLUENCE DES FIBRES SUR LA PATE DU CIMENT ET CARACTERISATION MECANIQUE

ADJOVI E. C.^{*1}, DOKO K. V.¹, TCHEOUALI A.¹.,
GBAGUIGI A. G.¹., HOUNWANOU I.¹.

¹ Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée, Ecole Polytechnique
d'Abomey-Calavi (Bénin)

Correspondance: E-mail: * adjed2012@gmail.com

(Reçu le 12 Janvier 2013 ; Révisé le 18 Mai 2013 ; Accepté le 28 Mai 2013)

RESUME

Le présent travail concerne un composite à matrice cimentaire renforcée par des fibres de *borassus aethiopum mart* communément appelé « rônier ». Il a été examiné la possibilité d'utiliser les fibres de rônier comme renfort dans la pâte de ciment. A cet effet, des études de formulations, de compatibilité du ciment avec les fibres et enfin de comportement mécanique des composites formulés ont été réalisées. Il ressort de ces études que les fibres de rônier, bien étant une biomasse végétale sont compatibles au ciment CPJ 35 utilisé, l'utilisation à plus de 50% de fibres de grosses dimensions (2,5 mm à 5 mm) dans la composition granulaire des gâchées contribue à l'amélioration de la résistance en compression avec une minimisation du rapport massique Ciment/fibres. Les valeurs des résistances mécaniques correspondantes aux rapports eau/ciment et ciment/fibres optimums sont comprises respectivement entre 5,75 et 7,75 MPa en traction et 9,16 et 16,26 MPa en compression.

Mots clés : Ciment, fibres végétales, *borassus aethiopum mart*, compatibilité, composite.

ABSTRACT

Cement composite/wood of *borassus aethiopum mart*: study of the influence of fibers on dough of cement and mechanical characterization

The present work concerns a composite with cementer matrix strengthened by fibers of *borassus aethiopum mart*. The possibility was examined to use the fibers of *borassus aethiopum mart* as reinforcement in the dough of cement. For that purpose, studies of formulations; of compatibility of the cement with fibers and finally mechanical behavior of the formulated composites were realized. These studies emerge that the fibers of *borassus aethiopum*, indeed being a vegetable biomass are compatible with the cement CPJ 35 used, the use in more than 50 % of fibers of big size (2.5 mm a 5 mm) in the granular composition of composite contribute to the improvement of the resistance in compression with a minimization of the weight ratio cement / fibers. The values of the mechanical strengths corresponding to weight ratio water/cement and cement/fibers optimal are respectively included between 5.75 and 7.75 MPa for tensile and 16.26 MPa for the compression.

Key words: Cement, vegetable fibers, *borassus aethiopum mart*, compatibility, composite.

INTRODUCTION

Le *borassus aethiopum mart* est une plante ligneuse (figure 1a) « monocotylédone » répandue dans la zone sahélo-soudanienne de l'Afrique. Il constitue une ressource renouvelable et produit du bois de service imputrescible et résistant aux termites (GIFFARD, 1967). Il est couramment utilisé sous forme de latte (Figure 1b) pour réaliser les maisons à usage d'habitation par les

populations rurales, et parfois celles des villes. Dans la perspective d'une éventuelle utilisation du bois de *borassus aethiopum mart* comme armature végétale dans le béton, une étude expérimentale de comportement mécanique a été réalisée (GBAGUIDI et al., 2010). De cette étude, il ressort que le bois de *borassus aethiopum mart* possède une contrainte de rupture et un module d'élasticité élevés proche de ceux de l'acier. Il a un taux de retrait longitudinal nul.



(a)



(b)

Figure I : Morphologie (a) et lattes (b) de *borassus aethiopum mart*

Dans le domaine des composites cimentaires utilisant les fibres et particules lignocellulosiques aucun travail de recherche n'a élaboré la technologie de valorisation du *borassus aethiopum mart*, bien que les forêts de *borassus aethiopum mart* au Sénégal, en Gambie, au Niger par exemple exploitées pour la production du bois de service et d'œuvre génèrent des déchets fibreux. En raison de la qualité mécanique de ce bois, de son caractère imputrescible, de sa résistance aux termites et du taux absorption faible des fibres, ne pourrait-on pas utiliser ses fibres ou particules dans le procédé de fabrication tuiles de toiture et des panneaux de plafonnage et de cloison?

La mise au point de ce type de matériau composite cimentaire trouverait un intérêt industriel d'autant puisqu'il remplacerait les composites en amiante ciment qui sont proscrits actuellement.

Diverses fibres et particules de bois d'essences diverses provenant du recyclage déchets agricoles / d'industrie du bois ou du broyage, ont fait l'objet de plusieurs travaux relatifs à l'étude des composites cimentaires. Il s'agit des résidus de sisal, de bananier et d'eucalyptus (SAVASTANO et al., 2000) ; des fibres de palmier dattier (KRIKER et al., 2005), des fibres de noix de coco, de canne à sucre et de

bananier (ASASUTJARIT et al., 2007) ; des fibres de lin (AAMAR DAYA, 2004) ; des fibres de diss (MERZOUZ & HABITA, 2007) ; copeaux de bois (TAMBA et al., 2007) ; particules de chanvre (TRONET et al., 2001). Si l'idée d'utiliser ces biomasses végétales sous leur forme naturelle pour renforcer les matrices cimentaires est la bienvenue dans le contexte du développement durable, la faisabilité dans beaucoup de cas rencontre des échecs. Les biomasses végétales ne présentent pas une bonne compatibilité avec les liants organiques et surtout, avec le ciment Portland. La prise et le durcissement de la pâte ou du mortier de ciment ont beaucoup de difficulté à se développer. La réaction d'hydratation du ciment n'est pas complète, compte tenu de la présence de certains constituants dans la biomasse végétale. En effet, les sucres, tanins, phénols, chlorures et carbonates contenus respectivement dans la biomasse végétale et l'eau de gâchage ajoutée au gaz carbonique présent dans l'atmosphère agissent négativement sur les différents constituants du ciment. Par ailleurs, la structure poreuse végétale constitue un inconvénient du fait de l'absorption très importante d'eau qui provoque une instabilité dimensionnelle du composite. Cependant, la compatibilité entre les biomasses végétales et le ciment est établie et les propriétés mécaniques sont améliorées, lorsqu'on procède à des traitements de la biomasse végétale ou de la matrice, soit par lavage et/ou par pulvérisation d'adjuvant ou renforcement avec du sable (MOUGEL, 1992).

Le présent travail dans un premier temps a consisté à étudier la compatibilité entre les fibres de *borassus aethiopum mart* le ciment CPJ 35, afin de juger de la nécessité d'un traitement des fibres ou non, à réaliser une série de formulations suivie de caractérisation mécanique du composite cimentaire de fibre de

borassus aethiopum mart.

MATERIELS ET METHODES

Les fibres et particules de *borassus aethiopum mart* utilisées dans cette étude proviennent des déchets de débitage du tronc en lattes et du broyage des ébauches. Les fibres et particules ainsi obtenues sont séchées à l'étuve à 105°C jusqu'à stabilisation de la masse, sériées par tamisage en quatre différentes classes granulaires et mélangées selon les compositions granulaires présentées sur le tableau I. Elles n'ont subi aucun traitement chimique et sont conservées dans un local maintenu à une température de 20°C.

Tableau I: Proportions utilisées pour les compositions granulaires

Classes granulaires	Mélange grossier (MG)	Mélange fin (MF)
]2,5 ;5,0[40%	16,67%
]1,25 ;2,5[30%	16,67%
]0,63 ;1,25[20%	30,33%
]0,315 ;0,63[10%	30,33%

Les modules de finesse et les masses volumiques absolues de ces compositions granulaires ont respectivement de 2,17 et 687 kgm³ pour le mélange fin, 3,0 et 771 kgm⁻³ pour le mélange grossier. Le taux d'absorption des fibres est de l'ordre de 11%.

L'analyse granulométrique traduisant la distribution dimensionnelle des fibres en poids est présentée sur la figure II.

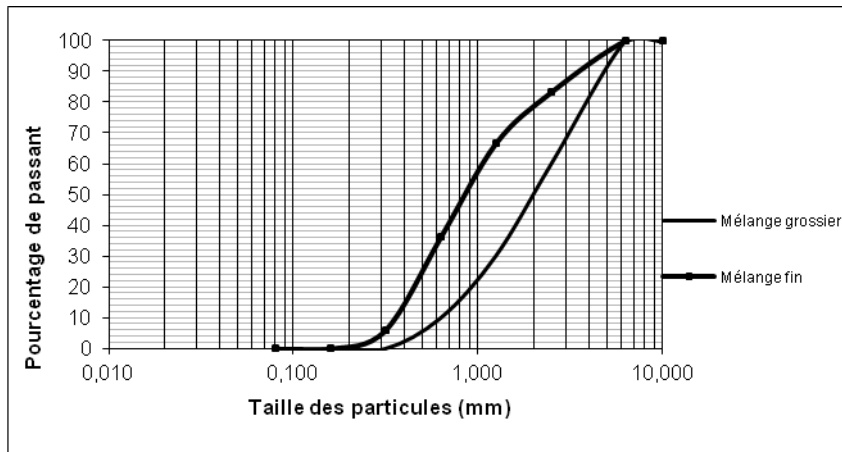


Figure II: Courbes granulométriques du sable et des deux compositions de fibres de *borassus aethiopum mart*

Le ciment utilisé est de type CPJ 35 produit au Bénin par la cimenterie SCB Lafarge d'Onigbolo.

Les gâchées réalisées pour l'étude de compatibilité entre le ciment et les fibres de *borassus aethiopum mart* sont constituées de 200 g de ciment et 80 ml d'eau pour

l'échantillon témoin et de 200 g de ciment, 90 ml d'eau et 15 g de fibres de borassus. Ces gâchées sont placées dans une enceinte adiabatique (Figure III) dans laquelle on observe la vitesse d'hydratation du ciment à travers la quantité de chaleur dégagée au cours de la réaction.

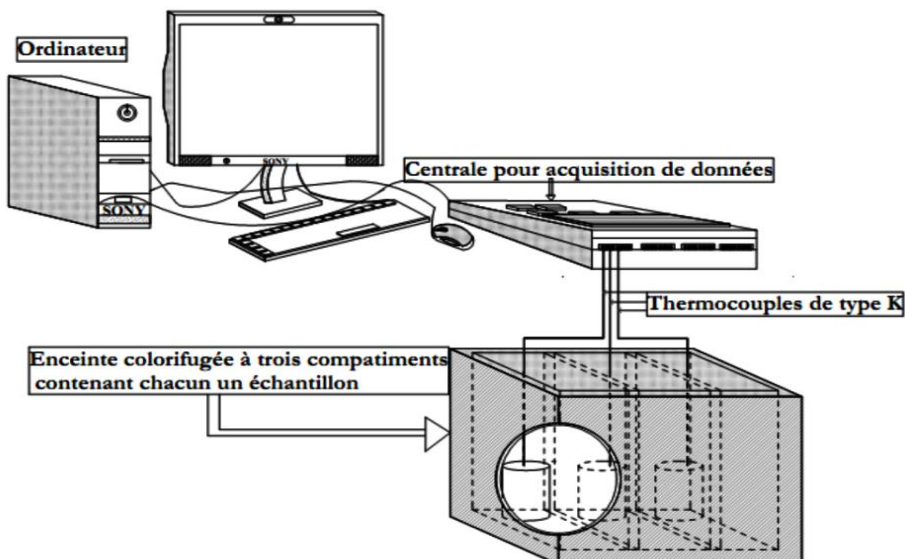


Figure III: Dispositif de mesure de la chaleur d'hydratation du ciment par la méthode de la calorimétrie isotherme

La formulation des gâchées a consisté :

- à fixer le dosage en ciment,
- ensuite à choisir les rapports eau de gâchage sur dosage en ciment adapté selon l'ouvrabilité du mélange frais par un essai de maniabilité des composites.
- enfin à déterminer la masse de granulats végétaux à utiliser pour confectionner 1 m³ de gâchée.

Trois cas de dosages sont utilisés dans le présent travail. Il s'agit de 400 kgm⁻³, 450 kgm⁻³ et 500 kgm⁻³.

La méthode utilisée pour définir les masses des granulats à mettre en œuvre en fonction du dosage en ciment et en eau, est basée sur l'expression du volume absolu du mélange frais et des masses volumiques absolues des éléments constitutifs du composite.

Le volume absolu du mélange frais des différents constituants du composite est donné par l'expression suivante :

$$V_{\text{abs mel}} = V_{\text{abs ciment}} + V_{\text{eau}} + V_{\text{abs granulats}} \quad (1)$$

Où, $V_{\text{abs mel}}$, $V_{\text{abs ciment}}$, V_{eau} et $V_{\text{abs granulats}}$ sont respectivement les volumes absolus du mélange frais, du ciment, de l'eau et des granulats utilisés.

Pour la caractérisation physique et mécanique des composites, dix-huit gâchées ou composites ont été formulées (Tableau III).

Pour chacun des gâchées, le ciment a d'abord été mélangé avec le granulat végétal et ensuite l'eau de gâchage a été ajoutée. Le mélange frais a été placé dans trois moules 4×4×16 cm³ tassé à l'aide de tige. Les éprouvettes ont été démoulées après vingt-quatre heures. La cure a été réalisée à l'air libre pendant vingt-huit jours. Les tests de résistances mécaniques en traction par flexion et en compression ont été réalisés conformément à la norme EN-196-1. La mesure du taux d'absorption a été réalisée conformément au protocole décrit dans le travail de Merzoud M. et al. (2007).

RESULTATS

- Etude de compatibilité

La figure IV présente l'évolution de la température au cours des réactions d'hydratation du ciment seul, et du ciment en présence des fibres de *borassus aethiopum mart*.

Le tableau II résume les différentes caractéristiques de l'hydratation du ciment dans les deux mélanges : la température maximale T_m , le temps t_m mis pour atteindre cette température, l'énergie d'hydratation A correspondant à l'aire sous la courbe et le coefficient d'hydratation C_A .

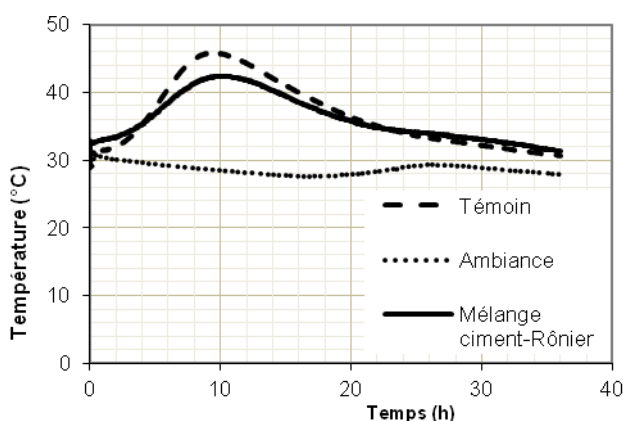


Figure IV : Courbes d'hydratation du ciment dans le témoin et en présence des fibres de *borassus aethiopum mart*

Tableau II : Caractéristiques d'hydratation des mélanges

Type de mélange	T _m (°C)	t _m (heures)	A	C _A (%)
Témoin (Ciment + eau)	46	9,38	0,832	100
Ciment + eau + fibres	42,4	9,80	0,934	89,11

- Formulation et caractéristiques des composites

Désignons par:

- C, la masse du ciment ;
- E/C = k_e, le rapport massique eau/ciment ;
- ρ_{b,r}, le poids spécifique de la

composition granulaire considérée ;

- ρ_e, la masse volumique de l'eau ;
- ρ_C, le poids spécifique du ciment.

Exprimons les différentes composantes de la formule (1) en fonction de leur masse volumique absolue :

$$V_{\text{abs ciment}} = \frac{C}{\rho_C}; V_{\text{abs eau}} = \frac{k_e \cdot C}{\rho_e} \text{ et } V_{\text{abs granulat}} = \frac{R}{\rho_{b,r}} \quad (2)$$

Remplaçons (2) dans (1) et considérons V_{absmel} = 1m³, on obtient :

$$\frac{C}{\rho_C} + \frac{k_e \cdot C}{\rho_e} + \frac{R}{\rho_{b,r}} = 1 \quad (3)$$

De la relation (3), On déduit l'expression générale de la masse des granulat (*borassus aethiopum mart*) :

$$R = \rho_{b,r} \cdot \left(1 - \frac{C}{\rho_C} - \frac{k_e \cdot C}{\rho_e} \right) \quad (4)$$

Connaissant les masses des granulat (fibres), on peut définir les rapports massiques entrant dans la formulation des composites (Tableau III).

La courbe cinétique d'absorption des composites MF-D2-E0,5 et MG-D-E0,5 est donnée par la figure V.

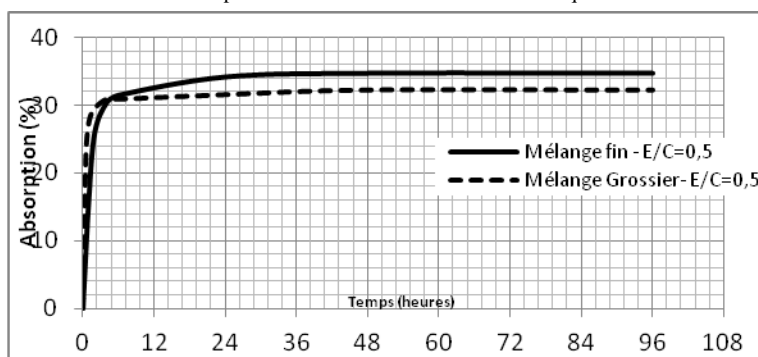


Figure V: Cinétique d'absorption des composites MF-D2-E0,5 et MG-D2-E0,5

Tableau II: Formulation du composite ciment-fibres de *borassus aethiopum mart* et les caractéristiques correspondantes

Formulations			Caractéristiques physiques		Caractéristiques mécaniques	
Rapport C/R	Rapport E/C	Désignation des composites	Masse volumique (kgm ⁻³)	Taux d'absorption (%)	Résistance en traction par flexion (Mpa)	Résistance en compression (Mpa)
2,15	0,50	MF-D1-E0,5	1180	41,54	4,63±0,22	6,18±0,72
	0,60	MF-D1-E0,6	1080	42,48	5,50±0,43	6,84±0,34
	0,70	MF-D1-E0,7	980	44,83	4,00±0,22	4,82±0,30
1,92	0,50	MG-D1-E0,5	1190	39,46	5,75±0,43	9,16±0,61
	0,60	MG-D1-E0,6	1060	42,17	4,88±0,57	6,81±0,45
	0,70	MG-D1-E0,7	1030	58,03	3,13±0,22	5,40±0,68
3,64	0,40	MF-D2-E0,40	1420	15,06	7,75±0,57	10,01±0,39
	0,45	MF-D2-E0,45	1410	25,97	6,50±0,43	9,70±0,48
	0,50	MF-D2-E0,50	1110	34,13	3,63±0,57	13,45±1,03
3,25	0,40	MG-D2-E0,40	1380	25,76	6,75±0,38	11,97±0,28
	0,45	MG-D2-E0,45	1310	27,28	6,19±0,80	12,08±0,32
	0,50	MG-D2-E0,50	1260	30,67	4,63±0,57	9,08±0,44
4,45	0,35	MF-D3-E0,35	1420	21,86	7,63±0,22	15,52±0,72
	0,40	MF-D3-E0,40	1380	24,23	6,50±0,43	14,09±0,34
	0,45	MF-D3-E0,45	1290	27,01	5,50±0,22	12,23±0,30
3,96	0,30	MG-D3-E0,30	1470	20,36	8,38±0,43	14,43±0,61
	0,35	MG-D3-E0,35	1440	24,37	7,75±0,57	16,26±0,45
	0,40	MG-D3-E0,40	1380	24,72	7,25±0,22	15,13±0,68

DISCUSSION

On constate sur la figure IV que la présence de fibres de borassus a entraîné une baisse de la température maximale et de l'énergie calorifique dégagée au cours de la réaction d'hydratation du ciment. Cela est dû à la présence de substances hydrosolubles dans la partie lignocellulosique. Bien que les fibres de rônier réduisent le degré d'hydratation du ciment (réduction de la température maximale), elles ne semblent avoir aucun effet considérable sur le temps nécessaire pour atteindre la température maximale. Au regard de l'échelle de comparaison présentée dans le travail de HACHMI et al (1990) :

- Bois compatible : $C_A > 68\%$
- Bois modérément compatible : $68\% > C_A > 28\%$
- Bois incompatible : $C_A < 28\%$.

Le coefficient d'hydratation C_A obtenu (Tableau II) étant supérieur à 68%, il ressort que les fibres *borassus aethiopum mart* et le ciment sont compatibles. Ce qui nous laisse le choix d'introduire ou non dans le procédé de confection des gâchées des traitements des fibres *borassus aethiopum mart*.

Au regard des masses volumiques des composites qui sont inférieures à 2000 kgm^{-3} , il apparaît que le composite ciment-fibres de *borassus aethiopum mart* peut effectivement être classé dans la catégorie des bétons légers.

Le taux d'absorption augmente avec le rapport E/C utilisé pour la confection des gâchées, ce qui, visiblement fait baisser la masse volumique et par conséquent les résistances mécaniques. Par contre l'augmentation de la fraction massique C/R entraîne une baisse du pouvoir d'absorption. Les courbes cinétiques d'absorption de quelques éprouvettes présentées sur la figure V montrent qu'en 24 heures les composites atteignent leur point de saturation avec une accélération de l'absorption au cours des six premières heures.

Le rapport Ciment/fibres décroît avec l'accroissement des dimensions des fibres dans la composition granulaire, ce qui influence positivement sur les résistances mécaniques.

Les rapports de la résistance en compression sur les résistances en traction sont inférieurs à 2,5 ce qui montre que ces composites ont des résistances en traction importante, ce qui est contraire au mortier habituel dont le rapport est de l'ordre de 10. Ce même constat a été fait par Merzoud M. et Al (2007)

CONCLUSION

Cette étude s'intègre dans une problématique générale de développement de matériaux de construction innovants à impacts environnemental et sanitaire réduit. Dans ce cadre nous nous sommes proposé de caractériser le composite résultant du mélange d'une matrice de ciment avec des fibres végétales de *borassus aethiopum mart*.

Dans un premier temps, il a été prouvé que les fibres non traitées sont compatibles avec le ciment utilisé. Différentes granulométries, divers ratios Eau/Ciment et plusieurs taux de fibres ont été étudiés en vue de sélectionner les conditions conduisant au composite ayant les meilleures propriétés. Ensuite, les résultats obtenus ont permis d'établir l'existence de valeurs optimales pour la quantité de liant et la quantité d'eau correspondant aux meilleures résistances mécaniques. Aussi, avons-nous établi que la granulométrie des fibres a un fort impact sur les caractéristiques du composite ; les essais réalisés dans ce sens révèlent que les résistances mécaniques sont améliorées par l'utilisation des fibres « grossières ». Bien que les capacités d'absorption du matériau soient importantes, la légèreté constatée est un atout ouvrant de nombreuses perspectives quant aux applications possibles du composite.

Le composite ainsi formulé peut être utilisé dans le plafonnage et la réalisation des cloisons.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. AAMAR DAYA E. H., 2004. Contribution à la valorisation de co-produits du lin, poussières obtenues par aspiration lors du teillage, dans une matrice cimentaire. *Thèse de doctorat de l'Université de Picardie Jules Verne., France.*
2. ASASUTJARIT C., HIRUNLABH J., KHEDARI J., CHAROENVAI S., ZEGHMATI B, CHEUL SHIN U., 2007. Development of coconut coir-based lightweight cement board. *Construction and Building Materials*, 21: 277-288.
3. GBAGUIDI V., GBAGUIDI G., GIBIGAYE M., ADJOVI E., SINSIN B. A., AMADJI T. A., 2010. Détermination expérimentale des principales caractéristiques physiques et mécaniques du bois du rônier (*Borassus Aethiopum Mart*) d'origine béninoise. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo), Série E*, 12(2) : 1-9.
4. GIFFARD P. L., 1967. Le Palmier Rônier (*borassus aethiopum mart*). *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, n°116 : 3-13.
5. HACHMI M., MOSLEMI A. & CAMPBELL G., 1990. A new technique to classify the compatibility of wood with cement. *Wood science technology*, 24: 345-54.
6. KRIKER A., DEBICKI G., BALI A. 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*, 27: 554- 64.
7. MERZOUD M, HABITA M.F, 2007. Elaboration of Lignocellulosic Composite formulated with a local resource: Diss as infill in structures submitted to seismic actions. *Research Journal of Applied Sciences, Medwell Journals*, 4(2): 410-415.
8. MOUGEL E., 1992. Mise au point d'un composite bois-ciment dont les variations dimensionnelles vis-à-vis des variations d'humidité sont contrôlées. *Thèse de Doctorat, Université de Nancy 1, ENSTIB, Nancy.*
9. SAVASTANO J.H, WARDEN P.G., COUTTS R.S.P., 2000. Brazilian waste fibres as reinforcement for cement based composites. *Cement Concrete Composites*, 22: 379-384.
10. TAMBA S., VOUMBO L., WEREME A., GAYE S. et SISSOKO G., 2007. Durabilité des bétons légers à base de copeaux de bois. *J. Sci. Vol.*, 7 (4) : 67-72.
11. TRONET P., PICANDET V., LECOMPTE T., BALEY C., 2001. Béton de chanvre : Effet du dosage en granulats sur les propriétés thermique et mécanique. *Comptes Rendus des JNC 17 : 1-7*, Poitiers.