

Formulation of a composite of date palm wood-cement

Formulation d'un composite bois de palmier dattier-ciment

Farid Touloum¹, Akli Younsi², Abdelhak Kaci², Adel Benchabane¹

¹ Laboratoire de Génie Energétique et Matériaux (LGEM), Université de Biskra, B.P. 145 R.P. 07000, Biskra, Algeria

² Laboratoire de Mécanique et Matériaux du Génie Civil, L2MGC, Université de Cergy-Pontoise, France

Received 10 February 2015

Revised 14 June 2016

Accepted 20 October 2016

Published online: October 2016

Keywords

Date palm wood

Phoenix Dactylifera (L)

Insulator material

Wood - cement composites

Abstract: This work reports the results of an experimental study on the incorporation of wood waste date palm reduced in particles for the manufacture of wood – cement composites. These materials are cheaper than the conventional insulator material and environmental friendly. Five types of wood – cement composites with various concentrations of the wood particles, ie. 2, 4, 6, 8 and 10% of total volume, were made according to defined protocol and mix design. Their thermal and mechanical properties were measured and compared to other conventional materials. The obtained results show that the thermal conductivity is positively correlated to the content of particles in the mixture. The compressive strength of composites decreases where the content of particles increase. However, taking account of the ASTM C 109 / C109-95 standard, the wood – cement composite contained 10% of wood particles, considered as lightweight concrete, could be used as non-structural material in construction.

© 2016 The authors. Published by the Faculty of Sciences & Technology, University of Biskra. This is an open access article under the CC BY license.

Résumé: Ce travail présente les résultats d'une étude expérimentale sur l'incorporation des déchets de bois de palmier dattier réduits en particules pour la fabrication de composites bois-ciment, des matériaux à moindre coût de revient et à faible impact environnemental et de surcroît, thermiquement isolants. Cinq types de composite "bois de palmier dattier – ciment" contenant différentes teneurs en particules de bois de palmier dattier : 2, 4, 6, 8 et 10 % du volume total, ont été confectionnés suivant une méthode de formulation et un protocole définis. Leurs propriétés thermiques et mécaniques ont ensuite été mesurées à maturation et comparées à d'autres matériaux de la littérature. Les résultats obtenus montrent que la conductivité thermique est corrélée positivement à la teneur en particules dans le mélange et que la résistance à la compression diminue en fonction de la teneur en particules. Toutefois, selon la norme ASTM C 109/ C109-95, le composite à 10 % de particules, assimilé à un béton léger, pourrait être utilisé comme matériau de construction non structural.

Mots clés : palmier dattier, Phoenix Dactylifera (L), fibre végétale, isolation thermique, bio-matériaux

1. Introduction

Les derniers bouleversements que connaît le paysage énergétique algérien laissent entrevoir une révision éminente de la politique énergétique du pays. En effet, à l'horizon 2019, l'Algérie risquerait de ne plus disposer de réserves gazo-pétrolières pour couvrir ses besoins internes et d'exporter. Un drame pour un pays pour lequel les hydrocarbures représentent 33 % du produit intérieur brut, 98 % des ressources en devises et deux tiers du budget de l'Etat (Roumadi 2014). La hausse de la demande énergétique du pays n'est nullement motivée par un regain de dynamisme de l'activité économique mais, plutôt par la seule consommation des ménages (Fig.1) (APRUE 2009).

D'ailleurs le secteur de l'habitat enregistrerait un taux de croissance moyenne de l'ordre de 7,7 % soit une consommation de 94 795 GWh à l'horizon 2023 (Roumadi 2014). Cette dépense énergétique est légitimée par une amélioration du niveau de vie de la population et de surcroît au confort qui en découle. Environ 80% de la dépense énergétique nationale dans ce secteur est lié au chauffage et/ou à la climatisation afin de maintenir une température ambiante agréable dans les habitations, souvent,

pas isolées thermiquement. Ce constat alarmant conduit à porter un regard nouveau et objectif sur la nécessité d'isoler thermiquement les habitations. Dans cette optique, le biomatériau de type matrice minérale et renfort végétal offrent une réelle solution tout en préservant l'environnement, ouvrant de perspective d'un marché de l'emploi en décadence et de surcroît obtenir des produits à moindre coût de revient. Dans la présente étude, nous utilisons le ciment portland comme matrice et les déchets annuels du bois de palmier dattier comme renfort.

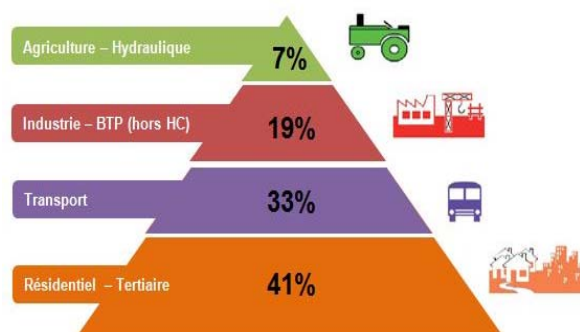


Fig. 1. Consommation d'énergie finale en Algérie (APRUE 2009).

Corresponding author. E-mail address: farid.touloum@gmail.com

Le palmier dattier (*Phoenix Dactylifera L*), est une monocotylédone de la famille des Palmacées genre Phoenix (Munier 1973). Localisées dans les zones de la partie sud-est du pays (Biskra, El-Oued, Ouargla, Ghardaïa et Adrar), l'Algérie compte plus de 18,7 millions de palmiers (Boukrouh 2010) réparties sur une surface de 169361 ha (Touloum et al. 2012). Pour des raisons de maintenance annuelle, les palmeraies génèrent plus de 335 000 t/an de déchets lignocellulosiques (pétiole et rachis) non valorisés (Fig.2).

Il est rapporté dans une étude antérieure (Agoudjil et al. 2011b; Almi et al. 2015a; Almi et al. 2015b) la composition chimique des déchets du bois de palmier dattier, le pétiole en l'occurrence. Les éléments Oxygène et Carbone sont les plus dominants dans la composition chimique du bois de palmier dattier. Néanmoins, le bois de palmier dattier regroupe, à différentes concentrations, d'autres éléments chimiques comme le chlore, le magnésium, le calcium, etc.

La conductivité thermique du bois de palmier dattier est de $\lambda = 0,083$ W/m.K rapportée par Agoudjil et al. 2011b. En effet, le bois de palmier dattier présente une faible conductivité thermique qui le place comme un bon candidat pour le développement d'isolant thermique au regard aux autres matériaux de même nature à l'image du sisal ($\lambda = 0,070$ W/m.K) (Kalaprasad et al. 2000), du chanvre ($\lambda = 0,115$ W/m.K) (Behzad et al. 2007) et des fibres du bananier ($\lambda = 0,117$ W/m. K) (Paul et al. 2008).

Par ailleurs, l'association de fibres végétales comme éléments de renfort à une matrice cimentaire fait l'objet de nombreux travaux (Abdel-Rahman et al. 1988; Al-Juruf et al. 1988b; Bentchikou et al. 2007; Besset 1987; Bledzki. et al. 1999; Chikhi et al. 2013; Espinoza Herrera 2009; Hofstrand et al. 1984; John et al. 2008; Khedari et al. 2001; Kriker et al. 2008; Kriker et al. 2005; Sedan et al. 2007). Les performances du bio-composite tirent profit des avantages de la fibre et de la matrice. Les travaux menés par (Abdel-Rahman et al. 1988; Al-Juruf et al. 1990; Al-Juruf et al. 1988a; Al-Juruf et al. 1988b) avaient pour objectifs de caractériser, en terme de disponibilité et de caractéristiques thermo physiques, les feuilles du bois de palmier dattier ainsi que leur utilisation dans des matrices minérales.



Fig. 2. Palmes (palmier dattier) sans valeur ajoutée - Biskra (Algérie).

Les auteurs rapportent que le bois de palmier dattier offre une réelle opportunité pour le développement de nouveaux matériaux et d'enrichir la panoplie des matériaux composites. Depuis une dizaine d'années, un engouement particulier s'est formé autour de l'utilisation des différentes parties du palmier dattier dans une matrice minérale (Ahmed et al. 1990; Alawar et al. 2009; Iskanderani 2008; Kriker et al. 2005; Nasser et al. 2011) dont l'objectif principal est de caractériser le comportement mécanique.

L'objectif de ce travail est d'explorer dans un premier temps, la possibilité d'utiliser le bois de palmier dattier comme renfort dans une matrice cimentaire. Par la suite, mettre en place une méthode de formulation d'un produit destiné au secteur de l'habitat, qui permettra d'allier une résistance mécanique acceptable à une très bonne résistance thermique.

2. Programme expérimental

2.1. Matériaux

Les composites bois-ciment développés dans cette étude ont été préparés à base du ciment Portland CEM I 52,5 N conforme aux exigences de la norme NF EN 197-1. Ses principales propriétés physico-chimiques sont données dans le tableau 1.

Le bois utilisé dans la confection des différents composites provient de la localité d'El-Hadjeb (Biskra). Il a été préparé comme suit : les déchets de palmes préalablement séchés à l'air ambiant, ont été débarrassés de leurs feuilles, dépoussiérés, puis étuvés à 103 ± 2 °C jusqu'à stabilisation de la masse.

A l'issue de l'étuvage, le bois a été broyé puis tamisé selon la norme NF P 18-560. Les particules de bois choisies pour cette étude sont celles qui sont passées au tamis de 0,4 mm et retenues au tamis 0,08 mm. Une telle classe granulaire éviterait la formation d'éventuels amas de matière qui risqueraient d'altérer les propriétés et performances des composites fabriqués. Ce choix permettrait par ailleurs de réduire le taux d'absorption d'eau par le bois et d'améliorer la surface de contact avec la matrice cimentaire.

Tableau 1. Propriétés physico-chimiques du ciment Portland CEMI 52,5 N.

<i>Caractéristiques physiques</i>	
Masse volumique [g/cm ³]	3,13
Surface spécifique Blaine [cm ² /g]	3590
<i>Composition [%]</i>	
Clinker	97
Gypse	3
<i>Compositions chimiques [%]</i>	
CaO	63,67
SiO ₂	20,23
MgO	3,88
SO ₃	2,80
Fe ₂ O ₃	2,40
Al ₂ O ₃	2,35

Conformément aux résultats rapportés par (Agoudjil et al. 2011b), les mesures de la conductivité thermique de nos échantillons ainsi que la masse volumique apparente sont très proches (tableau 2). Dans cette étude, nos composites bois-ciment ont été confectionnés sur la base de la masse volumique réelle du bois de palmier dattier qui est de l'ordre de 1500 kg/m³. En effet, les récents travaux (AlMaadeed et al. 2014; Kriker et al. 2008) rapportent des valeurs similaires à la masse volumique réelle obtenue, qui est corrélée positivement à l'état physique du bois.

Six composites bois-ciment ont été formulés avec différentes teneurs en bois (volume de bois rapporté au volume total du composite) : 0, 2, 4, 6, 8 et 10 % (tableau 3). Les composites sont notés P_i où l'indice « i » est la teneur en bois.

2.2. Protocoles expérimentaux

Les échantillons de forme prismatique 40×40×160 (mm) sont fabriqués conformément à la norme NF EN 196-1. Après démoulage, les éprouvettes sont conservées à l'air libre à 20°±2 °C pendant toute la durée de la cure. Les éprouvettes sont retournées quotidiennement. À l'état frais, la consistance des composites bois-ciment a été mesurée au mini-cône (h=150 mm, d=100 mm) suivant la norme ASTM C 1437-07 (ASTM C1437 2007).

À l'aide d'un Microscope Electronique à Balayage (MEB), on a examiné la microstructure de bois de palmier dattier. Les échantillons ont été découpés de la partie pétiolaire de la palme, imprégnés dans la résine sous vide, après 24h de séchage aux conditions de laboratoire, montés sur le port échantillons, recouverts d'or et observés à l'aide du contraste topographique (SEI) du MEB.

La mesure de la conductivité thermique (λ) des éprouvettes aux conditions de laboratoire (50% RH, 20°C) à l'aide de la méthode du fil chaud (Coquard et al. 2006) est à 28 jours. Cette méthode transitoire est la méthode classique des mesures de la conductivité thermique des matériaux isolants. La méthode consiste à placer une sonde à chocs thermiques en sandwich

Tableau 2. Comparaison des propriétés thermo-physiques du bois de palmier dattier.

λ (W/m K)	ρ (kg/m ³)		Référence
	Apparente	Réelle	
0,083 ±0,003	254 ± 1	-	Agoudjil et al. 2011b
0,061 ±0,006	258 ± 1	1500 ± 1	Cette étude
-	-	1390	AlMaadeed et al. 2014
-	-	1300-1450	Kriker et al. 2008

Tableau 3. Formulations pour 1 m³ de composite bois-ciment.

	P ₀	P ₂	P ₄	P ₆	P ₈	P ₁₀
Ciment (C) [kg]	1 608	1 519	1 432	1 348	1 266	1 186
Eau (E) [kg]	483	492	499	507	513	519
Bois (B) [kg]	0	30	60	90	120	150
E/C [-]	0,30	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44
Volume de bois [m ³]	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
Affaissement [cm]	4,5	3,4	2,7	2,4	1,9	1,5

entre deux échantillons à caractériser. La sonde produit localement un échauffement faible du matériau (quelques degrés au-dessus de la température ambiante) et de mesurer cette élévation de température au cours du temps (durée de quelques minutes). Par un traitement mathématique de ce signal intégré dans le logiciel fourni, l'identification de la conductivité thermique est réalisée.

Les essais de flexion trois points ont été effectués à 28 jours sur un appareil de type NSTRON modèle 5567 d'une capacité 30 kN. La vitesse de charge est de 50 N/s conformément à la norme NF EN 1015-11, 2000.

Les essais de compression ont été effectués, également à 28 jours sur un appareil INSTRON type SCHENK (assistée par ordinateur) à asservissement hydraulique d'une capacité de 3200 kN. Les essais sont réalisés avec une charge de 10 N/min dont les valeurs rapportées sont des moyennes.

3. Résultats et discussion

3.1. Morphologique du bois de palmier dattier

L'image MEB de la figure 3 est obtenue d'un échantillon prélevé de la partie pétiolaire d'un bois de palmier dattier. Nous observons sur la figure 3 une surface poreuse constituée d'un ensemble de différentes formes de fibres dispersés dans une matrice constituée majoritairement d'hémicellulose et de lignine.

Nous pensons que les fibres denses, de faibles périmètres, soutiennent la structure du pétiole et jouent le rôle de fibres porteuses. La morphologie de ce type de fibres est rapportée dans les travaux de (Agoudjil et al. 2011b; Agoudjil et al. 2011a). Les auteurs rapportent que ces fibres sont constituées d'un assemblage de fibrilles (qui ne sont pas visibles à l'échelle de la figure 3, dont la partie centrale de chaque fibrille, appelée le lumen, est creuse (Besset 1987; Bledzki. et al. 1999; Jebrane 2009; John et al. 2008; Michaud 2003; Navi et al. 2005; Sedan et al. 2007; Thiebaud 1995). Les fibres moins denses sont constituées d'un faisceau de fibrilles et de quelques lumens de volume plus important. Ceci, confère au bois de palmier dattier une masse volumique apparente très faible (tableau 2).

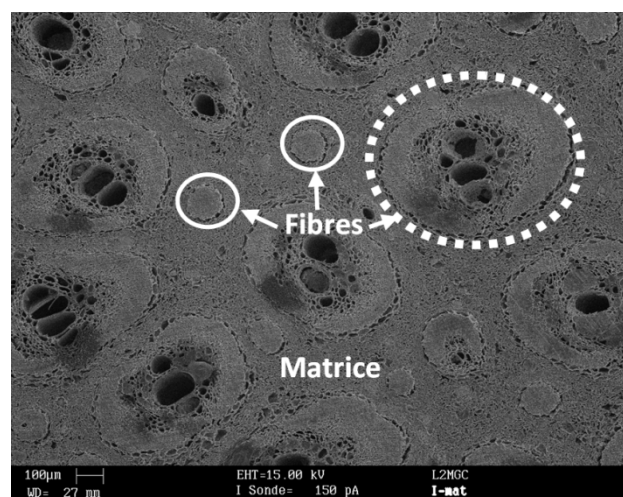


Fig. 3. Image au microscope électronique à balayage d'un pétiole.

3.2. Consistance du composite bois-ciment

Les résultats d'affaissement au mini-cône donnés dans le tableau 3 démontrent que la consistance est d'autant plus ferme que la teneur en bois dans le composite est élevée. Cela pourrait être expliqué, d'une part, par le fait que les particules de bois perturbent l'empilement primaire des grains de ciment en remplissant les pores et favorisant ainsi le maintien. D'autre part, par l'absorption d'une partie d'eau de gâchage par les particules de bois.

3.3. Conductivité thermique du composite bois-ciment

La figure 4 illustre la variation de la conductivité thermique des composites fabriqués avec du bois de palmier dattier à différentes concentrations volumiques (0 à 10%). La conductivité thermique du composite bois-ciment diminue en fonction de la teneur en particules du bois de palmier dattier. La figure 4 montre que la conductivité thermique passe de $\lambda=0,96$ à $0,24\text{W/mK}$ pour une teneur de bois allant de 0 à 10% respectivement, avec un gain thermique positif de l'ordre de 75%. La conductivité thermique du composite bois-ciment dépend fortement, d'une part, des conductivités thermiques de ses principaux constituants injectés dans le mélange pour un volume constant notamment le bois ($\lambda = 0,061\text{ W/m.K}$) et le ciment ($\lambda = 0,5$ à $1,3\text{ W/m.K}$) (Mounanga 2003). La quantité du ciment diminue en fonction du dosage en particules de bois qui a un impact direct sur la conductivité thermique du composite. En effet, la conductivité thermique est d'autant plus importante que le dosage en ciment est important (Demirboga 2003). Ce résultat est vérifié quelque soit le type de la biomasse injectée dans une matrice minérale (Bentchikou et al. 2007; Espinoza Herrera 2009).

D'autre part, de l'humidité relative du composite qui dépend de la teneur en eau des particules du bois de palmier. Une fois les particules du bois sèchent, leur volume baisse en donnant lieu à l'apparition de nouveaux pores, dans une structure déjà poreuse, ce qui explique la diminution de la conductivité thermique du composite bois-ciment.

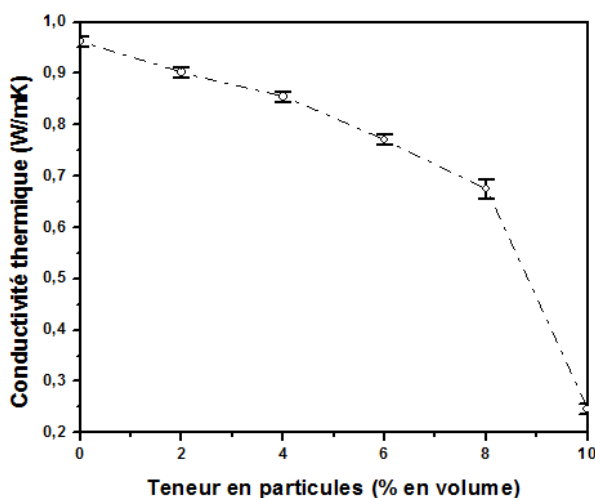


Fig. 4. Conductivités thermiques des composites bois-ciment en fonction de la teneur en particules de bois de palmier dattier.

Le tableau 4 illustre une comparaison qualitative de la conductivité thermique de différents composites à base de bois. On rapport dans la présente étude que pour une teneur de 0 à 10% de particules du bois on obtient respectivement une conductivité thermique de $0,96$ à $0,24\text{ W/m.K}$ pour une densité de 2102 à 1378 kg/m^3 . On note également que les valeurs des conductivités thermiques pour une teneur en particule de 2 à 10%, correspondantes à $0,67$ à $0,24\text{ W/m.K}$, s'apparentent à celles des bétons légers conformément à la norme ASTM C109/C 109-95 et rapporté par (Neville 2000).

3.4. Comportement mécanique du composite bois-ciment

3.4.1. Contrainte de compression

L'incorporation des particules végétales dans une matrice cimentaire affecte sensiblement les performances mécaniques du composite résultant. La figure 5 représente l'évolution de la contrainte de compression des différentes formulations (2, 4, 6, 8 et 10%) du composite bois-ciment à 28 jours.

Le comportement en compression à 28 jours du composite bois-ciment est très particulier notamment pour les teneurs en particules 2, 4, 6 et 8%. Dans ce cas, nous remarquons une contrainte en compression plus importante, ou du même ordre pour la teneur de 8% de particules, comparée à la formule de référence. Ces résultats ne correspondent pas aux résultats

Tableau 4. Comparaison de la conductivité thermique et de la densité des composites bois-ciment à d'autres matériaux.

Composites	Conductivité (W/mK)	Référence
P ₁₀ - P ₈	0,24 - 0,67	présente étude
P ₀	0,96	présente étude
Gypse/bois de palmier dattier (10 % masse)	0,15 - 0,17	Chikhi et al. 2013
Ciment-filler-sable-bois (10-100 % masse)	0,80 - 0,65	Bederina et al. 2007b
Ciment-argile-bois (30 % masse)	0,20	Bouguerra et al. 2001

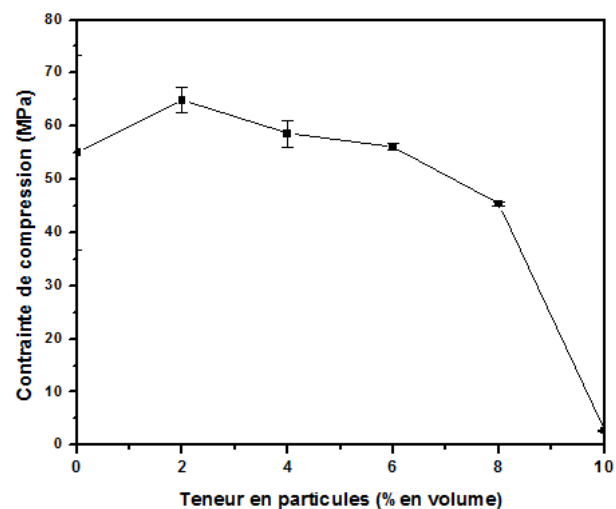


Fig. 5. Contrainte de compression du composite bois de palmier dattier et ciment (CBC) à 28 jours.

publiés par Bederina et al. 2007b et Kriker et al. 2005 (tableau 5) qui rapportent habituellement une diminution de la contrainte en fonction de la teneur en particules de bois. Pour la présente étude, la diminution de la contrainte en compression n'est significative qu'au-delà de la teneur de 8% pour passer au-dessous de celle de la formule de référence. Nous pensons que le comportement en compression constaté entre 2 et 8% de teneur en particules de bois de palmier dattier est dû notamment à l'occupation des pores, naturellement présents dans les matériaux cimentaires, par les particules de bois. Ce phénomène est favorisé par la granulométrie fine des particules de bois qui est dans l'intervalle de 0,4 à 0,8mm. De plus, l'eau de gâchage absorbée initialement par les particules de bois assure une hydratation continue des grains de ciment portland (Bentchikou et al. 2007).

Par ailleurs, au-delà d'une teneur supérieure à 8% en particules de bois de palmier, le composite bois-ciment perd en contrainte de compression à cause de la structure poreuse du tissu végétal du bois. En effet, cette structure permet au bois d'absorber par capillarité une quantité d'eau. Une fois l'eau consommée par hydratation du ciment ou par évaporation (séchage), nous assistons à l'apparition d'une porosité non négligeable dans le composite. De plus, nous pensons que la perte en contrainte de compression, par rapport à la formule de référence, est due également à l'incompatibilité chimique du ciment avec les particules de bois de palmier dattier. Ce phénomène commun aux composites bois-ciment engendre une altération du processus d'hydratation du ciment dû aux produits extractibles contenus dans le bois. Ces extractibles sont de faibles poids moléculaires (localisés dans le lumen, les canaux résinifères, la lamelle moyenne et les espaces intercellulaires) et solubles dans l'eau (Hofstrand et al. 1984 ; Navi et al. 2005). Les auteurs (Hofstrand et al. 1984 ; Hachmi et al. 1989 et Moslemi et al. 1987 ; Espinoza Herrera 2009) rapportent qu'au-delà d'un certain taux d'extractibles estimé à 7%, la période de prise est prolongée en diminuant la quantité et la taille des cristaux essentiels à la résistance des matériaux inorganiques. On a estimé, dans un travail antérieur, le taux d'extractibles du bois de palmier, utilisé dans la présente étude, au tour de 7% de la masse totale (pétiole et rachis). Nous pensons que l'augmentation de la teneur en particules au-delà de 8% engendre une augmentation remarquable des extractibles, par conséquent le composite bois-ciment sera moins résistant.

Tableau 5. Comparaison qualitative de la résistance à la compression des composites bois-ciment à d'autres matériaux.

Composites	Rc [MPa]	Références
P ₀	55,08	présente étude
P ₈	45,34	présente étude
Gypse-bois de palmier dattier (1,2% masse)	8,2	Chikhi et al. 2013
Béton –fibre de palmier dattier (2% masse)	20	Kriker et al. 2005
Ciment-filler-sable-bois (10% masse)	10,6	Bederina et al. 2007b
Mortier – fibre de coco (10% masse)	7,96	Khedari et al. 2001

Tenant compte des récents travaux de (Bederina et al. 2007a; Bederina et al. 2007b; Chikhi et al. 2013; Khedari et al. 2001; Kriker et al. 2005) et conformément à la norme ASTM C 109/ C 109-95, le composite bois (à 8% en teneur) ciment, développé au cours de cette étude, pourra être utilisé dans le domaine de bâtiment, notamment au recouvrement des murs.

3.4.2. Contrainte de flexion

L'allure de la courbe de résistance en flexion est présentée dans la figure 6. Jusqu'à 8% de teneur en particules de bois de palmier dattier, nous observons une augmentation progressive de la résistance en flexion pour atteindre une valeur maximale de 9,04 MPa. Au-delà de cette valeur, la contrainte diminue rapidement.

A titre comparatif avec les résultats de la littérature, la résistance en flexion du composite (8%) est plus importante que celle rapportée par Sedan 2007 pour une teneur volumique de 16% de fibres de chanvre dans une matrice similaire. Cependant, elle est moins importante que celle rapportée par Savastano Jr et al. 2000 en utilisant des fibres de sisal, des coupeaux de bananier ou encore de l'eucalyptus également dans une matrice cimentaire. Les auteurs rapportent une résistance en flexion de l'ordre de 20MPa pour une teneur massique de 12%.

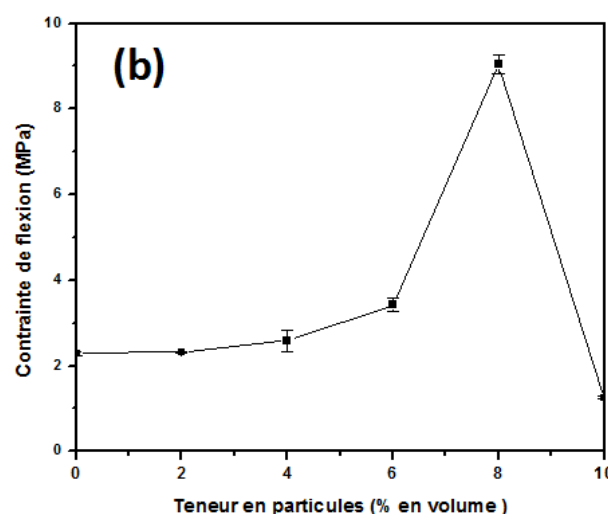
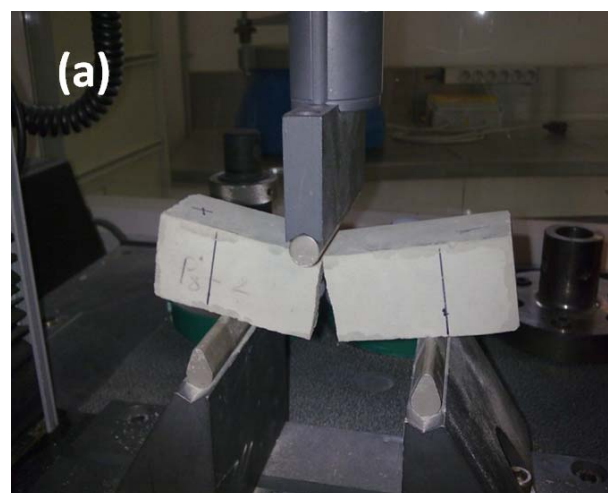


Fig. 6. a) Montage en flexion 3 points. b) Contrainte de flexion du composite bois de palmier dattier et ciment à 28 jours.

Dans le cas de la présente étude, le gain en propriétés mécaniques observé sur le composite bois (8%)-ciment est dû principalement à une bonne adhésion à l'interface particules de bois de palmier dattier ciment qui est traduit par un transfert de charge matrice - particules plus efficaces. Ceci confirme l'analyse et la discussion développées dans la partie essais de compression.

4. Conclusion

Dans ce travail expérimental, nous avons étudié la possibilité d'utiliser les déchets de bois de palmier dattier, le pétiole et le rachis, comme renfort dans une matrice cimentaire. De plus, nous avons mis en place une méthode de formulation des composites bois-ciment. La morphologie, les propriétés thermiques, physiques et mécaniques ont été étudiées sur des échantillons à différents teneurs volumiques en bois (0, 2, 4, 6, 8 et 10%).

De point de vue morphologique, il a été établi que le bois de palmier dattier contient deux types de fibres, de différents périmètres, dispersés dans une matrice constituée majoritairement d'hémicellulose et de lignine. Le premier type se présente comme des fibres denses, fibres porteuses de faibles périmètres, qui servent à soutenir la structure du pétiole et par conséquent la palme. Le deuxième type est d'une structure de base similaire au premier type. Ces fibres sont constituées, également d'un faisceau de fibrilles et de quelques lumens mais, de volume plus important, ce qui confère au bois de palmier dattier une masse volumique apparente très faible.

De point de vue caractérisation thermique, les valeurs obtenues sur les composites bois-ciment de 28 jours, notamment pour la teneur en particule de bois à 10 % qui correspond à 0,24 W/m.K, s'apparentent à celles des bétons légers conformément à la norme ASTM C109/C 109-95 et rapporté par (Neville 2000).

En parallèle, les essais de compression sur les composites bois-ciment à maturation ont révélés un comportement très particulier notamment pour les teneurs en particules 2, 4, 6 et 8%. Ce résultat n'adhère pas à ceux de la littérature où nous rapportons une diminution de la contrainte de compression en fonction de la teneur en particules de bois. Pour la présente étude, la diminution de la contrainte n'est significative qu'au-delà de la teneur de 8%. Ainsi, conformément à la norme ASTM C 109/ C 109-95, le composite bois (à 8% en teneur)-ciment, développé au cours de cette étude, pourra être utilisée dans le domaine de bâtiment, notamment, le recouvrement des murs.

Les essais de flexion ont confirmé l'analyse et la discussion développée dans la partie essais de compression. Ces essais ont montré un gain en propriétés mécaniques correspondant au composite bois (8%)-ciment dû principalement à une bonne adhésion à l'interface particules de bois de palmier dattier – ciment qui est traduit par un transfert de charge matrice – particules plus efficaces.

Outre les valeurs écologiques, l'épuisement des ressources fossiles et de gravissimes atteinte à la santé, l'Algérie doit

instaurer des mesures dans le domaine de l'isolation thermique des bâtiments afin de limiter la surconsommation énergétique des ménages en valorisant et développant des matériaux isolants de surcroît locaux à base des déchets ligno-cellulosiques.

References

- Abdel-Rahman, H.H., R.S. Al-Juruf, F. Ahmed & I. Alam (1988) Physical, mechanical and durability characteristics of date palm frond stalks as reinforcement in structural concrete. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete* 10(3) : 175-181.
- Agoudjil, B., A. Benchabane, A. Boudenne, L. Ibos & M. Fois (2011) Caractérisation thermophysique du bois de palmier dattier en vue de son utilisation en isolation thermique dans l'habitat, *Congrès Français de Thermique; Énergie solaire et thermique, Perpignan* 171-176.
- Agoudjil, B., A. Benchabane, A. Boudenne, L. Ibos & M. Fois (2011) Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood. *Energy and Buildings* 43(2): 491-497.
- Ahmed, F.A., R.S. Al-Juruf, H.H. Abdel-Rehman & I.A. Alam (1990) A homogeneous building material from date palm fronds. *Building and Environment* 25(2): 183-187.
- Al-Juruf, R., F. Ahmed, H. Abdel-Rahman & I. Alam (1990) Development of New Building Materials Using Date Palm Fronds. *Building and Environment* 25: 183-187.
- Al-Juruf, R., F. Ahmed, I. Alam & H. Abdel-Rahman (1988) Determination of the Thermal Conductivity of Date Palm Leaves. *Journal of Building Physics* 11(3): 152-157.
- Al-Juruf, R.S., F.A. Ahmed, I.A. Allam & H.H. Abdel-Rehman (1988) Development of heat insulation material using date palm leaves. *Journal of Thermal Insulation* 11(3): 158-164.
- Alawar, A., A.M. Hamed & K. Al-Kaabi (2009) Characterization of treated date palm tree fiber as composite reinforcement. *Composites Part B: Engineering Natural fiber composites* 40(7): 601-606.
- AlMaadeed, M.A., Z. Nogellova, M. Micusik, I. Novak & I. Krupa (2014) Mechanical, sorption and adhesive properties of composites based on low density polyethylene filled with date palm wood powder. *Materials & Design* 53: 29-37.
- Almi, K., A. Benchabane, S. Lakel, A. Kriker (2015) Potential utilization of date palm wood as composite reinforcement. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 34(15): 1231-1240.
- Almi, K., S. Lakel, A. Benchabane, A. Kriker (2015) Characterization of date palm wood used as composites reinforcement. *Acta Physica Polonica A* 127(4): 1072-1074.
- APRUE (2009) Consommation Énergétique Finale de l'Algérie, Chiffres clés année 2007. APRUE.
- ASTM C1437, 2007. standard test method for flow of hydraulic cement mortar.
- Bederina, M., L. Marmoret, K. Mezreb, M. Khenfer, A. Bali & M. Quéneudec (2007) Effect of the addition of wood shavings on thermal conductivity of sand concretes: experimental study and modelling. *Construction and Building Materials* 21(3): 662-668.
- Behzad, T. & M. Sain (2007) Measurement and prediction of thermal conductivity for hemp fiber reinforced composites. *Polymer Engineering & Science* 47(7): 977-983.
- Bentchikou, M., S. Hanini, K. Silhadi & A. Guidoum (2007) Elaboration et étude d'un mortier composite à matrice minérale et fibres cellulosiques: application à l'isolation thermique en bâtiment. *Canadian Journal of Civil Engineering* 34(1): 37-45.
- Besset, J. (1987) Bois et matériaux dérivés, *Techniques de l'Ingénieur*, C925 - C926 pp.

- Bledzki, J. Gassan (1999) Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science* 24(2): 221-274.
- Bouguerra, A., A.A.M.A. Amiri & M.B. Diop (2001) Measurement of thermal conductivity, thermal diffusivity and heat capacity of highly porous building materials using transient plane source technique. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 28(8): 1065-1078.
- Boukrouh, A. (2010) Algerian date 'Deglet Nour' to be labelled by Algerian authorities, Echorouk, Algiers, pp. p. 4.
- Chikhi, M., B. Agoudjil, A. Boudenne & A. Gherabli (2013) Experimental investigation of new biocomposite with low cost for thermal insulation. *Energy and Buildings* 66: 267-273.
- Coquard, R., D. Baillis & D. Quenard (2006) Experimental and theoretical study of the hot-wire method applied to low-density thermal insulators. *International journal of heat and mass transfer* 49(23-24): 4511-4524.
- Demirboga, R. (2003) Influence of mineral admixtures on thermal conductivity and compressive strength of mortar. *Energy and buildings* 35(2): 189-192.
- Espinoza Herrera, R. (2009) Panneaux en gypse et particules de bois renforcés avec du ciment Portland. Thèse de doctorat, Université de Laval, Canada.
- Hachmi, M.H. & A. Moslemi (1989) Correlation between wood-cement compatibility and wood extractives. *Forest products journal* 39(6): 55-58.
- Hofstrand, A.D., A.A. Moslemi & J.F. Garcia (1984) Curing characteristics of wood particles from nine northern rocky mountain species mixed with Portland cement. *Forest products journal* 34(2): 57-61.
- Iskanderani, F.I. (2008) Physical properties of particleboard panels manufactured from Phoenix dactylifera-L (date palm) mid-rib chips using ureaformaldehyde binder. *International Journal of polymeric materials and polymeric materials* 57(10): 979-995.
- Jebrane, M. (2009) Fonctionnalisation chimique du bois par transesterification des esters d'enol, thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, France, pp. 155.
- John, M.J. & S. Thomas (2008) Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate polymers* 71(3): 343-364.
- Kalaprasad, G., P. Pradeep, G. Mathew, C. Pavithran & S. Thomas (2000) Thermal conductivity and thermal diffusivity analyses of low-density polyethylene composites reinforced with sisal, glass and intimately mixed sisal/glass fibres. *Composites Science and Technology* 60(16): 2967-2977.
- Khedari, J., B. Suttisonk, N. Pratinthong & J. Hirunlabh (2001) New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity. *Cement and Concrete Composites* 23(1): 65-70.
- Kriker, A., A. Bali, G. Debicki, M. Bouziane & M. Chabannet (2008) Durability of date palm fibres and their use as reinforcement in hot dry climates. *Cement & Concrete Composites* 30(7): 639-648.
- Kriker, A., G. Debicki, A. Bali, M. Khenfer & M. Chabannet (2005) Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate. *Cement and Concrete Composites* 27(5): 554-564.
- Michaud, F., (2003) Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique: aptitude au postformage. université de Laval, Canada.
- Moslemi, A. & S.C. Pfister (1987) The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. *Wood and fiber science* 19: 165-175.
- Mounanga, P. (2003) Etude expérimentale du comportement de pâtes de ciment au très jeune âge: hydratation, retraits, propriétés thermophysiques. Nantes.
- Munier, P., 1973. *Le palmier-dattier*.
- Nasser, R.A. & H.A. Al-Mefarrej (2011) Midribs of Date Palm as a Raw Material for Wood-Cement Composite Industry in Saudi Arabia. *World Applied Sciences Journal* 15(12): 1651-1658.
- Navi, P. & F. Heger (2005) Comportement thermo-hydrromécanique du bois: applications technologiques et dans les structures. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, France.
- Neville, A.M. (2000) *Propriétés des bétons*. Eyrolles, 806 pp.
- Paul, S.A., A. Boudenne, L. Ibos, Y. Candau, K. Joseph & S. Thomas (2008) Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber/polypropylene commingled composite materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 39(9): 1582-1588.
- Roumadi, M. (2014) L'inévitable hausse des prix de l'énergie, El Watan. Alger.
- Savastano Jr, H., P.G. Warden & R.S.P. Coutts (2000) Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites. *Cement and Concrete Composites* 22(5): 379-384.
- Sedan, D. (2007) Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences et Techniques. Université de Limoges, France 137.
- Sedan, D., C. Pagnoux, A. Smith & T. Chotard (2007) Interaction fibre de chanvre/ciment: influence sur les propriétés mécaniques du composite. *Matériaux & Techniques* 95(2): 133-142.
- Thiebaud, S. (1995) Valorisation chimique des composés lignocellulosiques; obtention de nouveaux matériaux. Thèse, Institut National Polytechnique, Toulouse, France.
- Touloum, F., A. Benchabane & A. Kaci (2012) Valorisation des fibres naturelles de renfort pour matériaux composites., Huitièmes Journées de Mécanique, Ecole Militaire Polytechnique, Alger.