

Effet de la nature des fibres végétales sur les performances mécaniques et les propriétés de transfert des mortiers à base de metakaolin

A.Belkadi^{1,2}, S.Aggoun², C.Amouri³, A.Geuttala¹

¹ Département de génie civil et hydraulique, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie

² L2MGC, Université de Cergy-Pontoise, F9500 Cergy-Pontoise, France

³ Département de génie civil, Université Montouri, Constantine, Algérie.

RÉSUMÉ. Ces dernières années, l'utilisation des fibres végétales suscite un regain d'intérêt. En effet, ces fibres peuvent représenter une alternative aux fibres traditionnelles utilisées dans les matériaux de construction, telles que les fibres polypropylènes. Le développement durable exige des matériaux respectueux de l'environnement donc des matériaux naturels. En ce sens, les fibres végétales utilisées comme renfort pour les matériaux cimentaires constituent une option très intéressante pour l'industrie de la construction.

Ainsi, cet article examine les performances mécaniques (résistance à la flexion) et les propriétés de transfert (conductivité thermique) des mortiers cimentaires renforcés par des fibres végétales. Les fibres végétales utilisées dans ce travail (Dis, Alfa, Palmier dattier et Chanvre) ont été préalablement traitées avec de l'hydroxyde de calcium.

Les résultats obtenus par ce travail montrent que les mortiers renforcés de fibres végétales présentent une meilleure capacité de déformation que le mortier témoin sans fibres. En outre, la meilleure résistance à la flexion a été enregistrée pour les mortiers de chanvre et du palmier dattier. Concernant la conductivité thermique des mortiers fibrés, elle a été réduite d'environ 15% bien que le taux des fibres introduit est relativement faible (0,1%).

Ces résultats laissent présager d'un avenir prometteur pour l'utilisation des fibres végétales dans les matériaux cimentaires.

ABSTRACT. The use of vegetable fibers has regained interest in different fields. In fact, fibers may represent an alternative to traditional fibers incorporated in building materials, such as polypropylene fibers. Sustainable development requires the adoption of ecofriendly and natural materials. In this approach, using vegetable fibers as reinforcement for cementitious materials represents an interesting option for concrete industry.

Thus, this article studies mechanical performances and transfer properties of cementitious mortars reinforced with vegetable fibers. The used fibers were Dis (DS), Alfa (AF), Date palm (DP) and Hemp (HE). They were subjected to prior treatment with calcium hydroxide.

The results show that reinforced mortars with vegetable fibers represent a better deformation capacity than the control mortar without fibers; the best bending strength was recorded for hemp and date palm mortars; the addition of vegetable fibers leads to thermal conductivity decrease by 15% for a content of 0.1%.

MOTS-CLÉS : Fibres végétales, conductivité thermique, résistance à la flexion.

KEY WORDS: Vegetable fibers, thermal conductivity, flexure strength.

1. Introduction

En générale, l'introduction de fibres, qu'elles soient métalliques ou synthétiques, dans les matériaux cimentaires améliorent leurs performances : limitation des propagations de fissures, amélioration des résistances mécaniques (traction et flexion), amélioration de la ténacité du matériau durci [Ali 13] etc,... Néanmoins le prix de revient de ces fibres est élevé et leur fabrication dégage du CO₂ et utilise des ressources non renouvelables [Denzin 10]. Ainsi, les recherches actuelles s'orientent vers, la possibilité de les remplacer par des fibres naturelles [Wei 15]. Les fibres végétales sont biodégradables et renouvelables [Di Bella 14]. Dans certains pays, elles peuvent même être issues de la valorisation de ressources locales. Ces fibres végétales peuvent permettre d'atteindre des propriétés mécaniques intéressantes, tout en réduisant de façon significative le coût de revient du composite cimentaire [Denzin 10].

Le phénomène de la minéralisation des fibres végétales dans un milieu alcalin est considéré comme l'obstacle principal à l'utilisation de ces fibres dans les matériaux cimentaires ;[Wei 15]. Wei J et al [Wei 15] ont montré que le remplacement partiel du ciment par un ajout pozzoulanique (metakaolin, fumé de silice, cendre volante) transforme l'hydroxyde de calcium (responsable du degré d'alcalinité) en CSH, par conséquent, le PH du matériau baisse considérablement. Ainsi la durabilité des fibres végétales, dans les pâtes de ciment est améliorée. Ces résultats ont été confirmés par plusieurs auteurs;[Wei 15] [Yan 16] [Denzin 10].

A court et moyen terme, l'incorporation des fibres végétales permet d'améliorer le comportement en flexion (ténacité) et la résistance aux chocs du matériau [Ahmed 13]. Ahmed Sabry [Ahmed 13] a montré une amélioration des résistances en compression et en traction par fendage du béton respectivement de 8,3 % et 17,6 % avec l'introduction de 2 kg/m³ de fibre de lin. Elie Awwada et al [Awwad 12] ont obtenu une augmentation de la résistance en flexion de 15-30 % pour des mélanges cimentaires contenant 0.5% de fibre de chanvre.

La conductivité thermique d'un matériau de construction est un critère essentiel pour le confort thermique dans le bâtiment. Agoudjil et al [Agoudjil 11] ont montré que l'utilisation du bois de palmier dattier dans les mortiers est efficace pour fabriquer un matériau écologique et isolant. Pinto et al [Pinto 11] ont révélé que l'introduction des épis de maïs est bénéfique pour les propriétés thermiques des constructions. Ainsi, la propriété d'isolation des fibres végétales devient, donc un paramètre intéressant pour un matériau destiné à un bâtiment eco-énergétiques.

Ainsi, l'objectif principal du présent travail est d'étudier l'effet de quatre types de fibres végétales sur les performances mécaniques et les propriétés de transfère des mortiers cimentaires contenant une addition pouzzolanique (metakaolin).

2. Matériaux et Méthodes

Pour la réalisation de ce travail nous avons utilisé un ciment Portland CEMI 52.5 et un metakaolin 1200S. Deux natures de fibres sont utilisées : végétales (Dis, Alfa, Palmier-dattier et chanvre) et synthétiques (polypropylène). Le sable utilisé est un sable silico-calcaire de classe 0/3 avec une densité de 2680 kg/m³. Un super-plastifiant du type Glenium 27 à base de polycarboxilique éther a été également utilisé. Les quatre fibres végétales ont été utilisées avec une longueur d'environ 1,5 cm. Pour améliorer leur adhérence, toutes les fibres végétales ont été mises dans une solution d'hydroxyde de calcium (à 0,73% de concentration) pendant une heure à une température de 20°C. Elles étaient, ensuite séchées dans une étude ventilée à 45°C. Sur le tableau 1, sont présentées les caractéristiques des différentes fibres végétales traitées. La fibre polypropylène a été utilisée avec une longueur de 1,2 cm.

Tableau 1. Les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques des fibres végétales et polypropylène.

Fibre nature	Alfa	Dis	Palmier dattier	Polypropylene	Chanvre
Densité absolue (Kg/m ³)	1400	1230	1383,3	900	1580
Résistance à la traction (MPa)	248,49	173,53	375,33	450	619,25
Déformation maximale (mm)	0,705	0,433	1,178	/	0,682
Absorption d'eau (%)	100	90- 88,09	132.5	/	158
Diamètre (µm)	883,07	900-2480	204,89-450	24,5	110µm
Longueur (cm)	1,5	1,5	1,5	1,2	1,5

2.1. Composition des différents mélanges

Au total, six compositions de mortiers ont été fabriquées (tableau 2) avec un même dosage en fibre. Ce dernier est de 0,1% par rapport au volume total de chaque mortier. Ce dosage est considéré optimal pour obtenir de bonnes caractéristiques physiques et mécaniques.

Tableau 2. Compositions des mortiers étudiés.

Quantité (kg/m ³)	MT	MPP	MAF	MDS	MPD	MCV
Ciment	315	315	315	315	315	315
Métakaolin	135	135	135	135	135	135
Sable	1350	1350	1350	1350	1350	1350
Eau	250	250	250	250	250	250
Superplastifiant	6	6	6	6	6	6
Fibre	/	0,91	1,4	1,2	1,25	1,35

MT : mortier témoin (sans fibre), MPP : mortier avec des fibres de polypropylène, MAF : mortier avec des fibres d'alfa, MDS : mortier avec des fibres de Dis, MPD : mortier avec des fibres de palmier dattier, MCV : mortier avec des fibres de chanvre.

2.2. Préparation des échantillons et méthodes d'essai

Des éprouvettes de mortier de dimension 4x4x16 cm³ ont été démoulées 24 h après leur fabrication et ensuite conservées dans l'eau à 20°C±1°C. Les échéances des mesures mécaniques (résistance à la flexion) pour tous les mortiers sont 7 et 28 jours. La conductivité thermique des différents mortiers a été mesurée à l'aide d'un conductimètre du type HOT DISK TPS 1500 à 28 jours d'âge.

3. Résultats et discussions

3.1. Courbes contrainte-déformation

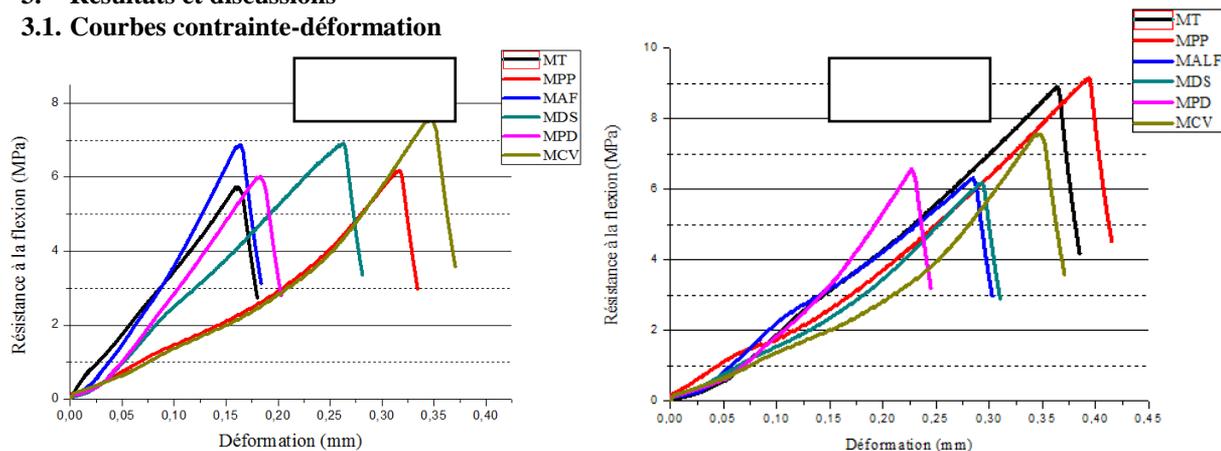


Figure 1. Courbes contrainte-déformation.

La figure 1 représente les résultats des essais de flexion 3 points sur des éprouvettes 4x4x16 cm³. Nous pouvons constater, à partir des courbes de cette figure que les mortiers avec les fibres végétales en particulier les MPD et MCV présentent une meilleure résistance à la déformation que les mortiers sans fibre. A 7 jours la résistance en flexion des mortiers fibrés est plus élevée que celle des MT d'environ de 12 %. Ceci est dû à la bonne résistance à la traction des fibres végétales. De plus, le traitement à l'hydroxyde de calcium subit par les fibres leur confère une bonne adhérence à la matrice cimentaire. Elie Awada et al [Awwad 2012] ont montré une augmentation de la résistance en flexion de 15-30 % pour les mélanges avec 0.5% de fibre de chanvre. À 28 jours, on constate une augmentation de la résistance en flexion pour tous les mortiers. Néanmoins, celle des MDS et MAF est légèrement moins importante que celle des MT. Ceci est probablement dû au diamètre de ces fibres qui est plus grand que les autres, provoquant des microfissures à l'intérieur du matériau. Ainsi, on dit que le traitement chimique avec de l'hydroxyde de calcium et l'addition de 30% de metakaolin sont bénéfiques pour la durabilité des fibres dans les matériaux cimentaires.

3.2. Propriétés de transfère

L'objectif, ici est d'évaluer la possibilité d'utiliser les fibres végétales dans matériaux cimentaire afin d'améliorer leur isolation thermique dans les constructions. La figure 2 montre l'évolution de la conductivité thermique en fonction de la nature des fibres.

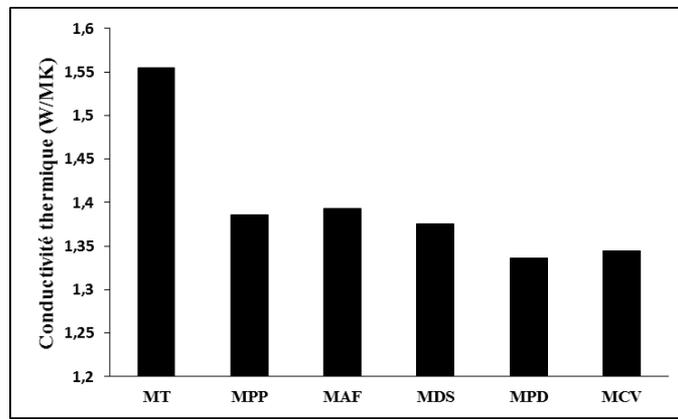


Figure 2. Conductivité thermique de différents mortiers utilisés.

Ainsi, nous constatons (figure 2) que l'ajout des fibres végétales ou synthétiques dans les mortiers diminue la conductivité thermique. Malgré le faible dosage des fibres ajoutées, on remarque une réduction de cette conductivité d'environ de 15%. Cette diminution est attendue vu la faible conductivité thermique des fibres par rapport à celle de la matrice cimentaire [Mo 17]. De plus, l'incorporation des fibres dans le composite tend à générer une porosité supplémentaire dans la matrice, par conséquent la densité est diminuée. En générale la conductivité thermique des mortiers cimentaires est comprise entre 2 et 2,5W/mK. Or, les valeurs obtenues dans cette étude varient entre 1,3 et 1,5 W/mK. Selon Kim Hung Mo et al [Mo 17] les mortiers qui contiennent un pourcentage élevé de metakaolin présentent plus de vides à cause de la réaction pouzzolanique tardive.

Tous nos mélanges à base de fibres présentent des valeurs quasiment similaires. Ainsi, On peut conclure que la nature des fibres n'a pas beaucoup d'influence sur la conductivité thermique.

4. Conclusion

Les résultats obtenus par cette étude, nous ont permis d'avancer que:

- Les fibres végétales présentent une résistance à la traction élevée comprise entre 173 MPa et 619 MPa et une déformation maximale entre 0.433 et 1.178 mm. Ces caractéristiques ont un effet bénéfique sur le comportement en flexion des matériaux cimentaires et leur capacité à la déformation.
- Quelques soit la nature des fibres, celles-ci diminuent d'environ 15% la conductivité thermique des mortiers cimentaires. Cela on peut conclure que l'incorporation des fibres dans le composite tend à générer une porosité supplémentaire dans la matrice.

5. Bibliographie

- [Agoudjil 11] Agoudjil, B., Benchabane, A., Boudenne, A., Ibos, L., & Fois, M. Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood. *Energy and buildings*, 43(2-3), 491-497, 2011.
- [Ahmed 13] Ahmed, S. A. Properties and mesostructural characteristics of linen fiber reinforced self-compacting concrete in slender columns. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(2), 155-161, 2013.
- [Ali 13] Ali, M., Li, X., & Chouw, N. Experimental investigations on bond strength between coconut fibre and concrete. *Materials & Design*, 44, 596-605, 2013.
- [Awwad 12] Awwad, E., Mabsout, M., Hamad, B., Farran, M. T., & Khatib, H. (2012). Studies on fiber-reinforced concrete using industrial hemp fibers. *Construction and Building Materials*, 35, 710-717, 2012.
- [Denzin 10] Denzin Tonoli, G. H., de Souza Almeida, A. E. F., Pereira-da-Silva, M. A., Bassa, A., Oyakawa, D., & Savastano, H. Surface properties of eucalyptus pulp fibres as reinforcement of cement-based composites. *Holzforchung*, 64(5), 595-60, 2010.
- [Di Bella 14] Di Bella, G., Fiore, V., Galtieri, G., Borsellino, C., & Valenza, A. Effects of natural fibres reinforcement in lime plasters (kenaf and sisal vs. Polypropylene). *Construction and Building Materials*, 58, 159-165, 2014.
- [Mo 17] Mo, K. H., Bong, C. S., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., & Yap, S. P. Thermal conductivity, compressive and residual strength evaluation of polymer fibre-reinforced high volume palm oil fuel ash blended mortar. *Construction and Building Materials*, 130, 113-121, 2017.
- [Pinto 11] Pinto, J., Paiva, A., Varum, H., Costa, A., Cruz, D., Pereira, A., & Agarwal, J. Corn's cob as a potential ecological thermal insulation material. *Energy and buildings*, 43(8), 1985-1990, 2011.
- [Wei 15] Wei, J., & Meyer, C. Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites. *Cement and Concrete research*, 73, 1-16, 2015