
Formulation d'un composite cimentaire incorporant des fibres d'Alfa : Influence de la longueur et du taux de fibres

Soukaina Ajouguim^{1,2}, Jonathan Page¹, Chafika Djelal¹, Mohamed Waqif², Latifa Saâdi²

¹ Univ. Artois, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE), EA 4515, 62408, Béthune, France

² Univ. Cadi Ayyad, Laboratoire de Matière Condensée et Nanostructures (LMCN), 40000, Marrakech, Morocco

RÉSUMÉ. Ce travail a pour objectif d'étudier les paramètres de formulation pour l'élaboration d'un mortier cimentaire renforcé par la fibre d'Alfa. Une campagne expérimentale a été réalisée en faisant varier le taux d'ajout des fibres d'Alfa (1, 2 et 3 % en volume) et la longueur des fibres (10, 20 et 30mm). Pour chaque formulation, l'étalement à la table à choc et la masse volumique à l'état frais sont mesurés. Des essais mécaniques ont été également effectués sur les éprouvettes après 7 jours de durcissement. Les essais à l'état frais ont montré que la maniabilité du mortier diminue légèrement avec l'augmentation de la longueur et le taux d'ajout des fibres. Cependant, ces paramètres n'ont pas un effet significatif sur la masse volumique à l'état frais du mortier fibré. Les essais à l'état durci ont montré que l'addition des fibres d'Alfa entraîne une diminution des propriétés mécaniques, qui s'avère d'autant plus importante lorsque la longueur et le taux d'ajout des fibres d'Alfa augmentent. Par ailleurs, après observations des éprouvettes suite aux essais de flexion, un glissement des fibres d'Alfa dans la matrice cimentaire a été observé, ce qui indique une mauvaise adhésion entre ces deux éléments.

ABSTRACT. The aim of this work is to study the mix design of Alfa fiber-reinforced cementitious mortars. The Alfa fibers were added to cement mortar at different lengths (10, 20, and 30mm) with three addition ratios (1, 2, and 3 vol.%). The workability and density were measured on fresh fiber-reinforced mortar and mechanical tests were performed after 7 days of curing. Fresh state characterizations show that the mortar workability slightly decrease when the fiber length and addition ratio increase. However, these parameters does not have a significant influence on the mortar density. The mechanical test exhibit that Alfa fibers addition leads to a decrease of the mechanical strengths, this reduction was more pronounced with the increase of Alfa fiber length and addition ratio. Furthermore, after observations of specimens from flexural tests, a sliding of the Alfa fiber from the cementitious matrix was noted, which indicates a poor fiber/matrix adhesion.

MOTS-CLÉS : Mortier fibré, Fibres d'Alfa, Valorisation, Renfort, Maniabilité, Résistance mécanique.

KEY WORDS: Fiber-reinforced mortar, Alfa fiber, Valorization, Reinforcement, Workability, Mechanical strength.

1. Introduction

La plante d'Alfa est une graminée très répandue au Maghreb. Elle pousse spontanément dans les milieux aride ou semi-aride, et couvre une superficie estimée à 4 000 000 ha en Algérie, 3 186 000 ha au Maroc, 600 000 ha en Tunisie, 350 000 ha en Lybie et 300 000 ha en Espagne [AJO 18]. Cette plante présente un intérêt écologique et sociaux-économiques dans les pays du Maghreb. Elle joue d'une part un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre pastoral, et présente d'autre part un revenu pour les populations vivants proches de ces nappes alfatières. Les utilisations sont diverses : artisanale (fabrication de cordages), pâturage (réserve pour le bétail), combustible (usage énergétique), papeterie (production de papier de haute qualité) et composite (renfort des matrices à base de polymères) [DAL 12]. Un nombre important de travaux de recherche ont été menés pour la valorisation de la plante d'Alfa, dans le but de trouver de nouveaux débouchés pour cette plante à faible coût de production. L'incorporation de la plante dans des matériaux de construction permet d'obtenir un matériau plus respectueux de l'environnement, avec de bonnes propriétés thermiques et mécaniques [ELH 15, KRO 18]. Cependant l'utilisation de cette plante dans le domaine de la construction est récente, et de nombreuses études restent encore à mener afin de mieux comprendre le comportement de cette plante dans les mélanges cimentaires.

L'objectif principal de ce travail est de déterminer la longueur et le taux d'ajout des fibres d'Alfa permettant d'obtenir un mortier fibré avec des propriétés mécaniques élevées tout en conservant une maniabilité correcte. Pour ce faire des formulations de mortier ont été élaborées avec différentes longueurs de la fibre (10, 20 et 30mm) pour des fractions volumiques de 1, 2 et 3%. Après l'élaboration des différents mortiers, des caractérisations à l'état frais (maniabilité et masse volumique) ont été réalisées. Puis, le comportement mécanique des mortiers fibrés a été étudié à travers des essais de flexion et de compression.

2. Matériaux

2.1. Les fibres d'Alfa

La plante d'Alfa (*Stipa tenacissima* L) utilisée a été récoltée dans la région Nord-Est du Maroc (à proximité de la ville d'Oujda). Cette plante a une hauteur allant jusqu'à 1 m avec un diamètre de l'ordre de 1 à 2 mm et une masse volumique absolue de $1,40 \text{ g/cm}^3$. Elle se compose essentiellement de 39,53% de cellulose, 27,63% de l'hémicellulose et de 19,53% de lignine [AJO 18]. Les longueurs choisies sont 10, 20 et 30 mm obtenues suite à une découpe manuelle puis les fibres sont séchées dans une étuve à 60°C afin d'éliminer toutes traces d'humidité.



Figure 1. Fibre d'Alfa à différentes coupes

2.2. Préparation du mortier fibré

Le mortier élaboré est un mélange contenant du sable siliceux de granulométrie 0/1 mm, du ciment CEM III/B 42,5N, du filler calcaire et des fibres d'Alfa. Un superplastifiant et un viscosant ont été incorporés au mélange pour respectivement, assurer une meilleure ouvrabilité du mortier et pour éviter toute ségrégation. L'introduction des fibres d'Alfa dans les formulations a été faite par addition volumique selon trois fractions volumiques (1, 2 et 3%) pour chaque longueur.

La dénomination optée pour les éprouvettes préparées est : $M(F_X)_Y$: Mortier incorporant Y% de fibres d'Alfa de longueur X mm. Le Tableau 1 présente les différents constituants du mortier témoin (M_T) élaboré avec un $E/C=0,35$ et $S/C=1$, ces rapports découlent d'une campagne expérimentale antérieure à ce travail.

Tableau 1. Composition du mortier cimentaire

Composants	Ciment CEM III	Sable 0/1	Calcaire (filler)	Superplastifiant	Agent de viscosité
Quantité en (g)	900	900	225	9	4,5

3. Résultats et discussion

3.1. Propriétés du mortier fibré à l'état frais: Maniabilité et masse volumique

La maniabilité des différentes formulations élaborées a été mesurée par la table à secousses selon la norme EN-1015-3. L'essai consiste à mesurer le diamètre d'étalement du mortier à l'aide d'un moule tronconique posé sur le plateau de la table puis, le mélange est soumis à 15 secousses. Le diamètre d'étalement est la valeur moyenne de deux mesures prélevées dans deux directions perpendiculaires. Les diamètres mesurés sont donnés dans le Tableau 2. L'analyse des valeurs montre que l'introduction des fibres d'Alfa de longueur de 10 et 20 mm entraîne une légère diminution de l'étalement dans le cas des mortiers contenant 1 et 2 vol.% de fibres comparativement au mortier témoin M_T , qui a un étalement de 22,7 cm.

Les mélanges contenant 3 vol.% de fibres d'Alfa montre une diminution de l'étalement du mortier de l'ordre de 6% pour les $M(F_{10})_3$ et $M(F_{20})_3$ et de 15 % pour le $M(F_{30})_3$. En effet, la longueur des fibres entraîne la formation d'agglomérats, ce qui influence fortement la fluidité des mortiers fibrés (Figure 2).

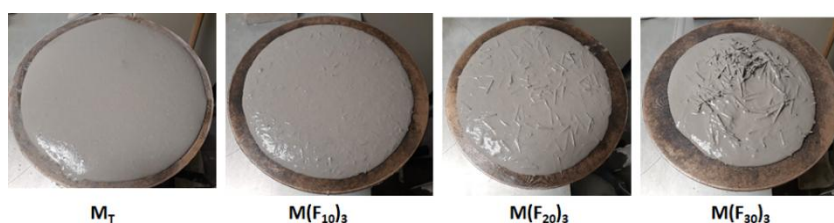


Figure 2. Etalement à la table à secousse du mortier témoin et mortier contenant 3 vol.% de la fibre d'Alfa

Tableau 2. Résultats de l'essai d'étalement (cm) et la masse volumique (g/cm^3)

Echantillons	M_T	$M(F_{10})$			$M(F_{20})$			$M(F_{30})$		
Taux d'ajout (vol.%)	0	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Etalement (cm)	22,75	22	21,8	21,4	22,75	22,15	21,45	23,9	22,35	19,3
Masse volumique (g/cm^3)	2,289	2,284	2,230	2,243	2,284	2,236	2,248	2,298	2,292	2,245

Les résultats de la masse volumique à l'état frais des différents mortiers sont présentés dans le Tableau 2. Les masses volumiques des mortiers fibrés sont comprises entre 2,29 et 2,24 g/cm^3 , soit des valeurs relativement proches de celle du mortier témoin qui est de l'ordre de 2,29 g/cm^3 . L'introduction des fibres d'Alfa dans les mélanges, ne conduit pas à des changements significatifs de la masse volumique des mortiers fibrés.

3.2. Propriétés du mortier fibré à l'état durci: Résistances mécaniques

Des éprouvettes 40x40x160 mm ont été fabriqués, puis conservées pendant 7 jours dans une chambre humide ($T = 20 \pm 2^\circ C$, humidité relative $> 90\%$). Elles ont été soumises à une flexion puis à une compression selon la norme EN-1015-11. La Figure 3 présente les valeurs de contraintes mesurées en fonction de la longueur des fibres pour les différents mortiers étudiés. Le mortier témoin M_T , a une résistance à la compression de 64,1 MPa et une résistance à la flexion de 8,33 MPa. En comparaison avec le M_T on note que l'introduction des fibres d'Alfa dans le mortier réduit les résistances mécaniques. En effet, le $M(F_{10})_1$ a une résistance à la compression de 52,5 MPa, soit une diminution de 11% par rapport au M_T . On observe également, une diminution de la résistance à la flexion de ce même mortier de 6%. Un comportement similaire a été noté pour les différentes formulations. On peut en conclure que l'augmentation de la fraction volumique des fibres d'Alfa dans le mélange entraîne une diminution des résistances à la compression et la flexion du mortier fibré.

Il a également été constaté que la longueur des fibres influence significativement les propriétés mécaniques des différents mélanges, en particulier pour le mortier $M(F_{30})_3$. Par rapport au mortier M_T , la diminution de la résistance à la compression est de 82% environ et de 70% pour la résistance à la flexion. Cette réduction importante des résistances mécaniques pourrait être liée à la distribution aléatoire des fibres dans le mélange, qui s'accroît avec l'augmentation du taux d'ajout et la longueur des fibres. Ces résultats sont en concordance avec

les travaux de [NDO 15], qui a montré que l'incorporation des fibres de peuplier réduit considérablement les résistances mécaniques d'un mortier cimentaire.

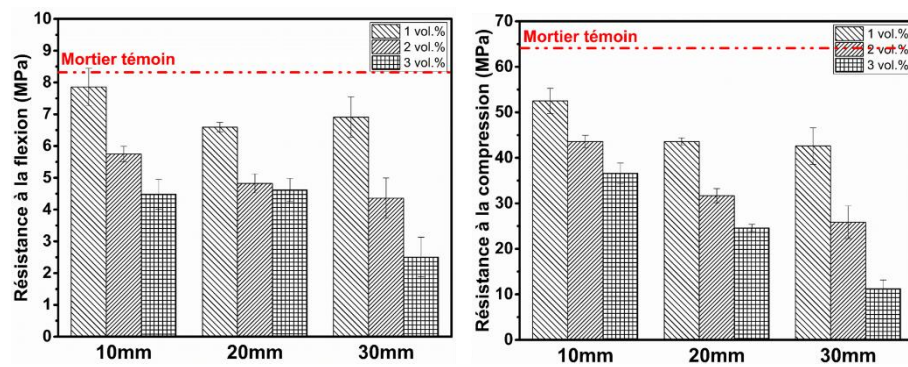


Figure 3. Résultats des essais de compression et flexion réalisés sur le MT et les MF

La Figure 4 montre le mode de rupture des éprouvettes de mortier après les essais de flexion. On note que le mortier M_T présente une rupture fragile. Par ailleurs, un glissement des fibres dans la matrice cimentaire a été observé sur les échantillons après rupture, ce qui témoigne d'une mauvaise adhérence à l'interface entre les fibres d'Alfa et la matrice. Ces problèmes d'adhérence et ce mode de rupture ont également été soulignés dans une étude traitant de composites cimentaires renforcés de fibres d'eucalyptus (obtenus à partir de pulpes) [ALM 13].

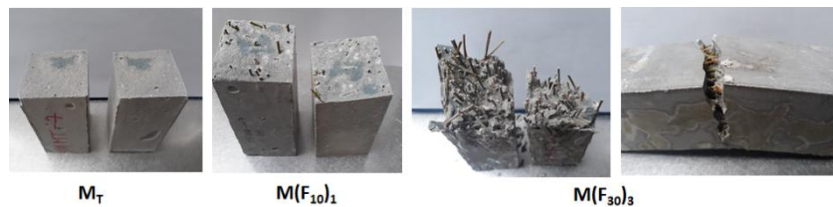


Figure 4. Mode de rupture du mortier témoin et fibrés

4. Conclusion

L'objectif de ce travail est d'étudier les propriétés à l'état frais et à l'état durci d'un mortier renforcé avec des fibres d'alfa de longueurs différentes pour différents taux de volume. Les résultats des tests permettent de conclure que :

- La maniabilité du mortier fibré est proche à celle du mortier témoin. Une diminution est observée au-delà de 20 mm de longueur et 2 vol.% de fibres d'Alfa.
- L'ajout des fibres d'Alfa n'influence pas significativement la masse volumique à l'état frais.
- Plus la longueur et le taux d'ajout des fibres d'Alfa augmentent, plus les résistances mécaniques diminuent.
- Le $M(F_{10})_1$ semble être la meilleure formulation du point de vue résistances mécaniques, tout en conservant une ouvrabilité satisfaisante.

Compte tenu des résultats obtenus, il apparaît nécessaire d'étudier les propriétés d'adhérence des fibres d'Alfa avec le mortier de ciment. Des traitements de surface des fibres d'Alfa sont envisagés avant leur incorporation dans la matrice cimentaire.

5. Bibliographie

- [AJO 18] Ajouguim S., Abdelouahdi K., Waqif M., Stefanidou M., Saâdi L., « Modifications of Alfa fibers by alkali and hydrothermal treatment », *Cellulose*, vol. 9, 2018.
- [ALM 13] Almeida A., Tonoli G., Santos S., Savastano H., « Improved durability of vegetable fiber reinforced cement composite subject to accelerated carbonation at early age », *Cement & Concrete Composites*, vol. 42, 2013, pp. 49–58
- [DAL 12] Dallel M., Evaluation du potentiel textile des fibres d'Alfa (*Stipa Tenacissima L.*) : Caractérisation physico-chimique de la fibre au fil, Thèse de doctorat, Université de Haute Alsace, 2012.
- [ELH 15] Elhamdouni Y., Khabbazi A., Benayad C., Dadi A., et al., « Effect of Fiber Alfa on Thermophysical Characteristics of a Material based on Clay », *Energy Procedia*, vol. 74, 2015, pp. 718–727.

[KRO 18] Krobba B., Bouhicha M., Kenai S., Courard L., « Formulation of low-cost eco-repair mortar based on dune sand and *Stipa tenacissima* microfibers plant », *Construction and Building Materials*, vol. 171, 2018, pp. 950–959.

[NDO 15] NDONG JG., Développement de matériaux cimentaires à base de sous-produits bois - Mise en forme par extrusion et vibrocompactage, Thèse de doctorat, Université d'Artois, 2015.