

Effet de l'incorporation des fibres d'Alfa sur le comportement des bétons autoplaçants

Ali-Boucetta Tahar¹, Tioua Tahar^{1,3}, Behim Mourad¹, Kriker Abdelouahed³, Belebchouche Cherif³,
Laifa Walid¹

¹ Laboratoire Matériaux, Géo – Matériaux et Environnement, Université Badji Mokhtar – Annaba, BP 12, 23000 Annaba – Algérie.

² Laboratoire Exploitation et Valorisation des Ressources Naturelles en zones arides, Université Kasdi Merbah – Ouargla BP 511 Ouargla, Algérie.

³ Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions LMDC, Université des frères Mentouri Constantine 1, 25000 Constantine, Algérie.

RÉSUMÉ — Dans une stratégie de substitution des ressources non renouvelables par des ressources naturelles, renouvelables et à faible impact économique et écologique, les composites cimentaires à base de fibres végétales suscitent un intérêt croissant dans le monde. Quelques chercheurs ont utilisé les fibres végétales comme renforts dans du béton ordinaire, mortier et des matrices argileuses ou à base de plâtre. Par contre, les travaux concernant l'utilisation de fibre végétale dans les bétons autoplaçants (BAP) sont récents et limités. Une question reste souvent posée : les BAP renforcés par des fibres végétales sont-ils aussi autoplaçant et résistant que ceux renforcés par des fibres synthétiques ? Il s'agit dans ce travail de comparer un BAP de référence avec fibre de polypropylène à un BAP avec fibres végétales d'Alfa. Les résultats obtenus montrent que les fibres végétales influencent légèrement les caractéristiques des BAP à l'état frais. Cependant, le comportement mécanique des BAP renforcés par des fibres végétales présentent un aspect comparable à celui des BAP avec des fibres de polypropylène.

Mots clés: BAP, fibres végétale, alfa, Polypropylène.

1.Introduction

Le renforcement des matériaux cimentaires par les fibres végétales est relativement nouveau par rapport à celui des fibres synthétiques ou d'acier. En effet, ce procédé peut avoir un avenir prometteur dû aux multiples avantages qu'il présente : renouvelables, économiques et écologiques dans le sens où ces fibres ne génèrent pas des émissions de CO₂ et de faible coût d'énergie pour leurs fabrications. De plus, l'utilisation de matières premières renouvelables, comme les fibres végétales, apporte une réponse au problème d'épuisement des ressources naturelles. Parmi les fibres susceptibles d'être utilisées citons celles d'Alfa. C'est une plante permanente (voir Fig. 1) qui ne disparaît pas pendant les quatre saisons, qui pousse indépendamment formant des nappes et



Fig. 1 Touffes d'Alfa de la région d'El-Oued

n'a en effet pas besoin d'insecticides ni de pesticides nuisibles à l'environnement et elle consomme très peu d'eau. L'Algérie est parmi les pays, qui disposent d'extraordinaires ressources en fibres végétales d'Alfa dont la superficie est de 4.000.000 ha [1].

L'emploi des fibres végétales dans les bétons pourrait constituer une alternative intéressante par rapport aux fibres synthétiques. Le fibrage des bétons permet de leur conférer une meilleure résistance à la propagation des fissures et d'augmenter leur résistance

Corresponding author: ALI-BOUCETTA Tahar
Research field: Matériaux Innovants et Durabilité
Adress. Annaba BP 12, 23000 Algérie
E-mail: thr_aboucetta@ymail.com

mécanique [2-3]. Cependant, l'emploi des fibres dans les BAP sont récentes [4]. Le risque de ressuage des BAP les rend plus vulnérables aux effets du retrait.

Nous proposons à travers ce papier une évaluation de l'introduction des fibres végétales d'Alfa, dans les BAP à l'état frais et durci et ainsi, les comparer à des BAP renforcés par des fibres de polypropylène.

II. Matériaux et méthodes expérimentales

II.1. Matériaux

Le filler calcaire est composé essentiellement de carbonate de calcium ($\text{CaCO}_3 > 80\%$). Il est obtenu par broyage de pierres calcaires récupérées des stations de concassage des granulats pour béton, suivit d'un broyage fin dans un broyeur à boulets pour obtenir une poudre de finesse SSB supérieure à $5000 \text{ cm}^2/\text{g}$. Les caractéristiques physiques des fillers calcaires sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques physiques des fillers

Désignations	valeurs	Unités
Densité apparente	858	(kg/m^3)
Densité absolue	2450	(kg/m^3)
Refus au tamis 40μ	23,28	(%)
Surface Spécifique Blaine	9918	(cm^2/g)

Un CEM II/A 42.5, avec une SSB de $3200 \text{ cm}^2/\text{g}$, une densité absolue de $3060 \text{ kg}/\text{m}^3$ et une densité apparente de $1013 \text{ kg}/\text{m}^3$, est utilisé pour tous les mélanges du béton.

Au cours de cette étude, nous avons utilisé quatre fractions granulaires, de même nature à l'exception du sable alluvionnaire. Les principales caractéristiques des granulats sont données dans les tableaux 2 et 3.

Tableau 2. Caractéristiques des sables

Caractéristiques	Unités	Sable roulé	Sable concassé
Densité apparente	(kg/m^3)	1380	1425
Densité absolue	(kg/m^3)	2670	2650
Module de finesse	-	2,01	2,69
Equivalent de sable	(%)	80,62	90,56
d/D	-	0/3	0/4

L'adjuvant employé est un superplastifiant haut réducteur d'eau à base de copolymère acrylique, de masse volumique $1060 \text{ kg}/\text{m}^3$. La plage d'utilisation recommandée varie de 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment.

Tableau 3. Caractéristiques des gravillons

Caractéristiques	Unités	Gravillons Concassés	
Densité apparente	(kg/m^3)	1377	1360
Densité absolue	(kg/m^3)	2580	2500
Module de finesse	-	-	-
Equivalent de sable	(%)	-	-
d/D	-	3/8	5/16

Les fibres utilisées dans cette étude sont de deux natures, synthétique de polypropylène (PP) et végétale d'Alfa (AL) (voir Fig. 2).



Fig. 2 Fibres d'alfa après découpage

Les caractéristiques mécaniques et physiques des fibres sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4. Caractéristiques des fibres

Désignation	PP	Alfa
Longueur (mm)	12	12
Densité (g/cm^3)	0,9	1,1
Résistance à la traction (MPa)	-	102
Module d'élasticité (MPa)	3000	3413
Taux d'Absorption en eau (%)	0	69

L'observation au microscope électronique à balayage présentée par la Fig 3, montre que la surface extérieure de la tige d'Alfa, présente des canaux longitudinaux uniformément répartis, d'une profondeur de l'ordre du micromètre, présentant une rugosité qui permet une meilleure adhérence à la matrice cimentaire.

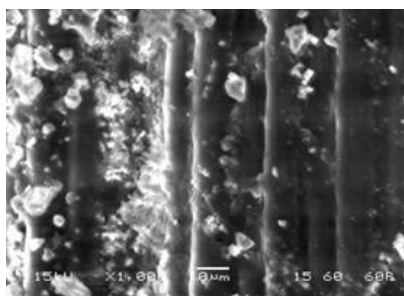


Fig. 3 Observation au MEB de la surface externe d'une fibre d'Alfa

II.2. Méthodes expérimentales

II.2.1. Formulation des BAP

L'approche de formulation des BAP qui a été utilisée est empirique, basée sur une méthodologie expérimentale s'appuyant uniquement sur les critères recommandés par l'AFGC [5]. Les différentes formulations des bétons sont regroupées dans le tableau 5.

Les BAP avec fibre de polypropylène (BAP PP) ont été formulés à partir des mêmes constituants et les mêmes dosages utilisés pour le BAP non fibré. Le dosage en fibres en polypropylène utilisé est de 600 g/m³

(l'optimum recommandé par le fabricant). Cependant, dans le but d'étudier l'influence du volume des fibres sur le comportement des BAP fibrés à l'état frais et durci, deux autres dosages ont été utilisés (300 et 900) g/m³.

Pour faire abstraction des différences notables entre la masse volumique de fibre synthétique (PP) et fibre végétale d'Alfa (AL), nous avons introduit un coefficient correcteur (K) qui est donné par la relation suivante :

$$K = \frac{\rho_{Alfa}}{\rho_{pp}}$$

ρ : la masse volumique absolue en (g/cm³).

Tableau 5. Composition des BAP d'étude

Constituants	Unités	BAP		BAP PP		BAP AL		
Fibre de PP	g/m ³	-	300	600	900	-	-	-
	%	-	0,035	0,065	0,1	-	-	-
Fibre d'Alfa	g/m ³	-	-	-	-	369	738	1107
	%	-	-	-	-	0,035	0,065	0,1
SP		5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Eau		163	163	163	163	163	163	163
Ciment		350	350	350	350	350	350	350
FC		150	150	150	150	150	150	150
S 0/3	kg/m ³	578	578	578	578	578	578	578
S 0/4		306	306	306	306	306	306	306
G 3/8		224	224	224	224	224	224	224
G 5/16		561	561	561	561	561	561	561

II.2.2. Caractérisation des bétons a l'état frais

Les BAP formulés doivent satisfaire plusieurs tests. Nous avons choisi trois essais qui sont normalisés et qui permettent de caractériser leurs principales propriétés. L'étalement au cône d'Abrams et le temps d'étalement pour atteindre un diamètre de 500 mm (T₅₀₀) selon la norme (EN 12350-8) [6], l'essai à la boîte en L, selon la norme (EN 12350-10) [7], et l'essai de stabilité au tamis selon la norme (EN 12350-11) [8].

II.2.3. Caractérisation des bétons a l'état durci

Les résistances mécaniques en compression et en traction par flexion sont déterminées respectivement, sur trois éprouvettes cubiques (10×10×10) cm³ et trois prismatique (7×7×28) cm³. Les éprouvettes sont démoulées 24h après le coulage et conservées sous l'eau à la température ambiante.

III. Résultats et discussions

III.1. Sur béton frais

III.1.1. Étalement et T₅₀₀

L'introduction des fibres de PP ou d'Alfa dans les BAP entraîne une diminution de l'étalement qui s'accroît avec l'augmentation du taux de fibres [9], mais, reste dans la limite des BAP qui varie entre 550 et 850 mm (voir Fig. 4). L'effet des fibres d'Alfa est moins important que celui des fibres de PP sur l'étalement, car d'une part les fibres d'Alfa sont introduites dans les BAP à l'état saturé d'eau et d'autre part, le nombre de fibres de PP est supérieur à celui des fibres d'Alfa par unité de volume. Même si les fibres de PP ne nécessitent pas un mouillage, une quantité d'eau de gâchage sera adsorbée à la surface des fibres [10].

Les BAP renforcés par des fibres de PP présentent des T₅₀₀ plus importants que les fibres d'Alfa (voir Fig. 4). Ceci s'explique par le nombre de fibres de PP qui est plus important, favorisant la formation d'amas ou de treillis de fibres qui ralentit fortement la vitesse

d'étalement. Ce comportement s'accroît avec l'augmentation du dosage en fibre.

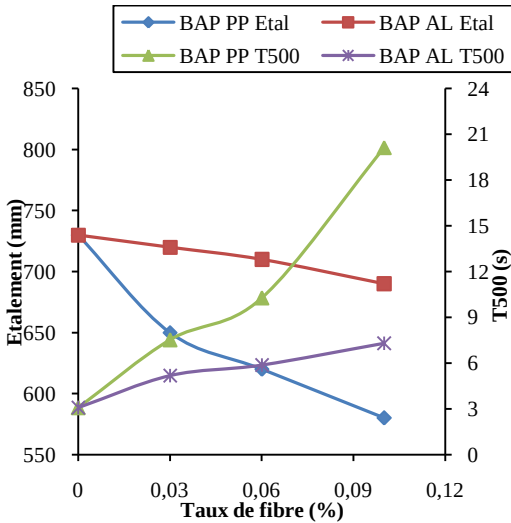


Fig. 4 Influence de la nature de fibre et du taux de fibrage sur l'étalement et le T_{500} des BAP

III.1.2. Taux de remplissage (L-box)

Tous les mélanges donnent des taux de remplissage ($H_2/H_1 > 0,8$) limite exigée par la norme [7], excepté le BAP PP avec un volume de fibre (0,1 %) qui donne un rapport (H_2/H_1) de 0,71 (voir Fig. 5).

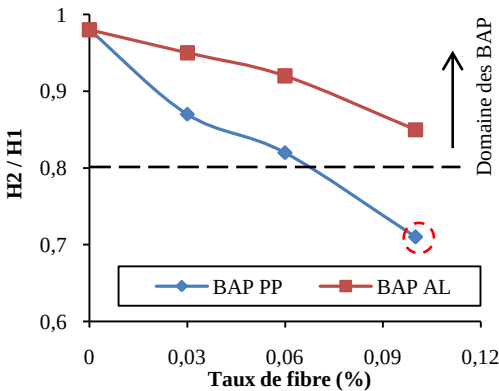


Fig. 5 Influence de la nature de fibre et du taux de fibrage sur le taux de remplissage des BAP

Pour les mêmes raisons que nous avons exposées pour expliquer la perte d'étalement et l'augmentation du T_{500} . L'augmentation du volume de fibres crée un encombrement résultant de la formation de conglomérat ou de treillis de fibres qui entraîne un blocage du béton dans la partie verticale de la boîte en L entraînant un défaut de remplissage. L'augmentation du volume en fibre diminue légèrement la capacité de remplissage pour les

BAP AL, sans être contraignante pour autant. Ces résultats confirment ceux trouvés par [10-11].

III.1.3. Stabilité au tamis

L'ensemble des BAP montrent une bonne résistance à la ségrégation statique. Cependant la stabilité du BAP PP est fortement diminuée pour des taux de fibrage supérieurs à 0,03% et devient critique (stabilité < 5 %) (voir Fig. 6 ci-dessous).

En effet la résistance à la ségrégation devient importante. Le béton devient alors trop visqueux pour s'écouler à travers le tamis, ce qui a pour conséquence une difficulté d'écoulement et donc un mauvais remplissage des coffrages. La stabilité du BAP AL n'est pas aussi affectée par le taux de fibrage même pour un dosage de 0,1%.

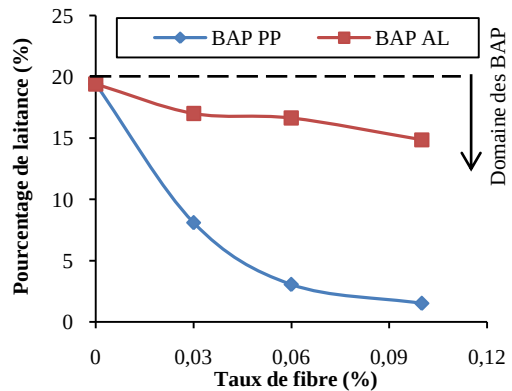


Fig. 6 Influence de la nature de fibre et du taux de fibrage sur la stabilité au tamis des BAP

Une autre hypothèse pour expliquer la chute du pourcentage de laitance des fibres PP pourrait être avancée, en effet la longueur des fibres est de 12 mm, cette longueur est supérieure au diamètre de la maille du tamis (5 mm), la fibre pourrait former un obstacle pour l'écoulement de la laitance à travers le tamis, ajouter à cela qu'une partie de l'eau est adsorbée par les fibres de PP pour leur mouillage.

III.2. Sur béton durci

III.2.1. La résistance en compression

Les résistances en compression à 2 et 28 jours des BAP étudiés sont présentés sur la Fig.7.

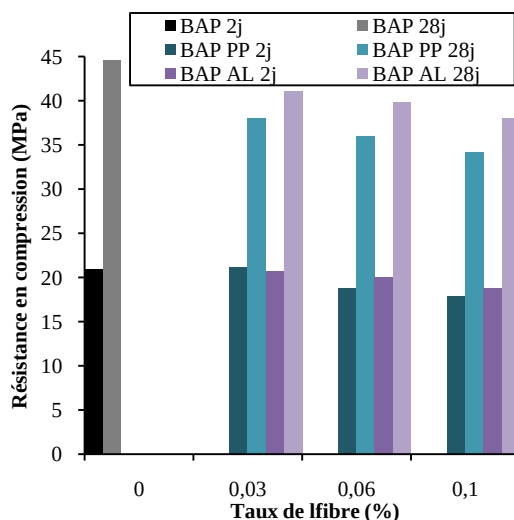


Fig. 7 Influence de la nature des fibres et du taux de fibrage sur la résistance en compression à 2 et 28 jours

Les résistances en compression des BAP fibrés sont légèrement inférieures à celle du BAP non fibré, la diminution de la résistance s'accroît avec l'augmentation du taux de fibrage. Cette perte de la résistance peut être expliquée par le fait que l'introduction des fibres entraîne la formation d'une porosité supplémentaire, localisée à l'interface fibre – matrice cimentaire, diminuant la compacité du béton et par conséquent sa résistance. Ces résultats corroborent ceux de la littérature [9-10-11].

III.2.2. La résistance en traction par flexion

Les résistances en traction par flexion à 2 et 28 jours sont présentées sur la Fig. 8.

L'introduction des fibres dans les BAP permet d'améliorer les résistances en traction par flexion [12-13]. L'augmentation des résistances est en fonction du type et du taux de fibrage. Ainsi, le taux optimal de fibrage pour les fibres PP semble se situer autour de 0,06 %. Ce taux correspond aux dosages de 600 g/m^3 , ce qui a été montré par [10]. Cependant, pour les fibres d'Alfa l'amélioration des résistances ce fait ressentir pour un dosage de 0,1%.

En effet, cette amélioration pourrait s'expliquer par la surface rugueuse de la fibre qui favorise l'adhérence avec la matrice, contrairement à la fibre de PP qui se caractérise par une surface lisse [10].

Notre travail a ainsi donné quelques éléments de réponses à la question que nous nous sommes posés au départ :

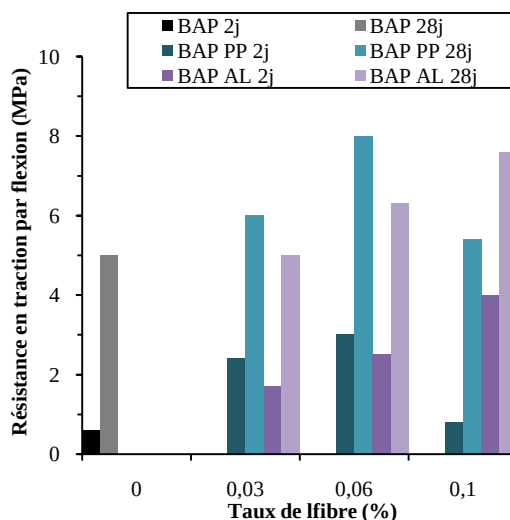


Fig. 8 Influence de la nature des fibres et du taux de fibrage sur la résistance en traction par flexion à 2 et 28 jours

De plus, les observations post rupture ont permis de mettre en évidence l'orientation des fibres d'Alfa qui était perpendiculaire à la charge, ce qui améliorerait leur efficacité, comparé à celle des PP qui était aléatoires.

IV. Conclusion

un BAP renforcé par des fibres végétales est-il aussi autoplaçant et résistant que celui renforcé par des fibres synthétiques ?. Les résultats obtenus sur les BAP fibrés à l'état frais sont intéressants et permettent d'envisager la possibilité d'utiliser les fibres végétales. La caractérisation des BAP fibrés à l'état durci n'a pas donné des résultats tranchants au même titre que ceux obtenus sur les BAP fibrés à l'état frais, il serait certainement intéressant d'approfondir les études sur les BAP fibrés en étudiant l'effet de la longueur des fibres d'Alfa et en augmentant leur dosage au-delà de 0,1%. D'autres études doivent être réalisées, notamment sur l'influence des fibres sur les déformations endogènes au jeune âge et sur la durabilité des BAP renforcés des fibres végétales en particulier.

Références

- [1] E. Rogge E, *Extraction et étude des propriétés physiques et mécaniques des fibres d'Alfa (Esparto grass) en vue d'applications textiles*, Master, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud-Alsace (UHA), 2010.
- [2] K. Ghavami, Bamboo as reinforcement structural concrete elements, *Cement and Concrete Composite*, 27 (2005) 637 – 649.
- [3] A. Kriker, G. Debicki, A. Bali, M.M. Khenfer, M. Chabannet, Mechanical properties of date palm fibers

- and concrete reinforced with date palm fibers in hot-dry climate, *Cement & concrete composites*, 27 (2005) 554-564.
- [4] M.A.S. Mohamed, E. Ghorbel, G. Wardeh, Valorization of micro-cellulose fibers in self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, 24 (2010) 2473-2480.
 - [5] AFGC, *Recommandations provisoires pour l'emploi des bétons autoplaçant* (2008).
 - [6] NF EN 12350-8, Essai pour béton frais, *partie 8 : Béton autoplaçant, Essai d'étalement au cône d'Abrams* (2010).
 - [7] NF EN 12350-10, Essai pour béton frais, *partie 10 : Béton autoplaçant-Essai à la boîte en L* (2010).
 - [8] NF EN 12350-11, Essai pour béton frais, *partie 11 : Béton autoplaçant-Essai de stabilité au tamis* (2010).
 - [9] A. El Hilali, *Étude expérimentale de la rhéologie et du comportement des bétons autoplaçants (BAP): Influence des fines calcaires et des fibres végétales*, Thèse de doctorat, Université de Cergy Pontoise, 2009.
 - [10] W. Laifa, M. Behim, A. Turatsinze, T. Ali-Boucetta, Caractérisation d'un béton autoplaçant avec addition de laitier cristallisé et renforcé par des fibres de polypropylène t de Diss, *Synthèse*, 29 (2014) 100-110.
 - [11] A. Belkadi, C. Amouri, A. Guettala, H. Houari, A. Zendaoui, Contribution à l'étude des performances rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçants avec des fibres végétales (Chanvre et Alfa), *Rencontres Universitaires de Génie Civil*, Bayonne, France, May (2015).
 - [12] M. Alcantara, *Béton autoplaçant et fibrages hybrides: composition, rhéologie et comportement mécanique*, Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse III, 2004.
 - [13] A. S. Mohamed, *Influence de la valorisation des microfibres végétales sur la formulation et la résistance aux cycles de gel-dégel de BAP*, Thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, 2011.