

Étude des propriétés mécaniques d'un bio-composite renforcé par des fibres courtes d'alfa

AMRANE Aboubakr^{1,2}, POILANE Christophe¹, SEREIR Zouaoui², VIVET Alexandre¹

¹UNICAEN CIMAP

F-1405 Caen, France

Christophe.poilane@unicaen.fr

²USTOMB

Faculté de génie mécanique, LSCMI

BP 1505 El M'Naouer

31000 Oran, Algérie

Aboubakr.amrane@unicaen.fr

Introduction

Actuellement, les fibres naturelles sont utilisées comme des charges de matrice polymère ou dans des pièces subissant de très faibles sollicitations comme les panneaux de portes ou les planches de coffre dans l'automobile. Il s'agit parfois de coproduits de la filière traditionnelle de valorisation des fibres naturelles [1]. L'utilisation de fibres naturelles techniques comme renfort de pièces structurales subissant des contraintes mécaniques élevées est encore en phase de développement ou de recherche. Néanmoins, les fibres naturelles possèdent des propriétés intrinsèques très intéressantes, avec des densités particulièrement faibles, des propriétés mécaniques suffisantes et des coûts de production potentiellement bas. Dans le cadre de l'évolution des matériaux biodégradables, plusieurs recherches se sont intéressées à l'optimisation des matériaux biosourcés. L'alfa par exemple a été sujet à plusieurs recherches dans ces dernières années. Grâce à la faible consommation d'eau, l'alfa est endémique dans l'ouest méditerranéen, une région plutôt sèche. L'alfa est une plante permanente qui ne disparaît pas pendant l'hiver, et qui pousse indépendamment en formant des nappes. M. Dalle [2] a étudié l'évaluation du potentiel textile des fibres d'alfa. Il a étudié plusieurs méthodes d'extraction des fibres, ainsi que la fabrication du fil. M. Rokbi [3] a étudié l'influence du traitement chimique sur le comportement à la rupture d'une résine polyester renforcée par des fibres d'alfa, et le développement des différentes phases d'endommagement sous charge statique. F. El-Abbassia [4] a étudié les propriétés élastiques et ultimes en traction pour plusieurs éprouvettes de composites à différents taux de fibres d'alfa traitées et non traitées (10%, 20% et 30% wt). Il a par ailleurs proposé une analyse du comportement mécanique d'un composite PP-alfa injectés à l'aide de deux modèles [5], un modèle micromécanique basée sur le modèle de Mori-Tanaka, et un modèle numérique qui utilise une approche originale basée sur une technique dite de fibre projetée. Ben Brahim [6] a étudié l'influence de l'orientation des fibres et de la fraction de volume sur les propriétés mécaniques de la traction du composite alfa-polyester unidirectionnel. Le but du présent travail est d'employer la fibre d'alfa dans la production et le développement d'un polymère biosourcé dont la matrice est une résine Greenpoxy. On analyse la résistance et la rigidité en traction pour différentes fractions massiques et différentes tailles de fibres d'alfa. L'objectif à long terme est de produire des composites totalement biosourcés.

La fibre d'alfa

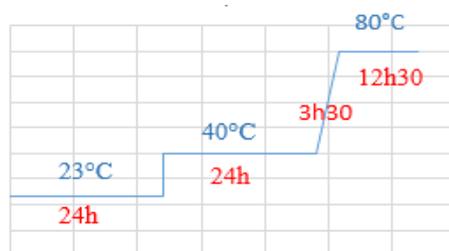
L'alfa est une plante monocotylédone de type herbeux d'origine ouest du bassin méditerranéen. Sa terre de prédilection est l'Afrique du Nord, et tout particulièrement les hauts plateaux du Maroc et de l'Algérie. Elle pousse en touffes d'environ 1 m à 1,20 m de haut, formant ainsi de vastes nappes. Elle pousse spontanément notamment dans les milieux arides et semi-arides, elle délimite le désert. Là où l'alfa s'arrête, le désert commence. La récolte de l'alfa a été faite au niveau de la région de Djelfa située dans des hauts plateaux du centre d'Algérie (Fig. 1). La plante d'alfa comprend une partie souterraine et une autre aérienne. La partie souterraine, appelée le Rhizome, est formée d'un réseau complexe de racines très ramifiées [2]. La partie aérienne est constituée de plusieurs branches portant des gaines emboîtées les unes dans les autres, surmontées de limbes longs de 30 à 120 cm. Dans notre étude, on s'intéresse au limbe qui a une forme creuse et cylindrique. Ce limbe est régulièrement interrompu au niveau du nœud par des enchevêtrements de faisceaux.

Paramètres d'élaboration

Les plaques de composite sont stratifiées manuellement dans un moule dédié (Fig. 4a). Le moule est ciré pour faciliter le démoulage. Les différents composants sont pesés pour déterminer les taux de fibre. Le cycle de cuisson utilisé est donné à la figure 4b. Deux plaques de 160 mm x 250 mm sont élaborées simultanément dans le moule.



a) moule et contre moule



b) cycle de cuisson

Fig. 4 : Elaboration des plaques composites

Trois catégories de fibres couteuses d'alfa ont été préparées selon le tamis utilisé suite au broyage (tamis de 1,6, 2 et 2,6 mm, voir Fig. 5). Les composites fibre courte d'alfa/Greenpoxy ont ensuite été élaborés avec quatre taux de fibres, taux massique de fibre de 5 à 20 % (Fig. 6).



a) taille 1, tamis de 1,6 mm



b) taille 2, tamis de 2 mm

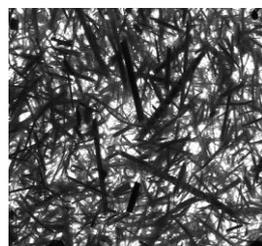


c) taille 3, tamis de 2,6 mm

Fig. 5 : Trois tailles de fibres, fibres dispersées vu en transparence, dimensions 25 mm x 25 mm



a) 5%



b) 10%



c) 15%



d) 20%

Fig. 6 : Quatre fractions massiques de fibre, composite vue en transparence, dimensions 25 mm x 25 mm

La masse volumique

La masse volumique est obtenue classiquement par des mesures de masse et de volume de chaque plaque. La figure 7 illustre la masse volumique des composites alfa/Greenpoxy pour différentes fractions massiques de

fibres courtes d'alfa (0, 5, 10, 15 et 20%) ; la taille des fibres de renfort n'intervient pas dans la masse volumique du composite.

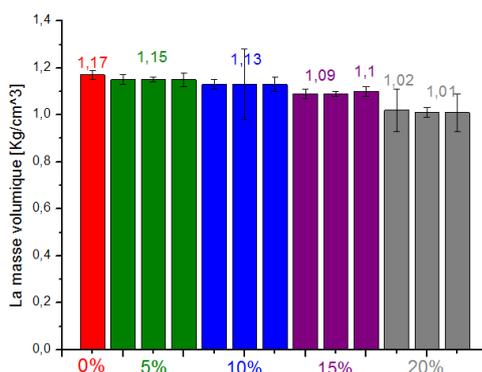


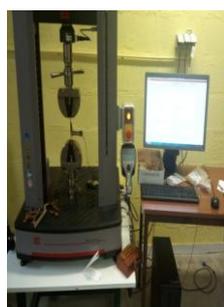
Fig. 7 : Masse volumique des composites alfa/Greenpoxy en fonction de la fraction massique

Essais de traction

La résistance et la rigidité des composites ont été déterminées selon la norme ASTM D638-type I. En raison de la variabilité, 7 échantillons sont testés par type (Fig. 8a). Les tests ont été réalisés sur un banc d'essai électromécanique MTS équipé d'une cellule de charge d'une capacité de 5 kN (Fig. 8b). La déformation est mesurée à l'aide d'un extensomètre (Fig. 8c).



a) éprouvettes découpée au laser



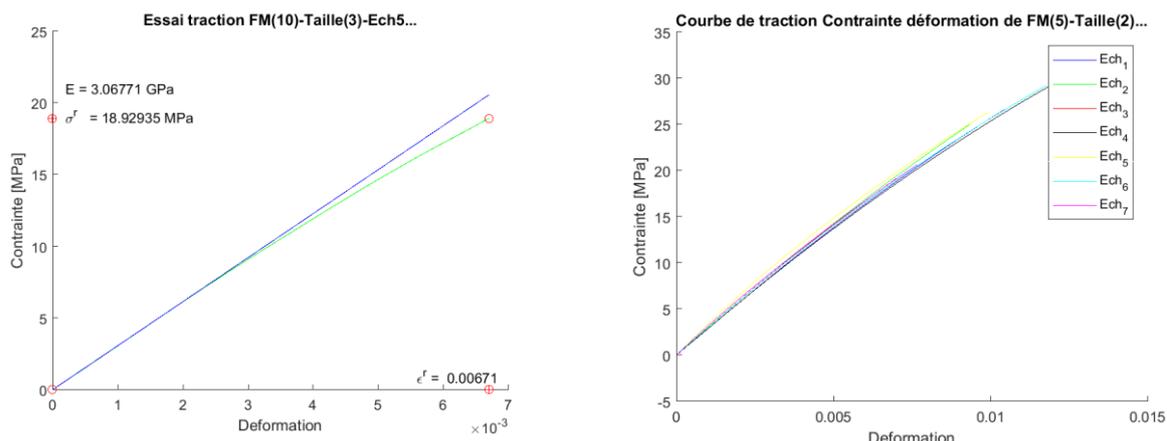
b) banc d'essais



c) extensomètre

Fig. 8 : Essais de traction sur les éprouvettes (fibre courte d'alfa/Greenpoxy)

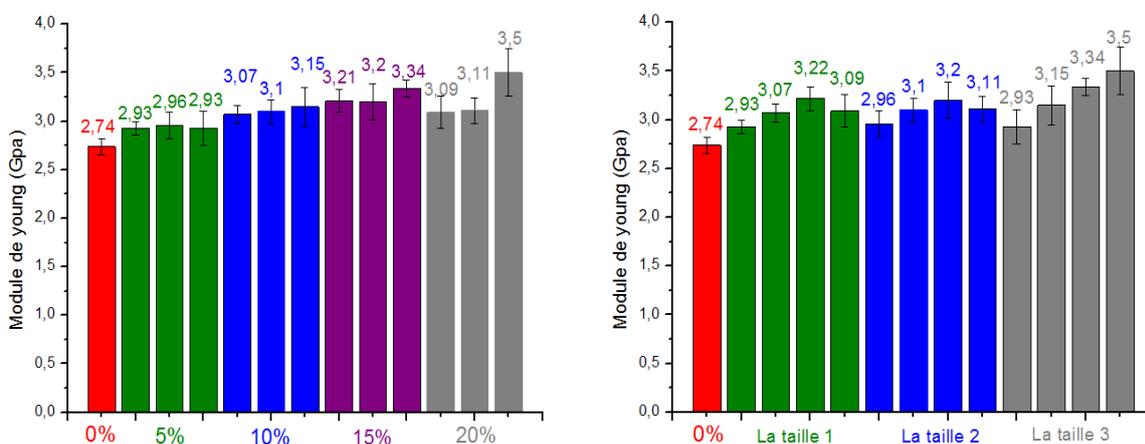
La figure 9 illustre les courbes contrainte-déformation typiques obtenu pour un lot de sept échantillons de composites fibres courtes d'alfa/Greenpoxy. Ces courbes ont été reconstruites sous Matlab® à partir des données brutes de la machine. À partir des courbes théoriques moyennes contrainte-déformation, la contrainte à la rupture, la déformation ultime, et le module de Young ont été calculés.



a) détail pour un échantillon b) résultat pour sept échantillons d'une même plaque
 Fig. 9 : Courbes typiques contrainte-déformation en traction

Résultats et discussion

La masse volumique diminue avec l'augmentation du taux de fibres courtes. La masse volumique apparente des fibres d'alfa est estimée selon la littérature à 0,89 kg/dm³ [7]. La masse volumique vraie des fibres d'alfa que nous mesurons au pycnomètre à hélium est de 1,49 kg/dm³. Nos observations ne montrent pas de porosités dans le volume de la résine, on peut donc déduire des masses volumiques mesurées sur les plaques que la résine ne pénètre pas au sein des porosités structurales des fibres d'alfa. Ceci devra être confirmé par des analyses complémentaires. Les diagrammes en barres des figures 10 et 11 montrent les valeurs moyennes pour ces propriétés de traction pour les cinq fractions massiques et les trois tailles étudiées. L'utilisation des fibres courtes rigidifie la résine Greenpoxy 56. Le module de Young augmente avec le taux de fibres jusqu'à une fraction massique de 15 %. Au-delà de cette valeur, seule les fibres les plus longues permettent d'augmenter le module de Young. Il convient de noter par ailleurs que l'erreur augmente avec la taille et avec le taux de fibres, les plaques les plus homogènes et isotropes sont donc obtenues avec les renforts les plus courts et les taux de fibres les plus faibles.



a) en fonction de la fraction massique b) en fonction de la taille
 Fig. 10 : Module de Young des composites alfa/Greenpoxy

Les diagrammes en barres de la figure 11 montre que la résistance de la résine Greenpoxy diminue d'un facteur deux avec l'ajout de fibres courtes d'alfa. Selon nos mesures—non représentées ici—les faisceaux de fibres d'alfa peuvent résister à une contrainte d'au moins 100 MPa. Nous pensons finalement que le transfert de charge entre le renfort et la matrice ne s'effectue pas de façon optimale. Un traitement des renforts est donc à envisager pour améliorer l'adhérence entre le renfort et la matrice.

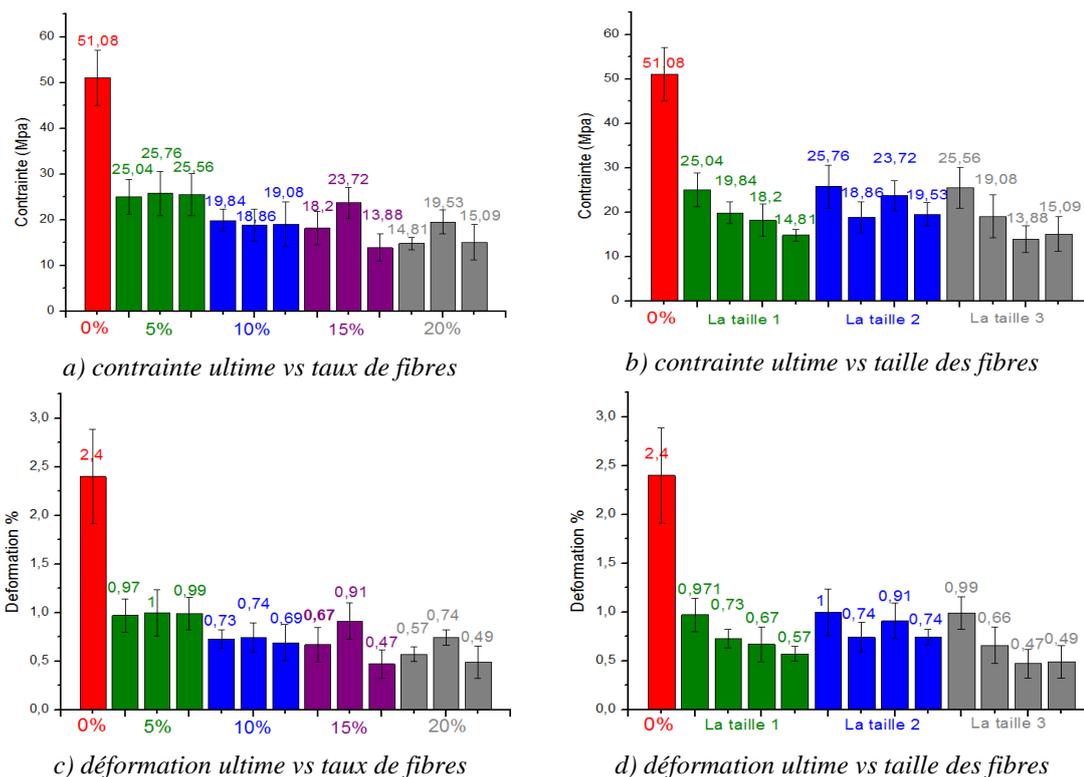


Fig. 11 : Propriétés mécaniques à la rupture des composites alfa/Greenpoxy

Conclusion

L'alfa est une plante sauvage, peu onéreuse, poussant dans les pays de climat aride et semi-aride. Nous montrons la possibilité d'employer les fibres courtes d'alfa comme charge ou renfort dans les composites biosourcés. Les propriétés mécaniques sont étudiées pour trois tailles de renforts et différentes fractions massiques de fibres. On montre qu'il existe des conditions optimales en termes de taille et de taux de fibres permettant de maximiser les propriétés mécaniques des composites alfa/Greenpoxy.

Remerciements

Les auteurs remercient Campus France—l'agence française pour la promotion de l'enseignement supérieur et de formation professionnelle français—pour le financement PHC Tassili 17MDU996. Le programme PHC Tassili est supporté par le ministère algérien de l'Enseignement supérieur et de la recherche scientifique (MESRS), le ministère français de l'Europe et des affaires étrangères (MEAE), et le ministère français l'Enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation (MESRI).

Références

- [1] J. Gassan. "A study of fibre and interface parameters affecting the fatigue behavior of natural fibre composites", *Journal of Applied Science and Manufacturing*, 3(33): 369-374, 2000.
- [2] M. Dellal. « Evaluation du potentiel textile des fibres d'alfa (*Stipa Tenacissima* L.) : caractérisation physico-chimique de la fibre au fil », Thèse de l'Université de Haute Alsace, 2012.
- [3] M. Rokbi. « Influence du traitement chimique sur le comportement à la rupture de la résine polyester ortho phtalique renforcée par des fibres alfa », 21ème Congrès Français de Mécanique Bordeaux, 26 au 30 août 2013
- [4] F. El Abbassi. « Elaboration, analyse et modélisation mécanique numérique d'agrocomposites à base de fibres courtes d'alfa », *MATEC Web of Conferences*, 11 :01039, 2014.
- [5] F. El Abbassi. « Analyse expérimentale et modélisation comportementale d'agrocomposites à base de fibres d'alfa », 12ème Congrès de Mécanique 21-24 Avril 2015 Casablanca, Maroc.
- [6] S. Ben Brahim. "Influence of fibre orientation and volume fraction on the tensile properties of unidirectional alfa-polyester composite", *Composites Science and Technology*, 67(1): 140-147, 2007.
- [7] A. Bessadok. "Alfa fibres for unsaturated polyester composites reinforcement: Effects of chemical treatments on mechanical and permeation properties", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 40(2):184-195, 2009.