

## Elaboration, analyse et modélisation mécanique numérique d'agro-composites à base de fibres courtes d'alfa

Fatima-ezzahra El-Abbassi<sup>1</sup>, Rezak Ayad<sup>2</sup>, Nouzha Iamdouara<sup>1</sup>, H. Kebir<sup>3</sup>, Hamid Sabhi<sup>2</sup>, Stephane Buet<sup>2</sup>, Mustapha Assarar<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Equipe Simulation, Instrumentation et Mesures, Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, Rabat Maroc  
niamdouar@gmail.com

<sup>2</sup> Laboratoire d'Ingénierie et Sciences des Matériaux (LISM, EA 4695), Université de Reims Champagne-Ardenne, UFR Sciences Exactes et Naturelles, Reims (France)

rezak.ayad@univ-reims.fr

<sup>3</sup> Laboratoire ROBERVAL (UMR 7337), Université de Technologie de Compiègne, centre de recherche Royallieu, France hocine.kebir@utc.fr

**Résumé:** Dans la présente étude, récemment réalisée au Laboratoire d'Ingénierie et Sciences des Matériaux, de l'Université de Reims Champagne-Ardenne, nous proposons de valoriser la plante végétale d'Alfa, sous forme de fibres courtes en vue de renforcer par extrusion dans une première étape, puis par injection, des matrices polymères, en l'occurrence le Polypropylène (PP). Une première étape consiste à élaborer, par traitement chimique et extraction, la fibre courte à utiliser comme renfort. Il s'en suit une extrusion de courte à utiliser comme renfort. Il s'en suit une extrusion de composés composites à base de matrice PP. L'objectif sera de développer par la suite une démarche Essai-Calcul, confrontant une caractérisation mécanique d'agro-composites PP-Alfa injectés à deux types de modélisation comportementale, l'une micromécanique basée sur le modèle de Mori-Tanaka, et l'autre numérique utilisant une approche originale basée sur une technique dite de fibre projetée.

**Mots-clefs :** Fibre d'Alfa, Elaboration, Extrusion, Composites biphasés

### 1 Introduction

Face au réchauffement climatique et aux problèmes environnementaux qui menacent sérieusement notre planète, plusieurs recherches sont menées afin de valoriser les matériaux écologiques à faible impact sur l'environnement. Les études faites par Gassan et Bledzki [1] et Baley.C [2], ont prouvé que les fibres végétales en plus du fait qu'elles sont moins chères, écologiques, inoffensives sur la santé et plus légères, ont des propriétés mécaniques très intéressantes. C'est d'ailleurs, ce qui explique que de plus en plus ces fibres substituent les fibres synthétiques.

En revanche, plusieurs facteurs peuvent influencer les caractéristiques des fibres végétales Gassan et Fledski, 1996 [3]; Fink et al., 1994 [4]. En effet, on constate pour la même fibre une dispersion de forme, de propriétés mécaniques physiques et thermiques. Cette variation est due à l'origine de la plante, sa variété, les

conditions de sa croissance et la saison de sa récolte. En outre, l'endroit de prélèvement des fibres dans la tige peut aussi influencer les résultats (Charlet et al. 2007 [5]) (Charlet et al., 2009 [6]) (Duval et al., 2010 [7]). Toutes ces contraintes entravent actuellement l'industrialisation de ces fibres à grande échelle.

Dans la présente étude, nous essayons de valoriser la fibre d'Alfa peu connue dans le domaine des matériaux composite. La plante d'Alfa est une graminée spontanée très répandue sur le plateau méditerranéen. Elle pousse sur des milliers d'hectares surtout en Algérie, Maroc et la Tunisie [8]. Malheureusement, à l'exception de la Tunisie qui l'utilise dans l'industrie papetière; les autres pays l'exploitent très peu.

La plante d'Alfa présente plusieurs avantages; en plus du fait qu'elle est disponible en grande quantité sur le plateau méditerranéen, elle n'a pas besoin d'être

cultivée, subsiste en l'hiver et ne demande pas assez d'eau ni de pesticides [9].

Des études ont été menées sur cette fibre. En effet, en 2005, S. Ben Brahim et al [10] ont étudié la variation de la fraction du volume et l'orientation des longues fibres d'alfa sur le comportement d'un composite à matrice en polyester. Leurs études ont révélé que le module de Young et la contrainte à la rupture augmentent en fonction de la fraction de volume des fibres ; alors que, les propriétés mécaniques diminuent lorsque l'angle entre l'orientation des fibres et la sollicitation augmente.

En 2006, M.C. Paiva et I. Ammar [11] ont montré que le modèle de Weibull a donné une bonne estimation de la variation des propriétés mécaniques des fibres d'alfa en fonction de leurs longueurs.

En 2008 A. Bessadok et S. Roudesli [12] ont étudié l'effet des traitements de surface avec styrène et l'anhydride maléique sur le comportement d'un composite en polyester renforcé par des longues fibres d'Alfa unidirectionnelles. Contre toute attente, on constate dans cette étude que les propriétés mécaniques du composite sont plus faibles que celles de la matrice seule.

En 2009, EM. Maafi et L. Tighzert [13] ont varié la fraction massique des fibres courtes dans un composite à matrice en polyuréthane à base de l'huile de ricin. Leurs résultats ont montré que les propriétés thermiques et mécaniques du composite étaient améliorées par la présence des fibres d'Alfa. En outre, cette amélioration augmente d'une façon linéaire avec le pourcentage des fibres incorporées jusqu'à 20%. Au-delà de cette valeur, les propriétés mécaniques du composite diminuent.

En 2011, F.Z. Arrakhiz et M. Elachaby [15], ont regardé l'effet de trois fibres : la fibre d'Alfa, la fibre de Coco et la fibre de Bagasse, sur une matrice en polypropylène. Le meilleur résultat pour le module de Young, une augmentation de 75% par rapport au PP pur, a été trouvé avec un renforcement de 30% de fibre d'Alfa.

En 2012, A. Boukerrou et N. Hamour [14], ont étudié l'effet de la variation de la fraction massique et de la longueur des fibres courtes d'alfa sur le comportement d'un composite PVC /Alfa. Les résultats ont montré que ; en augmentant le pourcentage des fibres, le module de Young augmente, mais, la contrainte et l'allongement à la rupture diminuent. En outre, ils ont prouvé que la présence de fibre de petite taille ( $\leq 160\mu\text{m}$ ) améliore l'adhérence avec le polymère et diminue ainsi l'absorption en eau du composite.

D'autres études s'étaient intéressées aux problèmes d'adhérence entre la matrice et la fibre. Les scientifiques

avaient essayé plusieurs traitements dans le but de trouver celui qui convient le plus aux fibres d'Alfa.

En 2007, A. Bessadok et S. Marais [16], ont essayé quatre traitements de surface sur la fibre d'Alfa déjà traitée avec un traitement alcalin. Le traitement avec styrène s'avère d'après cette étude le plus adéquat.

En 2011, M. Rokbi et H. Osmani [17] ont montré que la concentration et la durée du traitement alcalin appliqué sur la fibre ont influencé énormément le comportement de leur composite polyester /Alfa. Ils ont trouvé que le meilleur traitement qui a donné une bonne adhérence et n'a pas endommagé les fibres était avec une concentration de 10% de NaOH pendant une durée de 24 h.

En 2012, F.Z. Arrakhiz et M. Elachaby [18] ont regardé l'effet de trois traitements (Traitement alcalin, avec l'acide palmitique et celui avec le bromure de Dodécyl) sur le comportement d'un composite polypropylène/Alfa. L'étude a montré que le traitement avec le bromure de Dodécyl a rendu le composite plus stable thermiquement. Les meilleures propriétés mécaniques étaient obtenues avec l'acide palmitique.

Le tableau 1 résume les résultats des propriétés mécaniques d'agro-composites à base de fibres courtes d'Alfa, relevées dans la littérature :

**Tableau 1:** Propriétés mécaniques de quelques composites renforcés par la fibre d'Alfa

Réf	Matrice	fibres	% des fibres	Traitement	E (G pa)	$\sigma$ (Mpa)	$\xi\%$
[18]	polypropylène	Courte	20	ALFA-PALM	1,4	-	-
[9]	Polyester	Longue	44	NaOH(3N) + Blanchiment	12,3	149	3,1
[12]	Polyester	Longue	10	Traitement avec styrène	1,457	21	1,5
[12]	Polyester	Longue	10	Traitement avec anhydride maléique	1,408	16	1,1
[17]	Polyester	Longue	40	NaOH (10%,24h)	3,04	56,57	-
[13]	polyuréthane	Courte	20	Procédé de kraft	0,110	3,17	13,48
[14]	PVC	courte	20%, F315	-	0,558	-	-

Dans la présente étude, récemment réalisée au LISM (Laboratoire d'Ingénierie et Sciences des Matériaux) de l'Université de Reims Champagne-Ardenne, nous proposons de valoriser la plante végétale d'Alfa, sous forme de fibres courtes en vue de renforcer par extrusion dans une première étape, puis par injection, des matrices polymères, en l'occurrence le Polypropylène

(PP). Une première étape consiste à extraire la fibre courte utilisée comme renfort, s'en suit une extrusion de compounds biphasés à base de matrice PP. Une seconde étape, qui sera réalisée par la suite, concernera la caractérisation statique par traction d'agro-composites PP-Alfa obtenus à l'aide du moulage par injection. L'objectif sera d'obtenir une première mesure expérimentale des propriétés mécaniques, pour engager par la suite une procédure de modélisation micromécanique, à l'aide du modèle de Mori-Tanaka, et numérique en utilisant une approche originale basée sur une technique dite de fibre projetée.

## 2. Matériau utilisé

### 2.1 Matrice Polypropylène

Nous proposons d'élaborer des composites biphasés à base de fibre d'alfa. Pour des raisons de coût et de bonne transmission des efforts au renfort. Le choix s'est porté sur un polymère connu, le Polypropylène (PP). Il est thermoplastique, semi-cristallin et très utilisé dans l'industrie. Doté de bonnes propriétés mécaniques en traction, le PP possède également une bonne résistance au choc et à la corrosion. Aucun agent de couplage n'a été utilisé pour renforcer l'interface fibre-matrice. Les granulés de PP que nous avons utilisés ont été mis en œuvre, par extrusion, par la société AFT Plasturgie sous le nom de code P00205P2 (lot 1686).

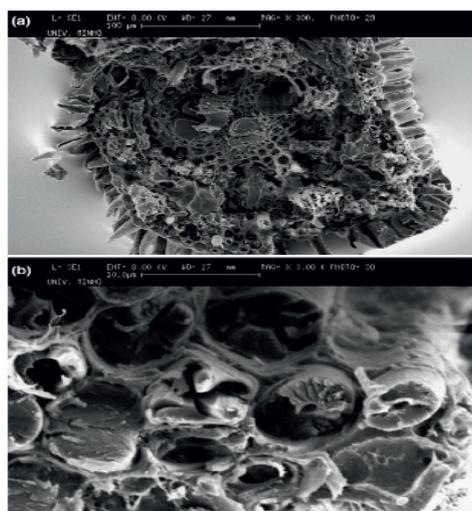
### 2.2 Le Renfort : Fibre d'alfa

#### 2.2.1 Composition chimique

Comme toutes les fibres végétales, la fibre d'Alfa est un composite à base de lignine et d'hémicellulose renforcée par Les fibrilles en cellulose (Figure 1). Plusieurs chercheurs ont étudié la composition chimique de cette plante notamment, O. Akchiche, A.B. Marchak et Y.G. Butko, les résultats trouvés sont regroupés dans le tableau 2 selon la source :

**Tableau 2 :** Composition chimique d'Alfa selon plusieurs sources

Composants	[9]%	[11]%	[10]%	[19]%
Cellulose	43,81	45	45	47,63
Lignine	18,76	23	24	17,71
Cendres	4,66	2	2	5,12
Silica	1,76			
Hémicellulose /pectines	28,4	25	24	22,15
Cires		5	5	
autres	2,61			7,39



**Figure 1.** (a) Image MEB de la coupe transversale de la tige d'alfa (b) Image MEB plus rapproché des fibres [11]

#### 2.2.2 Détermination de l'humidité de la fibre d'Alfa

Le caractère hydrophile des fibres végétales est une propriété importante dont il faut tenir compte. En effet, L'hémicellulose et la pectine contenues dans ces fibres ont de nombreux groupements hydroxyles (-OH) qui permettent à la fibre d'absorber de l'eau.

Dans le domaine des matériaux composite cette spécificité des fibres végétales est synonyme de variation volumique (gonflement/retrait), de dégradation (poussissement), de vaporisation d'eau lors de la mise en œuvre et d'une liaison fibre/matrice de mauvaise qualité [2]

La plante d'alfa étudiée dans la présente étude est originaire de Oujda au Nord-est du Maroc .Quatre échantillons des fibres de cette plante ont été pesés puis mis dans des béciers à l'intérieur de l'étuve pendant 24 h à une température de 105°C .Après ce séchage, les béciers sont couverts du papier aluminium afin d'éviter que les fibres absorbent de l'humidité ambiante . Une fois les échantillons refroidis, on effectue une deuxième pesée avec une balance de précision (0,001 g). Les résultats obtenus confirment que cette fibre renferme un taux d'humidité moyen de l'ordre de 9,79%.

#### 2.2.3 Propriétés mécaniques

Avant de passer au composite, il est important de connaître tout d'abord les propriétés mécaniques de la fibre. Or, ces propriétés sont facilement influencées par plusieurs facteurs, entre autres, l'origine de la plante, la variété, les conditions de croissance et de récolte. Ce qui explique la différence entre les valeurs trouvées dans la littérature :

**Tableau 3 :** les propriétés mécaniques de la fibre d'alfa selon plusieurs sources

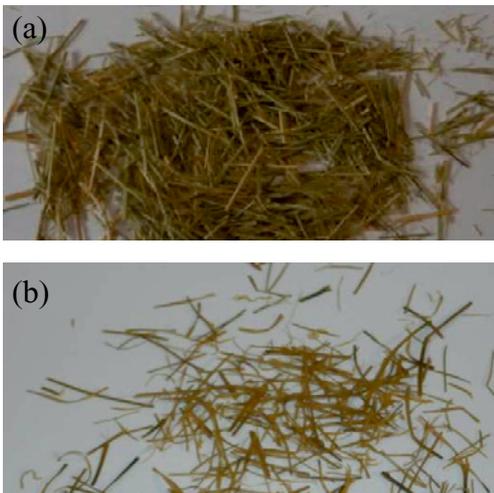
Source	[12]	[10]	[18]
Densité (g /cm3)	0.89	1,4	-

Module de Young (GPA)	22	18,2 - 24,92	13,4
Contrainte à la rupture (MPa)	565	187,6 - 308	944
l'allongement à la rupture %.	5.8	1,5 - 2,4	-

En ce qui nous concerne, il est à noter qu'un nano-indenteur, acquis par le Laboratoire LISM dans lequel nous avons réalisé la présente étude, ne sera réceptionné qu'en avril 2013. Nous n'avons en conséquence pas pu mesurer le module d'élasticité de la fibre d'alfa extraite dans le cadre de la présente étude.

### 3 . Traitement et extraction de la fibre.

Dans cette étude nous avons opté pour un traitement simple sur la fibre, car un traitement complexe rendra la fibre plus chère et moins compétitive sur le marché. En plus, le but de ce travail est de trouver un matériau écologique avec des bonnes caractéristiques mécaniques. Cependant, l'utilisation des traitements chimiques complexes régénère des déchets toxiques difficiles à recycler. Ainsi, Le traitement que nous avons choisi pour ces fibres (figure 2) est alcalin à base de NAOH. Premièrement, on commence par tremper les fibres dans l'eau salée (35g /l) à une température de 60°C pendant 24 h. Ce lavage par l'eau salée permet d'éliminer les saletés, les poussières et une partie des cires. Il rend ainsi les fibres plus ouvertes au prochain traitement [20]. Après le trempage, on constate une diminution de 1,57% de la masse des fibres. La deuxième étape consiste à laver les fibres avec l'eau distillée et les mettre ensuite dans une solution à 10% en NAOH à température ambiante pendant 24 h [17]. Enfin, les fibres sont lavées plusieurs fois avec l'eau distillée et séchées à l'étuve pendant 12 h à une température de 105°C. L'ensemble des travaux d'extraction faites en amont sur la fibre d'Alfa (broyage, lavage, traitement alcalin, séchage) ont été réalisés au LISM (URCA) en janvier-février 2013.



**Figure 2.** Fibres d'Alfa avant le traitement (a) et après le traitement (b)

### 4. Mise en œuvre des compounds agro-composites

Notre composite est constitué en poids avec 80% du Polypropylène et 20% de fibre d'Alfa traitée. Le mélange a été fait mécaniquement grâce à une extrudeuse mono vis fonctionnant à une vitesse de 150 tours par minute. Les six zones du cylindre de l'extrudeuse à partir de la trémie d'alimentation ont été chauffés respectivement à 180, 185, 190, 190, 190, 190°C. Le fils sortant de l'extrudeuse a été ensuite broyé pour obtenir des compounds de 3 à 7 mm de long (figure 3). Après, les compounds sont séchés à l'étuve pendant 12 h à une température de 105°C. Les travaux d'extrusion des compounds agro-composites PP/Alfa ont été effectués en février 2013, par l'équipe Composites du LISM basée à l'IFTS de Charleville-Mézières. La campagne d'essais par injection des éprouvettes est programmée pour septembre 2013.



**Figure 3.** Compounds élaborés par le procédé d'extrusion

### 5. Conclusion

Dans un souci écologique, les fibres végétales constituent une solution idéale pour réduire les problèmes environnementaux dont souffre notre planète. Notre but dans cette étude est de confirmer ce constat en valorisant une nouvelle fibre végétale. Il s'agit de la fibre d'Alfa, très disponible dans les pays magrébins et dont l'industrialisation apportera une valeur ajoutée à l'économie de ces pays. Ces fibres sont constituées de 47,63% de cellulose, une humidité relative de 9,79% et présentent des caractéristiques mécaniques intéressantes : densité=0.89 ; Module de Young = 22 GPA; Contrainte à la rupture = 565 MPA, l'allongement à la rupture = 5.8 % [12]. Ainsi, cette fibre est une alternative intéressante aux fibres synthétiques.

Afin d'extraire cette fibre à partir de la plante, nous avons effectué un broyage mécanique suivi d'un lavage avec l'eau salée puis un traitement alcalin avec NAOH. Ce traitement permet de diminuer le pourcentage d'hémicellulose et de pectine dans les fibres et d'assurer une meilleure adhérence avec la matrice. L'étape suivante dans cette étude consiste à étudier l'effet de ces fibres courtes sur une matrice en polypropylène. Pour cela, nous avons mélangé dans une extrudeuse 20% en poids d'Alfa et 80% de polypropylène nous obtenons ainsi des compounds qui sont ensuite utilisées pour injecter les éprouvettes.

Nous avons tellement souhaité aller jusqu'au bout de la présente étude, en injectant d'une part les éprouvettes normalisées, suivi d'une caractérisation

mécanique en traction, pour apprécier les propriétés élastiques et ultime des agro-composites obtenus, et, d'autre part, en confrontant les résultats expérimentaux avec ceux issus de deux types de modélisation: micromécanique de type Mori-Tanaka et numérique par utilisation d'éléments finis spéciaux. Malheureusement, la campagne d'essais par injection des éprouvettes est programmée pour mai 2013 et le nano-indenteur, acquis par le Laboratoire LISM, ne sera réceptionné qu'en avril 2013. Nous espérons, si toutes fois les contraintes logistiques sont résolues ou résorbées, achever, pour fin septembre 2013, ces travaux de mise en œuvre du composite injecté, de caractérisation et de modélisation. Ils seront bien évidemment inclus dans le texte et présentés, oralement ou via un poster, au CMSS 2013.

## Références

1. A.K Bledzki, J Gassan Composites reinforced with cellulose based fibres Progress in Polymer Science, Volume 24, Issue 2, May 1999, Pages 221-274
2. C. BALEY .Renforcement des polymères par des fibres végétales: journée scientifique et technique Amac (Revue des composites et matériaux avancés. Vol. 16. n° 1/2006)
3. J. Gassan, A.K. Bledski Modification methods on nature fibres and their influence on the properties of the composites Plastics, 54 (2) (1996), pp. 2552–2557
4. Fink HP, Ganster J, Fraatz J, Nywlt M. Relations between structure and mechanical properties of cellulosic man-made fibres. In: Akzo-Nobel Viscose Chemistry Seminar "Challenge in Cellulosic Man-Made Fibres. Stockholm; 1994.
5. Charlet K., Baley C., Morvan C., Jernot J.P., Gomina M., Bréard J., "Characteristics of Hermès flax fibres as a function of their location in the stem and properties of the derived unidirectional composites", *Composites part A*, 38,8 (2007), pp. 1912-1921
6. Charlet K., Jernot J.P., Gomina M., Bréard J., Morvan C., Baley C., "Influence of an Agatha flax fibre location in a stem on its mechanical, chemical and morphological properties". *Composite Science & Technology*, 69, 9, (2009), pp.1399-1403
7. Duval A., Bourmaud A., Augier L., Baley C., "Influence of the sampling area on the stem on the mechanical properties of hemp fibers", *Materials Letters*. Disponible en ligne depuis le 26 novembre 2010,
8. J. Marion, L'Alfa, Matière première pour l'industrie papetière, revue Forestière Française, pages 345-347, 1958.
9. Akchiche Omar, Messaoud Bouregghda Khadra, Esparto Grass (*Stipa Tenacissima* L), Raw Material of Papermaking. First Part, ХИМИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ (*Chemical Plant Material*). 2007. N°4. C. 25–30
10. S. Ben Brahim and R. Ben Cheikh, Influence of fibre orientation and volume fraction on the tensile properties of unidirectional Alfa-polyester composite, *Composites Science and Technology*, 67 (2007) 140–147
11. M.C. Paiva and I. Ammar, Alfa fibres: Mechanical, morphological and interfacial characterization, *Composites Science and Technology*, 67 (2007) 1132–1138
12. A. Bessadok and S. Roudesli, Alfa fibres for unsaturated polyester composites reinforcement: Effects of chemical treatments on mechanical and permeation properties, *Composites: Part A* 40 (2009) 184–195
13. EM. Maafi and L. Tighzert, Elaboration and Characterization of Composites of Castor Oil-Based Polyurethane and Fibers from Alfa Stems, Published online 26 May 2010 in Wiley InterScience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)).
14. A. Boukerrou and N. Hamour, Effect of different sizes of the alfa on the physical, morphological and mechanical properties of PVC/Alfa composites, *Macromolecular Symposia* Volume 321-322, Issue 1, pages 191–196, December 2012
15. F.Z. Arrakhiz and M. Malha, Tensile, flexural and torsional properties of chemically treated alfa, coir and bagasse reinforced polypropylene, *Composites: Part B*, 47 (2013) 35–41
16. A. Bessadok and S. Marais, Effect of chemical treatments of Alfa (*Stipa tenacissima*) fibres on water-sorption properties, *Composites Science and Technology*, 67 (2007) 685–697
17. M. Rokbi and H. Osmani, L'effet des traitements de surface des fibres sur les propriétés mécaniques de composites Polyester-fibres Alfa, 20ème Congrès Français de Mécanique, Besançon, 29 août au 2 septembre 2011
18. F.Z. Arrakhiz and M. Elachaby, Mechanical and thermal properties of polypropylene reinforced with Alfa fiber under different chemical treatment, *Materials and Design* 35 (2012) 318–322
19. B. Bouiri and M. Amrani, Production of dissolving grade pulp from Alfa, *Bioresources*, volume 5, issue 1, pages 291-302.
20. E. Rogge, Extraction et étude des propriétés physiques et mécaniques des fibres d'Alfa (*Esparto grass*) en vue d'applications textiles, Mémoire de maîtrise pour l'obtention du grade académique de master, Génie des matériaux, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud-Alsace (UHA, Mulhouse, France), Année universitaire 2009 – 2010 .