
Viabilité d'utilisation de fibres d'agave lechuguilla dans la construction

Alberto Díaz Díaz, Rubén Castañeda Balderas, Armando Zaragoza Contreras, Aníbal Velázquez Martínez

*Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C.
Miguel de Cervantes 120
Complejo Industrial Chihuahua
31109 Chihuahua, Chih. MEXIQUE
alberto.diaz@cimav.edu.mx*

RÉSUMÉ. Le but de cet article est l'étude de la factibilité de renforcement de matériaux par des fibres d'un cactus du Mexique : l'agave lechuguilla. Deux possibles champs d'application sont explorés : les matériaux structuraux et les enduits. Dans les matériaux structuraux on considère le béton et des polymères standard utilisés dans des matériaux composites. Des analyses physico-chimiques et des essais mécaniques ont été effectués et les résultats montrent que les fibres serviraient plutôt pour le renforcement d'enduits.

ABSTRACT. The aim of this paper is to study the possibility of reinforcement of materials by making use of the fibers of a Mexican cactus called agave lechuguilla. Two possible application fields are explored: structural materials and finishing materials. The structural materials that are considered herein are concrete and standard polymers used in composite structures. Physical and chemical analyses were performed and their results prove that the lechuguilla fibers could be used for reinforcing finishing materials rather than structural materials.

MOTS-CLÉS: fibres naturelles, renforcement, béton, enduit, polymères.

KEYWORDS: natural fibers, reinforcement, concrete, finishing materials, polymers.

1. Introduction

L'utilisation de fibres naturelles comme renfort de matériaux présentent plusieurs avantages par rapport à l'emploi de fibres synthétiques. Par exemple, ces fibres sont moins coûteuses que les fibres de verre et en plus elles sont biodégradables. Dans la construction, les fibres naturelles ont été employées depuis l'antiquité en les mélangeant avec de la boue pour former des briques plus résistantes. Plusieurs types de fibres naturelles ont fait l'objet de nombreuses études. Les fibres de lin ont été étudiées abondamment et grâce aux recherches effectuées elles sont déjà utilisées dans l'industrie automobile comme renfort de polymères (Baley *et al*, 2006). Dans ce travail, les fibres du cactus mexicain *agave lechuguilla* (voir figure 1) sont étudiées afin de déterminer si elles peuvent ou non être utilisées dans des matériaux pour le génie civil.

L'agave lechuguilla est un cactus typique du Nord du Mexique. Il est utilisé surtout pour la production de l'eau de vie nommée Sotol. Dans cette production, les fibres sont des déchets et peuvent être récupérées facilement pour être utilisées pour d'autres produits. Certains articles artisanaux sont élaborés avec ces fibres : brosses, tapis et cordes. Les cordes en fibres de lechuguilla sont employées par exemple pour le dressage du bétail et ont une réputation d'être très résistantes et raides. Ceci, nous a incité à étudier la factibilité de l'utilisation de ces fibres comme renfort d'autres matériaux pour l'industrie du génie civil.



Figure 1. *Agave lechuguilla* (un cactus typique du Nord du Mexique)

Dans ce travail, nous explorons deux champs d'application possibles : le renforcement de matériaux structuraux et le renforcement d'enduits. Ce travail est divisé en trois parties. Premièrement, nous décrivons les matériaux utilisés et les méthodes expérimentales. Ensuite, nous présentons les résultats des analyses. Finalement, nous donnons une réponse à la viabilité d'utilisation de fibres d'agave lechuguilla dans la construction.

2. Travail expérimental

Pour les matériaux structuraux nous considérons le béton et trois types de polymères (polyester, polyéthylène et polyéthylène avec 20% de polypropylène maléaté) qui peuvent servir à créer des structures composites comme des passerelles. Un enduit commercial au Mexique est considéré pour étudier la possibilité de son renforcement moyennant des fibres de lechuguilla.

Dans ce travail, les fibres ont été achetées auprès d'un artisan de cordes. L'artisan avait cueilli et séché les fibres au soleil. Afin de connaître la morphologie des fibres, nous avons mesuré les longueurs et les diamètres de 1000 fibres prises au hasard et puis nous avons analysé la section de quelques fibres dans un microscope électronique à balayage. Ensuite, nous avons mesuré :

- la densité des fibres à l'aide d'un picnomètre
- le taux d'absorption d'humidité de fibres préalablement séchées dans une étuve à 110°C pendant 24h.
- la teneur en produits extrayables à l'alcool-benzène (norme ASTM D1107)
- la teneur en produits extrayables à l'eau chaude (norme ASTM D1110)
- la teneur en lignine (norme ASTM D1106)

Puisque les fibres absorbent de l'humidité, il est important de les traiter pour diminuer cette absorption. Ce traitement peut aussi servir à rendre plus compatibles les fibres avec les différentes matrices. Les groupes OH présents dans la cellulose des fibres sont responsables de cette absorption. Deux traitements ont été considérés afin de diminuer la quantité de ces groupes OH. Le premier consiste à effectuer une estérification avec de l'acide oxalique suivant le schéma de la figure 2. Le second consiste à faire une estérification avec une solution d'anhydride maléique (voir figure 3). L'efficacité des traitements a été vérifiée moyennant une analyse par spectrométrie infrarouge (FTIR).

En ce qui concerne les propriétés mécaniques, nous avons réalisé des essais de traction sur des fibres et des mèches de 10 fibres. Aussi, nous avons développé des essais pour tester la résistance de l'interface fibre/polymère (essais de pull-out), fibre/béton et fibre/enduit. Les deux derniers types d'interface ont été testés moyennant des essais de flexion (norme ASTM C31M-06) avec des éprouvettes renforcées par des mèches de fibres tissées. Les éprouvettes en flexion avaient les dimensions de la figure 4.

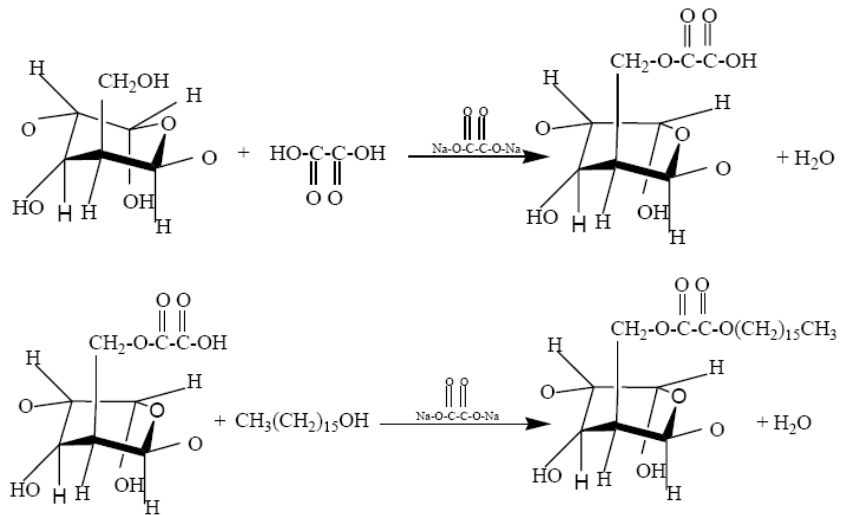


Figure 2. Réactions chimiques du traitement 1

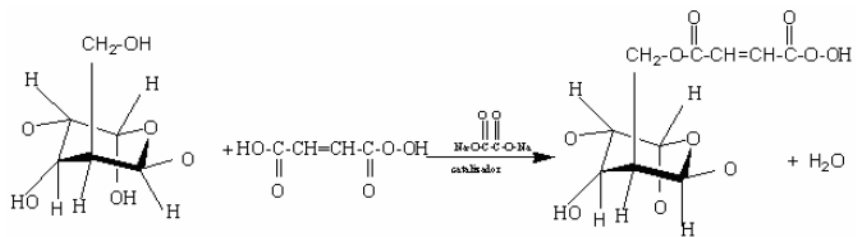


Figure 3. Réaction chimique du traitement 2

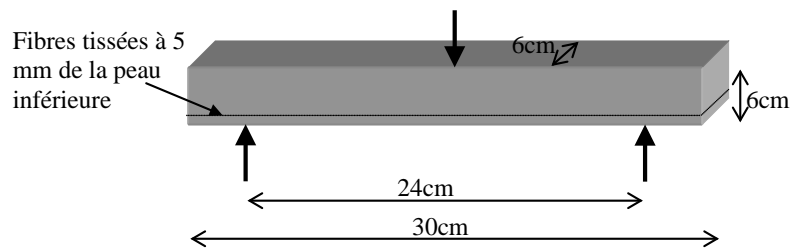


Figure 4. Dimensions des éprouvettes en flexion

3. Résultats

3.1 Morphologie

Dans la figure 5, on montre la densité de probabilité des diamètres des fibres. Une moyenne de 0.36 mm et un écart-type de 0.074 mm ont été calculés. Dans la figure 6, on montre une photographie prise au MEB d'une section d'une fibre. On aperçoit une section ronde avec une petite entaille. Ce type de section est caractéristique des fibres d'agave lechuguilla. Avec un meilleur agrandissement on voit sur la figure 6 que la fibre est constituée à son tour de fibres élémentaires de sorte que la fibre est plutôt un faisceau de fibres élémentaires. La densité de probabilité des longueurs des fibres se trouve sur la figure 5. Une moyenne de 40cm et un écart-type de 4cm ont été calculés.

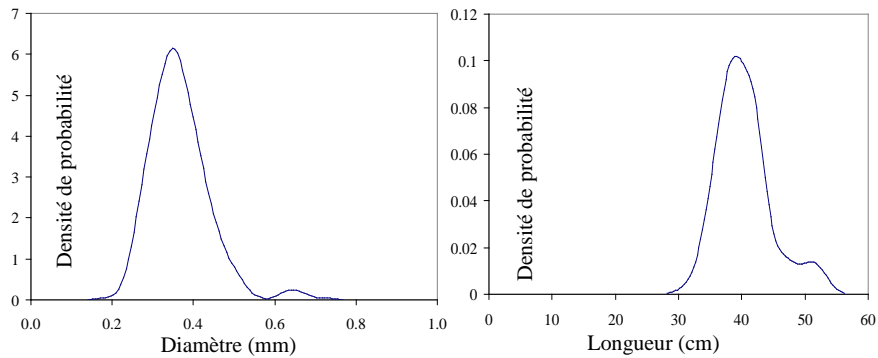


Figure 5. Densité de probabilité des diamètres et des longueurs des fibres

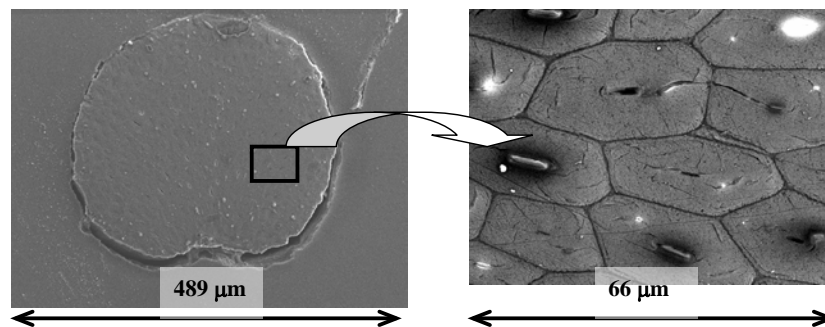


Figure 6. Section transversale d'une fibre de lechuguilla (MEB)

3.2 Caractérisation chimique

Sur le tableau 1, on montre les résultats obtenus par les analyses chimiques des fibres.

Composants de la fibre	% en masse
Lignine	14.65
Holocellulose	83.20
Extrayable avec de l'alcool-benzène	0.41
Extrayable avec de l'eau	1.74

Tableau 1. *Caractérisation chimique des fibres*

La densité de masse des fibres vaut en moyenne 1.79g/cm³. Le pourcentage en masse d'eau absorbée par les fibres vaut en moyenne 55%. Ceci prouve la nécessité de traiter les fibres pour diminuer cette absorption d'humidité. Afin de vérifier que les traitements chimiques servant à diminuer l'hydrophilie des fibres ont bien réagi, nous avons réalisé des analyses par FTIR. Sur la figure 7, on peut voir les résultats des analyses par FTIR des fibres traitées et non traitées. Les réactions d'estérification souhaitées ont bien eu lieu puisque l'intensité du signal des groupes carbonyles C=O a augmenté (1737cm⁻¹ pour les deux traitements) au détriment de l'intensité du signal des groupes C-H (1619cm⁻¹ pour les fibres non traitées), et ceci pour les deux traitements considérés. Ensuite, nous avons mesuré le pourcentage en masse d'absorption d'humidité des fibres traitées et nous avons obtenu une valeur de 40% pour le premier traitement et 45% pour le deuxième traitement. Ceci prouve que les deux traitements ont aidé à diminuer l'absorption d'humidité (comme c'était souhaité).

3.3 Caractérisation mécanique

La figure 8 montre le comportement en traction d'une fibre de lechuguilla. En moyenne, le module d'Young, la contrainte à la rupture et la déformation maximum valent en moyenne 7.39GPa, 184MPa et 6.84%, respectivement. Aussi, nous avons testé en traction des mèches de 10 fibres avec plusieurs valeurs d'angles de torsion (0.3, 0.6, 0.9 et 1.2 tour/cm). Les mèches avec un angles de torsion de 0.6 tour/cm ont eu la meilleure rigidité et résistance. Dans la figure 8, on peut voir le comportement en traction de cette mèche. Afin de quantifier une possible altération des propriétés mécaniques à cause des traitements chimiques, nous avons réalisé des essais de traction sur des mèches traitées et comparé leur comportement avec celui des mèches non traitées. Le traitement a fragilisé les fibres puisque la déformation maximum a diminué. Il en a été de même pour la résistance et la raideur. Sur la figure 9, on montre le comportement en traction d'une mèche traitée avec le traitement 1 et celui d'une mèche non traitée. Le comportement des mèches traitées avec le traitement 2 est semblable.

Viabilité d'utilisation des fibres de lechuguilla 7

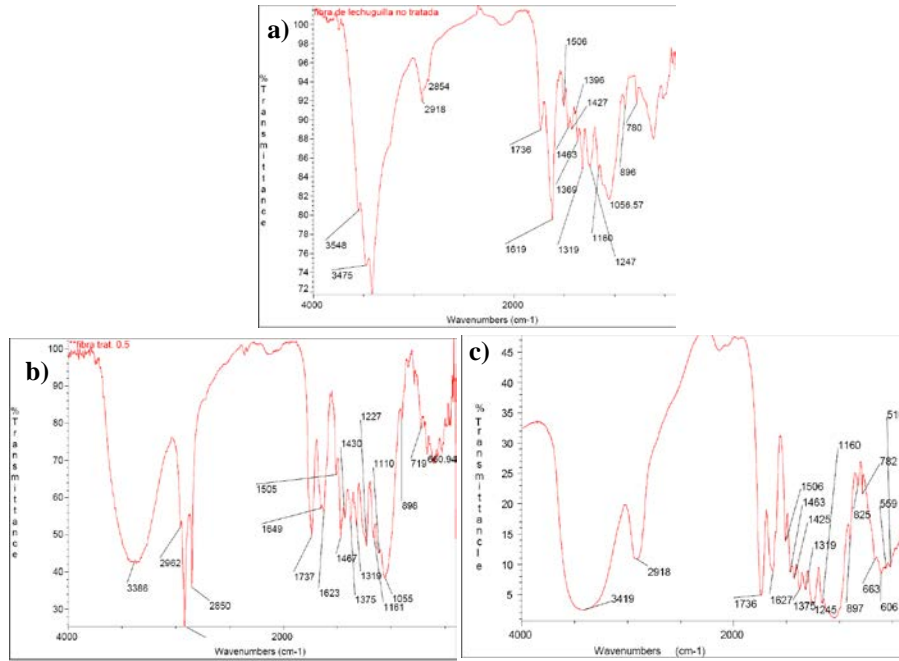


Figure 7. Spectres de FTIR pour les fibres non traitées (a), pour les fibres traitées avec le traitement 1 (b), pour les fibres traitées avec le traitement 2 (c).

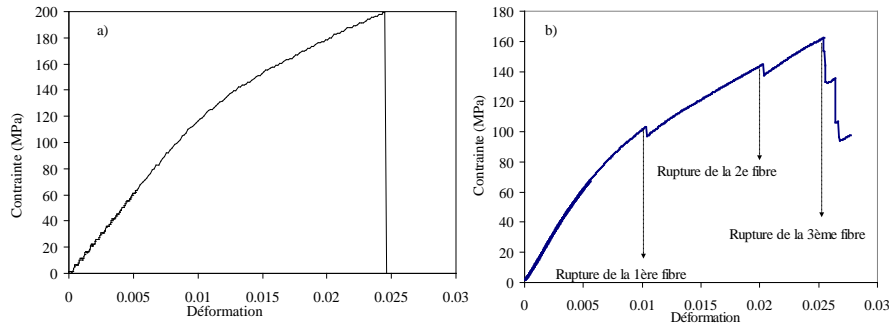


Figure 8. a) Traction d'une fibre, b) traction d'une mèche de 10 fibres (0.6 tour/cm)

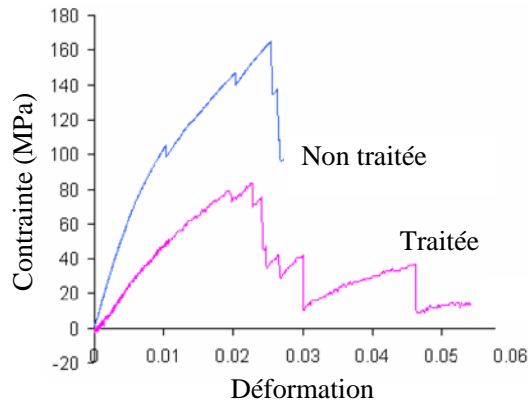


Figure 9. Mèches de 10 fibres traitées (traitement 1) et non traitées en traction

La caractérisation de l'adhérence des matrices polymères sur les fibres de lechuguilla non traitées a été effectuée moyennant des essais de pull-out. Les essais donnent une résistance apparente au cisaillement égale à 20 MPa pour l'interface fibre/polyester, 9MPa pour l'interface fibre/polyéthylène et 19MPa pour l'interface fibre/polethylène + 20% de PPAM. L'adhérence de la fibre avec les matrices polyester et PE modifié sont de bonne qualité. Les adhérences de ces matrices aux fibres traitées sont analogues à celles avec des fibres non traitées.

Les essais de flexion ont prouvé que le béton et l'enduit s'adhèrent bien aux fibres et que les fibres n'incrémentent pas la résistance mécanique de ces matériaux (voir figure 10). La raideur a diminué légèrement dans les deux cas. Les éprouvettes sans fibres cassent de façon fragile alors que celles avec fibres présentent une fissuration importante mais l'éprouvette peut encore se déformer sans fracturer. Ceci prouve que les fibres donnent de la « ductilité » à ces matériaux fragiles.

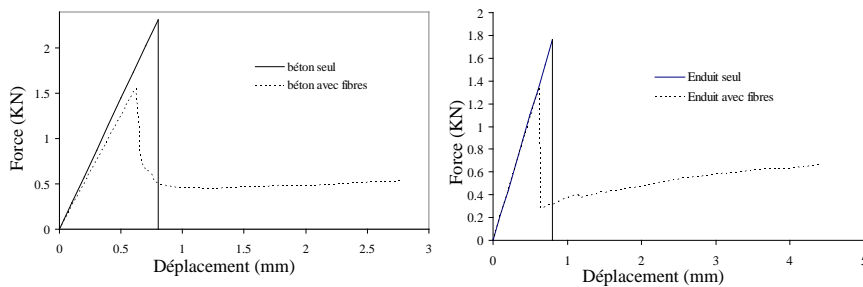


Figure 10. Courbes force-déplacement pour un essai de flexion avec béton seul, béton avec fibres, enduit seul et enduit avec fibres

4. Discussion

Les résultats précédents prouvent que les fibres n'ont pas une raideur suffisante pour être utilisées dans des matériaux structuraux. A titre de comparaison, les fibres de lin ont un module d'Young de 27GPa alors que les fibres de lechuguilla ont un module de 7.4GPa. Dans les âmes des structures sandwich, les fibres pourraient être utilisées avec un polymère pour avoir un matériau léger peu fragile. Dans le béton, ces fibres rendraient le matériau moins fragile en traction mais les propriétés mécaniques du matériau en compression peuvent subir une dégradation. Nous ne conseillons donc pas l'utilisation de ces fibres dans le béton.

La meilleure qualité de ces fibres est sûrement leur ductilité et leur faible coût. Ces propriétés rendent possible l'utilisation de ces fibres pour renforcer des enduits et limiter la propagation des fissures dans ces matériaux. De cette façon, les fibres tissées peuvent résoudre les problèmes de fissuration dans des endroits soumis à des fortes variations de température comme au Nord du Mexique.

Quelle que soit l'application de ces fibres, il est nécessaire de les traiter chimiquement afin de diminuer l'absorption d'humidité pour éviter leur dégradation. Les traitements que nous avons testés dans ce travail ont diminué cette absorption mais nous pensons que d'autres traitements pourraient donner des meilleurs résultats (moins d'absorption d'humidité et moins de dégradation des propriétés mécaniques par le traitement chimique).

5. Conclusion

Dans ce travail, nous avons analysé la viabilité d'utilisation de fibres d'agave lechuguilla dans le génie civil. Nous avons réalisé des analyses chimiques et physiques pour caractériser les fibres. Nous avons mesuré leurs propriétés mécaniques et avons conclu que la résistance et la raideur ne sont pas suffisantes pour des applications structurales malgré ce qu'on aurait pu s'attendre. Néanmoins, les fibres exhibent une bonne ductilité et peuvent alors être utilisées comme renfort des enduits dans des régions où des fortes variations de température provoquent des fissures dans des matériaux de construction. Les essais ont prouvé que les fibres limitent la propagation des fissures et font de ces fibres de bons candidats pour renforcer les enduits pour un coût faible. La présentation du produit de renfort serait alors sous forme de mèches tissées qu'il faudrait clouer au mur avant l'application de l'enduit. D'autres travaux de recherche sont en cours afin d'optimiser le tissage.

6. Bibliographie

Baley C., Perrot Y., Busnel F., Guezenoc H., Davies P., « Transverse tensile behavior of unidirectional plies reinforced with flax fibres », *Materials letters*, vol. 60, 2006, p. 2984-2987.

Velázquez Martínez A. Factibilidad del reforzamiento de polímeros con fibras de lechuguilla (PE y poléster), Thèse de mastère, Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., 2005.

D1106-96. Standard Test Method for Acid-Insoluble Lignin in Wood. American Society for Testing and Materials.

D 1107-96. Standard Test Method for Etanol-Toluene Solubility of Wood. American Society for Testing and Materials.

D1110-84. Standard Test Method for Water Solubility of Wood. American Society for Testing and Materials.