

Mise en œuvre et caractérisation mécanique de matériaux d'emballage à base de feuilles végétales: Cas des feuilles de *Musa sapientum*

[Development and mechanical characterisation of packaging materials based on plant leaves: Case of *Musa sapientum* leaves]

Guy Clarence Semassou¹, Abdou Raïmi Olayimika Ichola Alakouko¹, and Jean-louis Comlan Fannou^{1,2}

¹Laboratoire d'Énergétique et de Mécanique Appliquées (LEMA), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Cotonou, Benin

²National Higher School of Energy and Processes Engineering (ENSGEP), UNSTIM BP 2282 Goho, Abomey, Benin

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The development of biodegradable food packaging is one of the environmental protection issues. The aims of this study is the development and mechanical characterisation of bio-composites that can be used as food packaging based on *Musa sapientum* leaves and cassava starch. The physical characterisation of the constituents showed that the water content of the starch and the leaf fibres used are $10.44 \pm 0.51\%$ and $10.88 \pm 1.08\%$ respectively. The water absorption capacity of the leaf fibres and the starch are respectively $33.33 \pm 4.44\%$ and $76.67 \pm 4.44\%$. Particle size analysis has shown that 99.93% of the fibres used are less than 1mm in size. The material samples were made by compression moulding and are composed of 10 to 25% starch with 50% water. The Young's modulus in bending of the materials produced varies between 0.07 and 3.37 MPa and the breaking strength in bending between 5.48 and 29.29 MPa. These two parameters increase with the starch content. In tensile strength, the materials obtained are fragile and have low deformation at break varying from 0.61% to 1.53%. The tensile strength of these materials varies between 0.01 and 0.99 MPa and increases with the starch content. The best formulations would be those containing 20% starch with 50% water. The process developed could enable the development of innovative materials for biodegradable food packaging.

KEYWORDS: Biodegradable packaging, *Musa sapientum*, Mechanical characteristics, Processing of materials, Starch, materials based on vegetal leaves.

RESUME: Le développement des emballages alimentaires biodégradables est l'une des thématiques de la protection de l'environnement. L'objectif de cette étude est la mise en œuvre et la caractérisation mécanique de biocomposites pouvant servir d'emballage alimentaire à base des feuilles de *Musa sapientum* et de l'amidon de manioc. La caractérisation physique des constituants révèle que les teneurs en eau de l'amidon et des fibres de feuilles utilisées sont respectivement $10,44 \pm 0,51\%$ et $10,88 \pm 1,08\%$. Le pouvoir d'absorption d'eau des fibres de feuilles et de l'amidon sont respectivement $33,33 \pm 4,44\%$ et $76,67 \pm 4,44\%$. L'analyse granulométrique a montré que 99,93% des fibres utilisées ont une taille inférieure à 1mm. Les échantillons de matériaux ont été réalisés par moulage par compression et sont constitués de 10 à 25% d'amidon avec 50% d'eau. Le module de Young en flexion des matériaux produits varie entre 0,07 et 3,37 MPa et la résistance à la rupture en flexion, entre 5,48 et 29,29 MPa. Ces deux paramètres croissent avec le taux d'amidon. En traction, les matériaux obtenus sont fragiles et présentent de faible déformation à la rupture variant de 0,61% à 1,53%. La résistance à la rupture en traction de ces matériaux varie de 0,01 et 0,99 MPa et croit avec le taux d'amidon. Les meilleures formulations seraient celles comportant 20% d'amidon avec 50% d'eau. Le procédé mise au point pourrait permettre d'élaborer des matériaux innovants pour emballage alimentaire biodégradable.

MOTS-CLEFS: Emballage biodégradable, *Musa sapientum*, Caractéristique mécanique, mise en œuvre de matériaux, amidon, matériaux à base de feuilles.

1 INTRODUCTION

Le développement des industries agroalimentaires dans le monde entier a entraîné une augmentation rapide de la demande d'emballages alimentaires en plastique, en particulier dans les pays en développement. Le Bénin, grand consommateur, est constamment approvisionné en emballages plastiques par les pays asiatiques et de la sous-région où l'offre est abondante et moins chère [1]. Cependant, l'utilisation d'emballages en plastique présente de nombreux inconvénients sur la santé de la population et sur l'environnement [2], [3], [4].

Par ailleurs, selon les études de Gbesso G. et al (2015), les espèces végétales *Thalia geniculata*, *Lasimorpha senegalensis*, *Tectona grandis* et *Musa sapientum* sont les plus utilisées par les populations béninoises comme emballage alimentaire [5]. Onzo et al. ont montré aussi qu'il existe plusieurs feuilles végétales utilisées comme emballage alimentaire au Bénin [6]. Ces espèces végétales parmi lesquelles on peut citer *Musa sapientum* et *Thalia geniculata* présentent des activités antimicrobiennes avec les aliments [7] et des caractéristiques physiques, mécaniques, chimiques et de toxicité potentielles permettant de fabriquer des emballages conformes aux normes environnementales, contrairement aux emballages en plastique non biodégradables, dont l'utilisation dans les villes africaines est source de graves pollutions environnementales [8], [9], [10], [11], [12]. D'autres études ont prouvé la disponibilité au Bénin d'une quantité importante des feuilles de *Musa sapientum* pour la fabrication de matériaux d'emballages [12]. Il existe également plusieurs procédés pouvant permettre la mise en œuvre et la fabrication d'emballage alimentaire à base de feuilles végétales en générale et des feuilles de *Musa sapientum* en particulier [13], [14], [15], [16].

Tous ces travaux ont montré la disponibilité des feuilles de *Musa sapientum*, leur potentiel pour la fabrication d'emballage alimentaire et la nécessité de produire ces emballages à base de feuilles végétales. Mais ces emballages n'existent pas encore sur les marchés. Il serait alors judicieux de produire des emballages alimentaires biodégradables et modernes à partir de ces espèces végétales.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du développement de matériaux d'emballage alimentaire biodégradables à base de feuilles végétales au Bénin. Dans le présent document, les feuilles de *Musa sapientum* avec l'amidon du manioc ont permis d'obtenir des matériaux par le procédé de moulage. Ces matériaux sont des matériaux composites biosourcés à fibre courtes [17]. Les caractéristiques mécaniques en flexion et en traction ont été évaluées pour trouver la meilleure formulation pouvant donner de bonnes caractéristiques mécaniques. Ces caractéristiques dépendent de la composition (massique ou volumique) des matériaux et aussi des caractéristiques physicochimiques (teneur en eau, pouvoir d'absorption d'eau, distribution granulométrique...) des constituants [17], [18], [19]. Les constituants (amidon et feuille de *Musa sapientum*) de ces composites ont été caractérisés également.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIAUX

Les feuilles de *Musa sapientum* utilisées ont été cueillies sur le site de l'Université d'Abomey-Calavi (latitude: 6.4130 °N, longitude: 2.3450 °E) en République du Bénin (figure 1a). L'amidon de manioc utilisé est issu de la production du *gari* (farine de manioc) au Sud du Bénin. Il a servi de liant (figure 1b). En plus de ces deux, l'eau a été utilisée.



Fig. 1. Matériaux utilisés: (a) Feuilles de *Musa sapientum* fraîches (b) Amidon de manioc

2.2 MATÉRIELS

2.2.1 MATÉRIELS DE CARACTÉRISATION DES CONSTITUANTS ET D'ÉLABORATION DU COMPOSITE

Les travaux de synthèse et de caractérisation des constituants ont été réalisés grâce à la verrerie de laboratoire, une étuve de marque « Memmert » et de portée maximale 200°C (figure 2a), un moulin de céréales pour broyer les feuilles sèches, une balance de portée 65kg et de précision 1g (figure 2b) et une série de tamis. Les matériaux ont été mis en œuvre grâce à un moule de dimension 200 mm x 300 mm et d'épaisseur maximale de 50 mm (figure 2c), monté sur une presse hydraulique de capacité 15 000 kN avec une précision de 5 kN (figure 3). Un thermostat, une plaque chauffante et d'autres éléments ont été également utilisés pour la mise en œuvre.



Fig. 2. Matériel de synthèse et de mise en œuvre: (a) Etuve (b) Balance (c) Moule

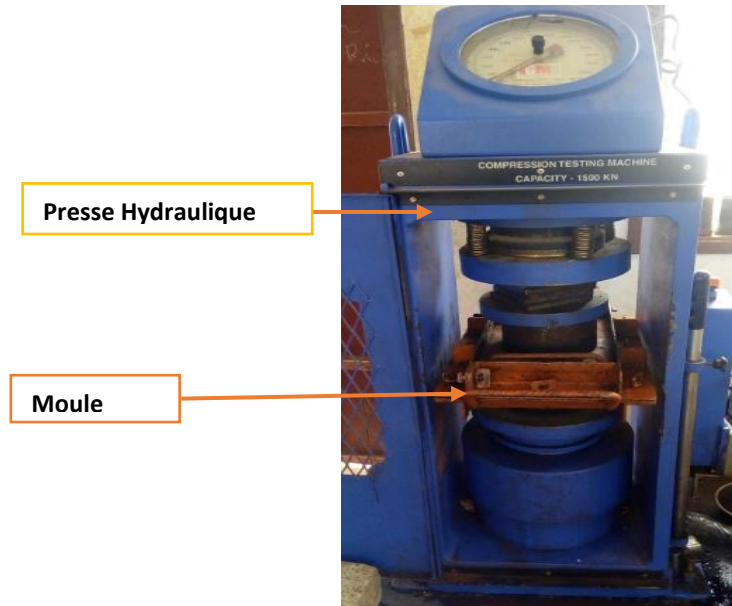


Fig. 3. Dispositif de mise en œuvre des matériaux

2.2.2 MATÉRIELS DE CARACTÉRISATION MÉCANIQUE

La caractérisation mécanique a été faite en traction et en flexion 3-points. Le dispositif de la figure 4a a été utilisé pour réaliser les essais de flexion 3-points. Il est muni d'un comparateur de sensibilité 0,01 mm. La figure 4b présente le dispositif qui permet d'évaluer les propriétés des matériaux à la rupture par traction. Il est muni d'un capteur de poids de sensibilité 1N.

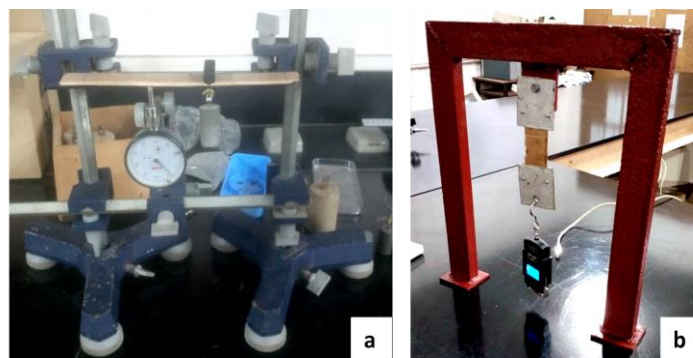


Fig. 4. Matériel de caractérisation mécanique: (a) Dispositif d'essai de flexion 3-points (b) Dispositif d'essai de traction

2.3 MÉTHODES

2.3.1 SYNTHÈSE DES MATIÈRES PREMIÈRES

Les matières premières utilisées (feuilles de *Musa sapientum* et amidon de manioc) ont été traitées. Les feuilles ont été séchées (figure 5a), puis broyées pour obtenir une mouture (fibre courte) des feuilles de *Musa sapientum* sèches (figure 5b).

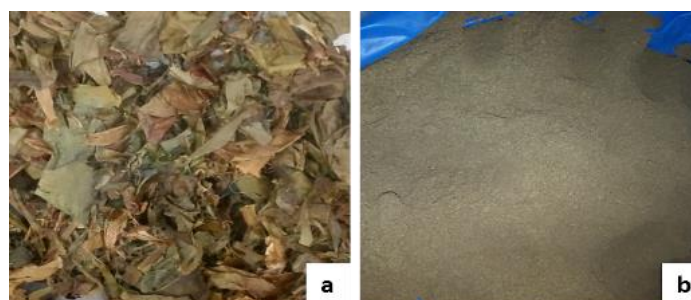


Fig. 5. Obtention des fibres: (a) feuilles sèches (b) Fibres courtes de feuille de *Musa sapientum*

2.3.2 CARACTÉRISATION DES CONSTITUANTS

La teneur en eau H , le pouvoir d'absorption d'eau A des deux constituants ont été déterminées. La teneur en eau a été évaluée selon la norme NF P 94-050 [20] et le pouvoir d'absorption d'eau selon la norme NF P 18 – 555 [21]. Les expressions (1) et (2) ont été utilisées à cet effet.

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

$$A = \frac{m_t - m_s}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

La distribution granulométrique des fibres a été évaluée selon la norme NF P94-056 [22]. Les fibres sont passées dans une série de tamis de 80 μ m à 2 mm pour obtenir la courbe traduisant cette distribution.

2.3.3 MÉTHODE D'ÉLABORATION DU COMPOSITE

Les composites ont été obtenus à base d'un liant et des fibres de feuilles de *Musa sapientum* par le procédé de moulage à froid par compression. Le liant est une colle d'amidon préparé à une température comprise entre 70 °C et 80 °C. Cette plage de température permet la gélification totale de l'amidon avec une teneur en eau supérieure à 60% pour obtenir une colle [23], [24], [25]. Les étapes d'élaboration des échantillons se regroupent à la préparation du liant, la préparation du mélange

de fibre et du liant, le moulage à froid par compression et le séchage. La figure 6 présente les différentes étapes de mise en œuvre des matériaux produits.

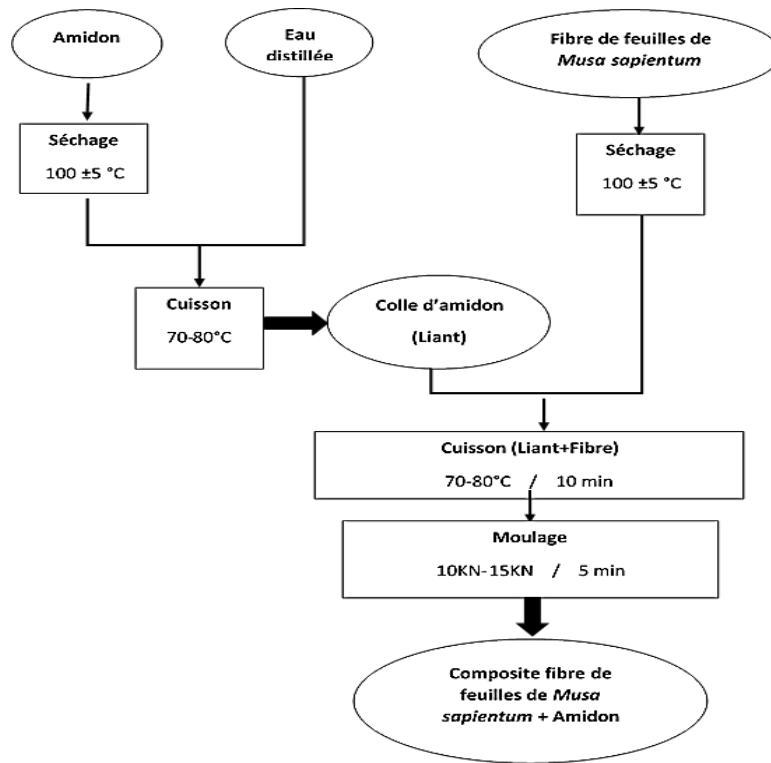


Fig. 6. Méthodologie de fabrication des matériaux

Ces matériaux ont été produits avec 50% d'eau. La composition et la nomenclature des échantillons est dans le tableau 1.

Tableau 1. Désignation des échantillons

Désignations	A10M40	A15M35	A20M30	A25M25
% Amidon	10	15	20	25
% Fibres	40	35	30	25

2.3.4 MÉTHODES DE CARACTÉRISATION MÉCANIQUE

2.3.4.1 ESSAI DE FLEXION 3-POINTS

L'essai de flexion 3-points consiste à déterminer la déformation d'un barreau rectangulaire (éprouvette) reposant sur deux appuis par l'intermédiaire d'un poinçon appliqué à égale distance des appuis et se déplaçant à vitesse constante. C'est la méthode la plus couramment rencontrée. Elle fait l'objet de plusieurs normes dont la norme EN ISO 17.

Les essais de flexions dans cette étude ont été faits selon la norme EN ISO 17. Il s'agit d'enregistrer la flèche y en fonction de la force F à partir de laquelle il est possible de calculer la contrainte à la rupture et le module d'Young. Le principe d'essai est représenté à la figure 7.

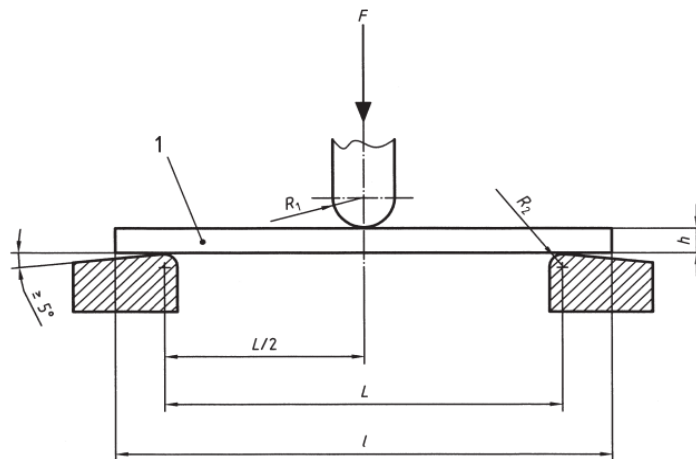


Fig. 7. Principe de l'essai de flexion 3-points selon la norme EN ISO 178 [26]

Le rapport l/h des éprouvettes est 20 ± 1 et la largeur b est $10 \pm 0,2 \text{ mm}$ selon les spécificités de la norme. Le module de Young E et la résistance à la rupture en flexion σ_r sont calculé à partir des expressions suivantes:

$$\sigma_r = \frac{3.F_r.L}{2.b.h^2} \quad [26] \quad (3)$$

$$E = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{y_1 - y_2} \quad [26] \quad (4)$$

2.3.4.2 ESSAI DE TRACTION

L'essai de traction est la plus utilisée des essais de caractérisation mécanique car elle permet de déterminer plusieurs propriétés du matériau. Il consiste à enregistrer l'allongement produit par une charge axiale et centripète sur une éprouvette. Les conditions d'essais, les dimensions des éprouvettes et d'autres paramètres font l'objet de plusieurs normes. La norme EN ISO 527-1 a été utilisée dans cette étude à cet effet. Le principe de l'essai de traction peut être schématisé par la figure 8.

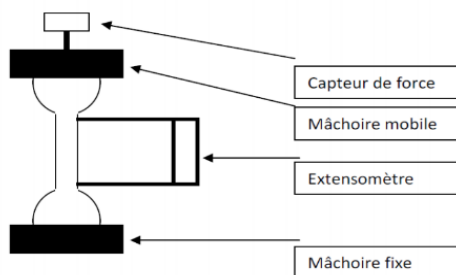


Fig. 8. Principe de l'essai de traction [27]

Les éprouvettes utilisées sont droites de dimensions environs $30 \times 100 \text{ mm}^2$. La résistance à la rupture τ et la déformation à la rupture ε_r ont été déterminées par les expressions suivantes:

$$\tau = \frac{F}{S} \quad [28] \quad (5)$$

$$\varepsilon_r = \frac{l_f - l_0}{l_0} \quad [28] \quad (6)$$

Le mode rupture également a été évalué.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 CARACTÉRISTIQUES DES CONSTITUANTS

3.1.1 TENEUR EN EAU

A la suite des essais réalisés, la teneur en eau de l'amidon est de $10,438 \pm 0,507$ % et celle des fibres de feuilles de *Musa sapientum* est de $10,881 \pm 1,079$ %. Ces résultats cadrent avec les propriétés de l'amidon obtenues dans les travaux de LAQUINI, où la teneur en eau des grains d'amidon est généralement de 10% [29]. De plus, la teneur en eau des amidons examinés par Maldonado Alvarado est comprise entre 6 et 15% [23].

3.1.2 POUVOIR D'ABSORPTION D'EAU

Des essais de détermination du pouvoir d'absorption d'eau des matières premières, il en ressort que l'amidon peut absorber jusqu'à $76,67 \pm 4,44$ % d'eau tandis que cette caractéristique est de $33,33 \pm 4,44$ % pour la mouture de feuilles. Cette propriété de l'amidon de manioc utilisé est proche des résultats des études de Sidibe D. et al.; selon cet auteur, le pouvoir d'absorption d'eau de l'amidon avoisine 74% [30].

3.1.3 DISTRIBUTION GRANULOMÉTRIQUE DES FIBRES

La courbe de la distribution granulométrique obtenue à l'issu de l'essai est présentée à la figure 9. Cette courbe montre que 99,93% des fibres de feuilles utilisées ont une taille inférieure à 1 mm.

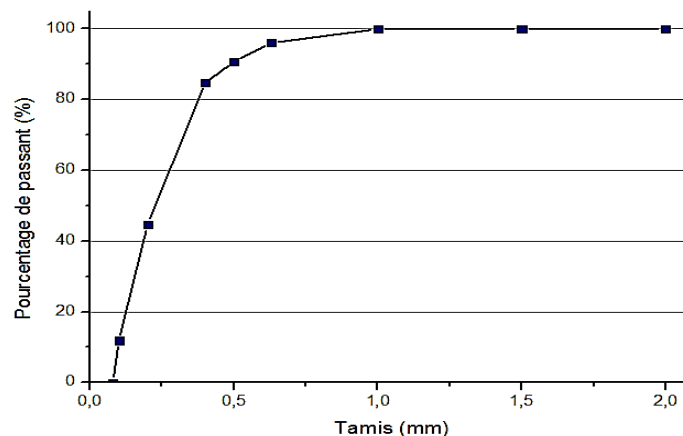


Fig. 9. Distribution granulométrique des fibres

3.2 MISE EN ŒUVRE DU COMPOSITE

Les différents types de matériaux obtenus selon les différentes formulations retenues sont présentés à la figure 10. L'épaisseur des panneaux varient entre 3mm et 7mm. On remarque qu'à partir de 20% d'amidon, la texture est plus continue et le matériau n'est pas friable. On peut conclure qu'au moins 20% d'amidon serait nécessaire pour avoir de bons matériaux d'emballage avec les feuilles de bananier broyées. L'analyse des résultats des essais de caractérisation mécanique permet de mieux conclure.



Fig. 10. Matériaux obtenus après moulage

Les éprouvettes de flexion et celles de traction réalisées selon les normes suscitées sont présentées à la figure 11.

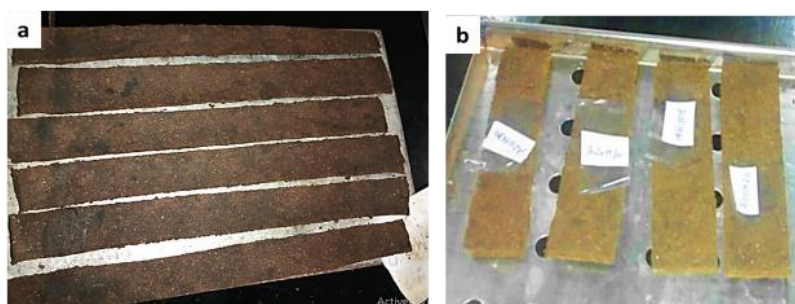


Fig. 11. Eprouvette d'essais: (a) Flexion (b) Traction

3.3 CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES EN FLEXION DES MATÉRIAUX

3.3.1 RÉSULTATS DES ESSAIS DE FLEXION

Les valeurs des modules de Young et des résistances à la rupture en flexion sont dans le tableau 2.

Tableau 2. Valeurs du Module de Young et de la résistance à la rupture en flexion

Matériaux	A10M40	A15M35	A20M30	A25M25
E (MPa)	0,07	0,20	1,15	3,37
σ_r (MPa)	18,57	31,35	88,90	99,29

Le module de Young en flexion des matériaux obtenus varie entre 0,07 et 3,37 MPa et la résistance à la rupture en flexion, entre 18,57 et 99,29 MPa.

3.3.2 EVOLUTION DU MODULE DE YOUNG EN FONCTION DU TAUX D'AMIDON

La figure 12 présente l'évolution du module de Young avec le taux d'amidon. Cette figure montre que le module de Young croît avec le taux d'amidon. De plus, entre un taux d'amidon de 20% et 25%, il y a une montée remarquable de E, une augmentation de 193% de E.

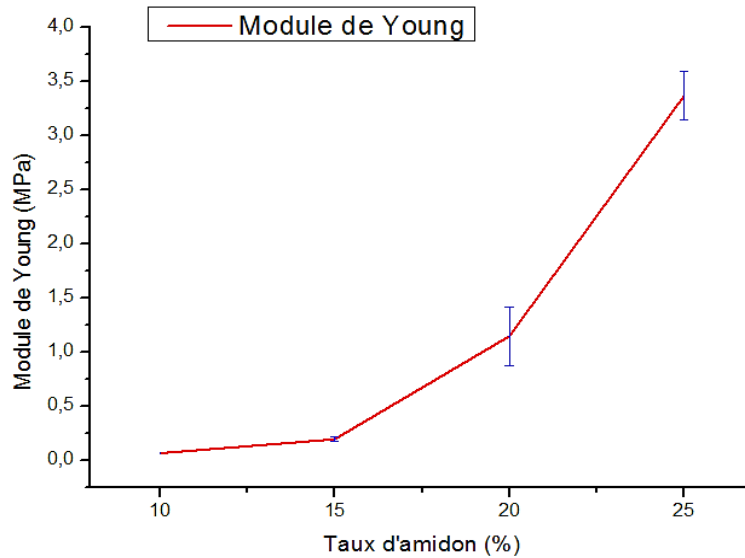


Fig. 12. Module de Young en flexion

3.3.3 EVOLUTION DE LA RÉSISTANCE À LA RUPTURE EN FLEXION EN FONCTION DU TAUX D'AMIDON

L'évolution de la résistance à la rupture en flexion en fonction du taux d'amidon est présentée sur la figure 13. Elle montre que la résistance à la rupture en flexion croît avec le taux d'amidon. Par ailleurs, entre les taux d'amidon de 20% et 25%, il n'y a pas une montée significative de la résistance à la rupture. Il y a une augmentation de 11,69%, tandis qu'entre 15% et 20%, elle est de 183,57%.

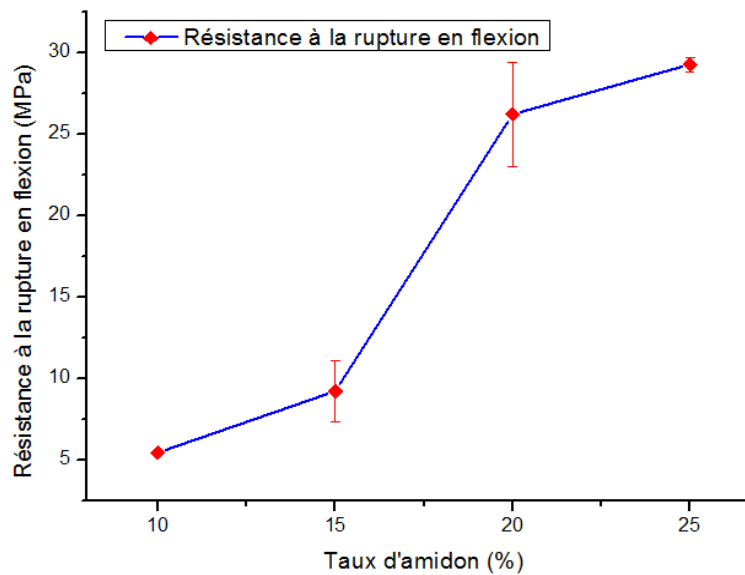


Fig. 13. Résistance à la rupture en flexion

3.3.4 CORRÉLATION ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES EN FLEXION

Pour mieux appréhender l'évolution des propriétés mécaniques en flexion des composites fabriqués, la figure 14 nous présente sur un même graphique l'évolution du module de Young et de la résistance à la rupture en flexion.

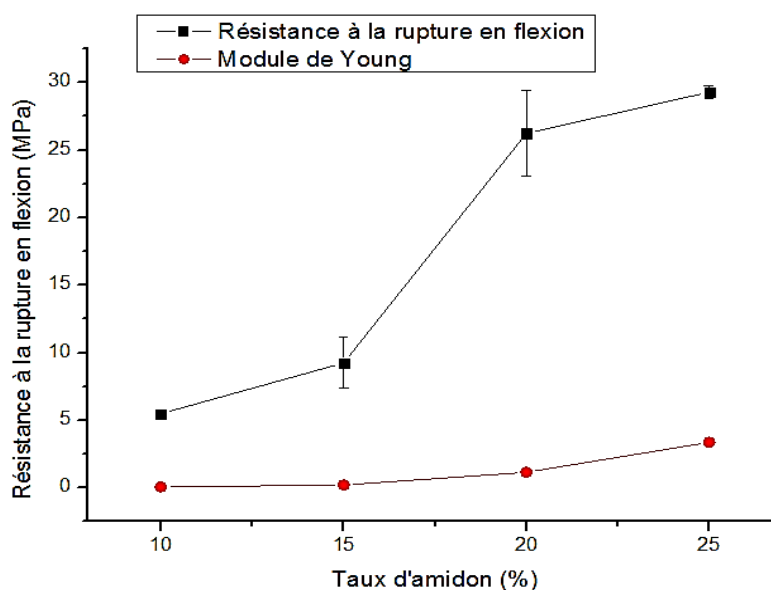


Fig. 14. Evolution conjointe de la Résistance à la rupture et du Module de Young en flexion

Les deux paramètres ont une évolution exponentielle, mais cette figure montre que vers 25% d'amidon, la croissance de la résistance à la rupture diminue considérablement (de 183,57% à 11,69%) tandis que celle du module de Young fait une montée de 193%.

3.4 CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES EN TRACTION DES MATÉRIAUX

3.4.1 RÉSULTATS D'ESSAIS DE TRACTION

Les essais de traction réalisés ont permis de déterminer la résistance à la rupture τ et la déformation à la rupture ε_r des matériaux mis en œuvre. Les résultats de ces essais sont récapitulés dans le tableau 3.

Tableau 3. Résultats des essais de tractions

Matériaux	A10M40E50	A15M35E50	A20M30E50	A25M25E50
ε_r (%)	0,61	1,53	1,26	0,66
τ (MPa)	0,01	0,43	0,56	0,99

La déformation à la rupture en traction des matériaux varie entre 0,61 et 1,53% alors que la résistance à la rupture en traction varie de 0,01 et 0,99 MPa.

3.4.2 EVOLUTION DE LA RÉSISTANCE À LA RUPTURE EN TRACTION EN FONCTION DU TAUX D'AMIDON

L'évolution de résistance à la rupture en traction en fonction du taux d'amidon est présentée sur la figure 15.

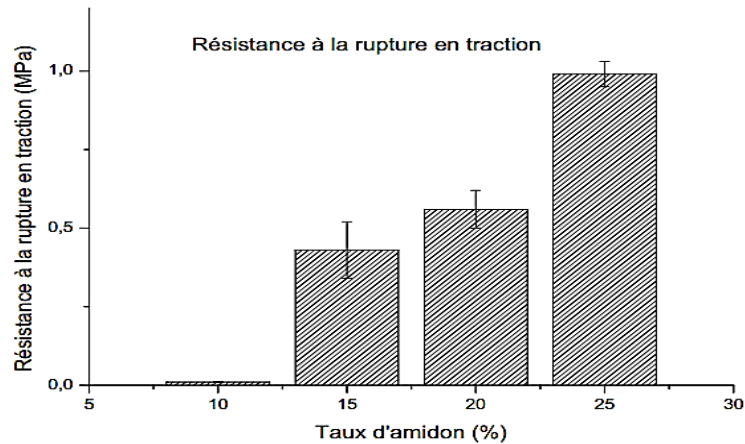


Fig. 15. Résistance à la rupture en traction

La résistance à la rupture par traction croît avec le taux d’amidon. De plus, entre 15% et 20% d’amidon, il n’y a pas une augmentation significative de la résistance à la traction. Elle est de 23,21%, alors qu’elle devient 43,43% entre 20% et 25%. Ces valeurs sont dix fois inférieures aux valeurs de la résistance à la rupture en traction des feuilles de *Musa sapientum* (traitées ou non) qui varient entre 9,9 et 20,21 MPa.

3.4.3 ÉVOLUTION DE LA DÉFORMATION À LA RUPTURE EN FONCTION DU TAUX D’AMIDON

L’évolution de la déformation à la rupture en fonction du taux d’amidon dans le matériau est présentée à la figure 16.

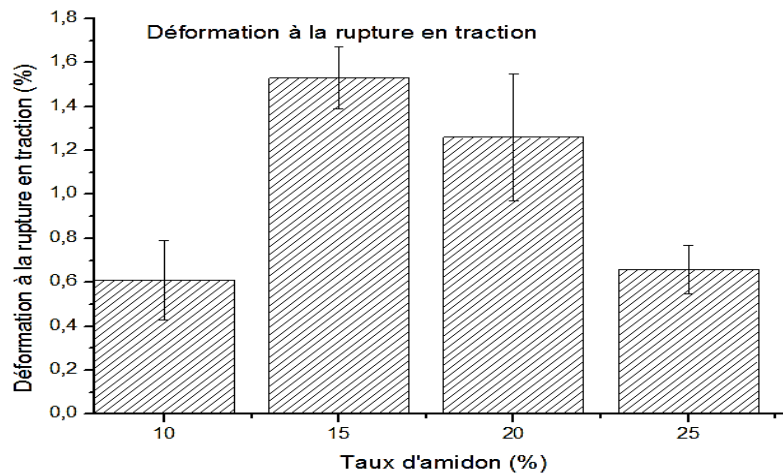


Fig. 16. Déformation à la rupture en traction

Les déformations à la rupture des matériaux sont très faibles. Ceci explique le comportement fragile à la rupture observé. De plus, contrairement aux autres paramètres, la déformation à la rupture n’admet pas une évolution (croissante ou décroissante) en fonction du taux d’amidon. A un taux de 15%, on observe une déformation maximale de 1,53%, et ceci diminue avec l’augmentation du taux d’amidon.

3.4.4 COMPARAISON DES RÉSISTANCES À LA RUPTURE EN TRACTION ET EN FLEXION

A présent, il serait judicieux de comparer les résistances à la rupture en traction et en flexion des matériaux obtenus. Ces valeurs sont récapitulées dans le tableau 4.

Tableau 4. Comparaison des résistances en Flexion et en Traction

Matériaux	A10M40	A15M35	A20M30	A25M25
σ_r (MPa)	5,48	9,25	26,23	29,29
τ (MPa)	0,01	0,43	0,56	0,99

Ce tableau montre que les résistances à la rupture en flexion sont au moins vingt (20) fois plus grandes que celles obtenues en traction. Cette comparaison est bien visible sur la figure 17.

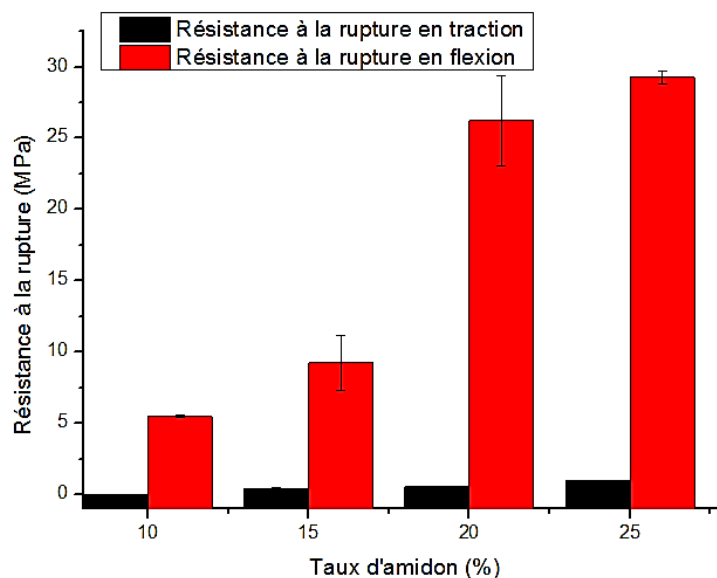


Fig. 17. Comparaison des résistances à la rupture

3.4.5 ANALYSE DES MODES DE RUPTURES

L'analyse du mode de rupture par traction d'un matériau permet d'identifier le caractère fragile ou ductile de ce dernier. La figure 18 présente les images des éprouvettes de traction après rupture.

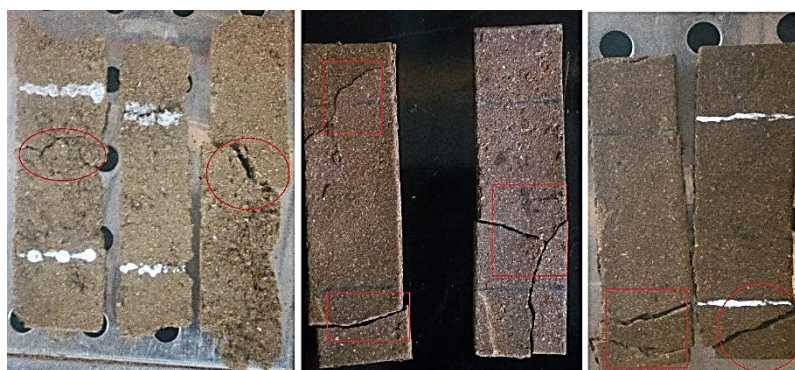


Fig. 18. Mode de rupture des matériaux

Cette figure montre que la rupture de matériaux testés est fragile, brusque et sans une déformation plastique remarquable. De plus, il y a aussi des fissures dans les matériaux après la rupture. Ce comportement est normal car de façon générale, le

comportement des biopolymères est de type dur et fragile, avec l'apparition d'un seuil de plasticité et une certaine ductilité plus ou moins prononcée en fonction de leur taux de plastification [31].

4 CONCLUSION

Au terme de ce travail, le procédé de moulage à froid par compression permettrait de réaliser de nouveaux matériaux pouvant servir dans la fabrication d'emballages biodégradables à base des fibres courtes de feuilles de *Musa sapientum* et de l'amidon de manioc. Ces matériaux sont fragiles et présentent une rupture brusque à la traction avec une déformation à la rupture très faible comme la plupart des matériaux composites à base de biopolymères. Les formulations de matériaux pouvant permettre d'avoir de meilleures caractéristiques mécaniques serait celle contenant 20% d'amidon avec 50% d'eau.

Pour les travaux futurs sur cette étude, il serait nécessaire d'étudier l'influence sur les caractéristiques mécaniques des matériaux du procédé d'élaboration du composite, de la granulométrie des fibres et du type de liant utilisé.

NOMENCLATURE

m_0 : la masse de l'échantillon humide (g)	Error! Objects cannot be created from editing field codes. : Résistance à la rupture en flexion (MPa)
m_1 : la masse de l'échantillon humide et du creuset (g)	E : Module de Young en flexion (MPa)
m_2 : la masse de l'échantillon sec et du creuset (g)	Error! Objects cannot be created from editing field codes. : Résistance à la rupture en traction (MPa)
m_s : la masse initiale de l'échantillon sèche (g)	F : Force de traction (N)
m_t : la masse de l'échantillon après absorption (g)	S : Section de l'éprouvette de traction (mm ²)
l : la longueur de l'éprouvette (mm)	Error! Objects cannot be created from editing field codes. : Déformation à la rupture en traction (%)
L : la longueur entre les appuis (mm)	Error! Objects cannot be created from editing field codes. : Longueur finale de l'éprouvette (mm)
h : l'épaisseur de l'éprouvette (mm)	Error! Objects cannot be created from editing field codes. : Longueur initiale de l'éprouvette (mm)
Error! Objects cannot be created from editing field codes. : la contrainte normale de flexion (MPa)	F : la force de flexion (N)
Error! Objects cannot be created from editing field codes. : la déformation correspondante à Error! Objects cannot be created from editing field codes. (mm)	F_r : la force de rupture (N)

REFERENCES

- [1] AKIYO, O. L. R., 2017. Consommation de l'eau en sachet et ses effets socio-environnementaux dans la commune de Parakou. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Août, 11 (04), pp. 1727-1740.
- [2] ALAKOUKO, A. R., 2019. Mise en oeuvre et caractérisation mécanique d'agro matériaux d'emballage: cas de l'espèce *Musa sapientum*, Abomey Calavi: Ecole Doctorale Science De l'Ingénieur.
- [3] Alvarado, P. G. M., 2014. Facteurs déterminants du pouvoir de panification de l'amidon de manioc modifié par fermentation et irradiation UV, France: UNIVERSITÉ MONTPELLIER 2.
- [4] Amit, J. & Ramdhonee, P., 2017. Production of wrapping paper from banana fibres. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.
- [5] Armand, D., 2014. Etude des valorisations des propriétés thermophysiques et de la durabilité, en fonction de l'humidité des éco-matériaux de construction au Bénin, Abomey Calavi: Ecole Doctorale Science de l'Ingénieur.
- [6] Association Française de Normalisation, 1990. *NF P 18 – 555*. France: AFNOR.
- [7] Association Française de Normalisation, 1995. *NF P94-050*. France: AFNOR.
- [8] Association Française de Normalisation, 1996. *NF P94-056*. France: AFNOR.
- [9] Asté, M., 1995. Valorisation du manioc en Amérique Latine, Cali: CIAT.
- [10] Atul, K., B., P. S., R., K. J. & A., K. S., 2013. Banana Fibre (*Musa sapientum*): "A Suitable Raw Material for Handmade Paper Industry via Enzymatic Refining ". *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Octobre, 2 (10).

- [11] Berthelot, J.-M., 2013. *Mécanique des Matériaux et Structures Composites*. Le Mans: Institut Supérieur des Matériaux et Mécaniques Avancés.
- [12] Borchani, K., 2016. Développement d'un composite à base d'un polymère biodégradable et de fibres extraites de la plante d'Alfa, Tunisie: École Nationale d'Ingénieurs de Sfax.
- [13] Chevalier, Y., 1985. *Comportements élastique et viscoélastique des composites*. Institut Supérieur des Matériaux et de la Construction Mécanique: s.n.
- [14] Conseil de la transformation agro-alimentaire et des produits de consommation, 2010. *Guide de l'emballage alimentaire*. Quebec: CTAC.
- [15] Cravedi, J.-P. et al., 2007. Le concept de perturbation endocrinienne et la santé humaine. *Médecine sciences*, Février, pp. 198-204.
- [16] Daouda, S. et al., 2009. Comportement hydrothermique des amidons de 4 variétés de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) cultivées en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Décembre, 3 (6), pp. 1467-1479.
- [17] English, B., Chow, P. & Bajwa, D., 1997. Paper and Composites from Agro-Based Resources. Dans: *Processing into Composites*. New York: CRC Lewis Publishers Boca Raton, pp. 269-299.
- [18] European Standard, 2003. EN ISO 178: Determination of flexural properties. s.l.: ISO.
- [19] European Standard, 1996. EN ISO 527-1: General principles for the determination of tensile properties. s.l.: ISO.
- [20] FANCHON, J. L., 1998. *Guide de mécanique*. Turin: NATHAN.
- [21] Gbesso, F., Gbaguidi, M. & Gbesso, F., 2015. Aspects socio-économiques des emballages-feuilles des zones humides du sud Bénin. *European Scientific Journal*, Novembre, 11 (32).
- [22] Geneau, C., 2006. Procédé d'élaboration d'agromatériau composite naturel par extrusion bivis et injection moulage de tourteau de tournesol, TOULOUSE: INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE.
- [23] GENEAU, C., 2006. Procédé d'élaboration d'agro-matériau composite naturel par extrusion bivis et injection moulage de Tourteau de tournesol, Toulouse: ECOLE DOCTORALE: Transferts, Dynamique des Fluides, Énergétique et Procédé.
- [24] Gornet, L., 2011. *Généralités sur les matériaux composites*. France: École Centrale de Nantes.
- [25] Guerira, B., 2005. Chapitre I: Généralités sur les matériaux composites. s.l.: s.n.
- [26] Hayett, B. & Hayet, M., 2015. Effets d'une exposition continue à un migrant d'emballage alimentaire « bisphénol A » chez le rat Wistar, Algérie: UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA.
- [27] Himeda, M., 2012. Propriétés physico-chimiques et rhéologiques de la farine et de l'amidon de taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) variété Sosso du Tchad en fonction de la maturité et du mode de séchage, Lorraine: Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires.
- [28] Hounhouigan, 2000. Matières végétales au Bénin: Un potentiel d'emballages biodégradables. *Bulletin du Réseau TPA*, Volume 17.
- [29] Imam, Z. M. & Akter, S., 2011. *Musa paradisiaca* L. and *Musa sapientum* L.: A Phytochemical and Pharmacological Review. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 01 (05), pp. 14-20.
- [30] Kpadjouda, R., 2019. Caractérisation physique, thermique et chimique de nouveaux matériaux issus de la biomasse végétale pour l'élaboration des panneaux d'isolation thermique., Abomey Calavi: Université d'Abomey Calavi.
- [31] LAOUINI, W., 2011. *Propriétés fonctionnelles de l'amidon irradié*, Carthage: Université du 7 Novembre à Carthage.
- [32] Onzo, C. et al., 2014a. Caractéristiques physico-chimiques, phytochimiques et toxicité des espèces végétales utilisées comme emballages alimentaires en Afrique de l'Ouest. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Aout, 4 (8), pp. 1504-1516.
- [33] Onzo, C. F. et al., 2015. Évaluation de l'activité antimicrobienne de quatre feuilles utilisées comme emballages dans l'artisanat agroalimentaire au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, Novembre, p. 9015 – 9027.
- [34] Onzo, C., Toukourou, C., Azakpota, P. & Yandjou, H., 2014b. Caractérisation physique et mécanique de *Thalia geniculata* et de *Musa sapientum*, deux espèces de feuilles végétales utilisées comme emballage alimentaires en Afrique de l'Ouest. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8 (4).
- [35] Onzo, F. C., Azokpota, P. & Agbani, P., 2013. Biodiversité des feuilles végétales utilisées comme emballages dans l'artisanat agroalimentaire au Sud du Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, Volume 72, p. 5810– 5821.
- [36] Petersen, K. et al., 1999. Potential of biobased materials for food packaging. *Trends in Food Sci. Technol.*, Issue 10, pp. 52-68.
- [37] Rohwer, J.-G., 2012. *Guide des plantes tropicales: à l'état sauvage ou acclimatées*. Paris: Delachaux et Niestlé.
- [38] Rutot, D. & Dubois, P., 2004. Les (bio) polymères biodégradables: l'enjeu de demain ?. *Chimie des matières renouvelables*, juin, Issue 86, pp. 66-75.
- [39] Semassou, G. C., Alakouko, A. R. & Chegnimonhan, K. V., 2020. Development of biodegradable food packaging materials based on vegetable leaves in Benin: case of the *Musa sapientum* species (Review). *International Journal of Scientific Research and Development*, 1 Décembre, 8 (9), pp. 209-215.

- [40] Serier, A. & Aoufi, 2017. Development of new biodegradable packaging. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 9 March, 3 (2), pp. 55-163.
- [41] Soulama, S., 2014. Caractérisation mécanique et thermique de biocomposites à matrice polystyrène recyclé renforcée par des coques de cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.), ou de particules de bois de kénaf (*Hibiscus Cannabinus* L.), Montbéliard: Université de Technologie de Belfort.
- [42] Stevens, E. S., 2002. *Green Plastics: An Introduction to the New*. s.l.: Princeton University Press.
- [43] YANDJOU, J. H., 2012. Caractérisation physico-mécanique de thalia welwitschii et de musa sapientum, deux espèces de feuilles végétales utilisées pour l'emballage de l'akassa au Bénin, Abomey Calavi: Université d'Abomey Calavi.
- [44] Zawawi, I. et al., 2016. Dimensional Stability Properties of Medium Density Fibreboard (MDF) from Treated Oil Palm (*Elaeis guineensis*) Empty Fruit Bunches (EFB) Fibres. *Open Journal of Composite Materials*, Issue 6, pp. 91-99.