

Caractérisation mécanique du composite bois polymère

Jonathan GUIDIGO^{1,2*}, Eusèbe AGOUA¹, Valéry DOKO¹, Emmanuel OLODO¹,
André MERLIN² et Edmond C. ADJOVI¹

¹Laboratoire d'Énergie Mécanique et de Mathématiques Appliqué (LEMA), Université d'Abomey-Calavi (UAC),
01 BP 526 Cotonou, Bénin

²Laboratoire d'Étude et de Recherche du Matériaux Bois (LERMAB), Faculté des Sciences et Technologies,
Boulevard des Aiguillettes, BP 70239, 54506 Vandœuvre lès Nancy Cedex, France

* Correspondance, courriel : joguidigo@gmail.com

Résumé

On étudie dans cet article, les modules d'élasticité (MOE) et de rupture (MOR) en traction et en compression pour dimensionner certains éléments de construction en matériaux composites bois polymères (CBP). Les intrants qui ont été utilisés pour cette étude sont issus d'un processus de recyclage. Dans le but de déterminer l'influence du type de matrice sur les comportements mécaniques des composites bois-polymères, nous avons considéré différents types de matrices thermoplastiques puis réalisé des essais mécaniques. À l'issue de ces travaux, il ressort que le polyéthylène est la matrice thermoplastique qui donne les meilleures performances pour les sollicitations en compression et en traction. Avec un module de rupture maximum respectivement en compression et en traction de 15,02 MPa et 7,47 MPa, les composites bois-polymères dont la matrice est le polyéthylène sont les mieux adaptés pour les ouvrages de revêtement de sol. Ces résultats révèlent le potentiel d'utilisation des composites bois polymère pour faire face à la question de la préservation de l'environnement.

Mots-clés : *composites bois-polymères, matrice thermoplastique, traction, compression, module d'élasticité, module de rupture.*

Abstract

Mechanical characterization of wood plastic composite

This article studied the elasticity (MOE) and rupture (MOR) modulus in traction and compression to size some construction elements into Wood Plastic Composite (WPC). The inputs which are used for this study come from recycling process. To determine influence of matrix type on mechanical behavior of WPC, we used different type of thermoplastic matrix and conducted the mechanical tests. Results showed that the polyethylene is the thermoplastic matrix which gives good performances for compression and traction solicitations. With the maximum modulus of rupture respectively of 15.02 MPa and 7.47 MPa in compression and traction, the WPC from which the matrix is the polyethylene appear to be well suited for soil covering. These results reveal the potential use of wood plastic composite to face up the question preservation of environment.

Keywords : *wood composite polymers, thermoplastic matrix, traction, compression, elasticity modulus, rupture modulus.*

1. Introduction

La protection de l'environnement et la gestion optimale des ressources naturelles en vue d'un développement durable constituent une préoccupation majeure de notre époque. L'exploitation du bois génère beaucoup de déchets (copeaux, sciure etc.) qu'il faut valoriser [1]. De plus, au Bénin, la sciure de bois est uniquement utilisée pour faire le feu dans certains ménages. Dans plusieurs pays du monde, se pose le problème de la gestion des déchets plastiques [2, 3]. Le Bénin ne fait pas exception. En effet au Bénin, l'utilisation des sachets plastiques comme contenant est une aubaine pour les commerçants de toutes les catégories. L'impact de ces sachets plastiques sur notre environnement immédiat est très remarquable car on retrouve ces déchets plastiques dans les poubelles, les rues, les maisons, les tas d'immondices etc. Dans les principales villes du Bénin, la proportion des déchets plastiques produits varie entre 3 % et 14,59 % [4]. Les spécialistes de la question, affirment que ce n'est pas la quantité de déchets produite qui est le problème, mais plutôt l'incapacité des collectivités locales à assurer son élimination. Le recyclage des déchets de sciure de bois et des déchets plastiques en matériau composite bois-polymère, est la solution que nous proposons pour diminuer l'ampleur des déchets plastiques. En 1983, la compagnie American Woodstock, du Wisconsin, entreprend la première application industrielle d'importance des composites bois polymère (CBP). [5] Depuis plus d'une décennie, les composites constitués de bois et d'une matrice thermoplastique (polypropylène, polyéthylène, polyéthylène téréphtalate, etc.) ont connu un développement industriel important.

Dans le contexte économique international, l'utilisation des composites bois polymères se résume présentement à quatre marchés cibles : le jardinage, la construction, l'infrastructure ainsi que la finition [6]. L'usage du composite bois polymères sur ces marchés rivalise avec les éléments fabriqués en plastiques [7, 8]. Ce développement est dû à la facilité de mise en œuvre et du bas coût [9]. Le bois est présent dans le composite sous forme de fibres, de farine ou de sciure, en dimension suffisamment fine pour permettre une mise en forme par un procédé non industriel. La proportion des fibres est sans doute le paramètre le plus exploré dans les travaux de recherche. Plusieurs études utilisent une faible teneur en fibres ($< 30\%$) et obtiennent une amélioration de l'ensemble des propriétés mécaniques avec une augmentation de la teneur en fibres [10 - 13]. Dans cet article, nous évaluons la possibilité de mélanger différents polymères et de réaliser des composites issus de chacun de ces mélanges. La concentration massique en bois est maintenue constante et le facteur qui varie ici est le type de matrice thermoplastique. La variation des propriétés mécaniques sera mise en relation avec le type de matrice thermoplastique utilisée pour la mise en œuvre du composite bois polymère. Dans la littérature, les recherches de Zhang et al en 2008 mettent en évidence une relation entre le module d'élasticité du composite et de sa matrice pastique [14]. Dans le même ordre d'idées, une analyse sur la relation entre module d'élasticité du composite et de sa matrice thermoplastique a été effectuée. Étant donné que la matrice thermoplastique utilisée varie sur les propriétés mécaniques du composite obtenu [15]. Les essais mécaniques réalisés ont permis de déterminer le module d'élasticité et le module de rupture en traction et compression.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

Le renfort qui a été utilisé dans la fabrication des composites bois-polymères est la sciure de bois. Elle se présente sous forme de farine de bois dont la granulométrie est rangée par des tamis de diamètre 0,315 mm ; 0,160 mm et 0,08 mm. La sciure a été collectée dans diverses scieries et a été tamisée en vue de séparer le matériau en plusieurs classes granulaires. Suite au tri des déchets effectué sur les décharges d'ordure au Centre de Valorisation des Déchets en Energie Renouvelable et en Agriculture (ValDERA) une classification

assez fidèle des déchets a été faite. Les sept principaux types de plastiques rencontrés sont :

- le polyéthylène téréphtalate (PE) ;
- le polyéthylène haute densité (PEHD) ;
- le polychlorure de vinyle (PVC) ;
- le polyéthylène basse densité (PEBD) ;
- le polypropylène (PP) ;
- le polystyrène (PS).

Ces matières plastiques sont généralement utilisées dans la fabrication des composites bois polymère [16, 17]. Dans l'hypothèse d'améliorer les propriétés des composites bois polymère, des combinaisons entre certains polymères thermoplastiques ont été réalisées notamment le polyéthylène basse densité, le polyéthylène haute densité et le polystyrène. Ces mélanges ont été utilisés comme liant dans la fabrication des échantillons de composite. Nous avons considéré cinq types de matrices thermoplastiques :

- le polyéthylène basse densité (PEBD) ;
- le polyéthylène haute densité (PEHD) [18];
- le mélange polystyrène [19] et polyéthylène basse densité;
- le mélange polyéthylène basse densité, Polyéthylène haute densité;
- le mélange polyéthylène basse densité, Polyéthylène; haute densité et polystyrène.

2-2. Méthodes

2-2-1. Formulation du composite

Cette formulation est utilisée pour déterminer les constituants entrant dans la confection d'éprouvettes. Le poids volumique $\rho_{composite}$ et le facteur D sont des paramètres qui avaient été déterminés lors de précédentes études comme suit :

$$D = \frac{M_{polymère}}{M_{sciure}} \quad \text{et} \quad \rho_{composite} = 1,1 \text{ g} / \text{cm}^3$$

- M_{sciure} la masse de sciure de bois ;
- $M_{polymère}$ la masse de polymère fondu ;
- $M_{composite}$ la masse de composite ;
- $V_{composite}$ le volume du mélange liant sciure de bois ou volume du composite.

$$M_{composite} = M_{polymère} + M_{sciure} \quad (1)$$

$$\rho_{composite} V_{composite} = D \times M_{sciure} + M_{sciure} = M_{sciure} (1 + D) \quad (2)$$

$$M_{sciure} = \frac{\rho_{composite} V_{composite}}{1 + D} \quad \text{avec} \quad D = 3,5 \quad (3)$$

À partir de la **Formule (3)**, on obtient les proportions des intrants à utiliser pour réaliser les échantillons.

2-2-2. Essais mécaniques

Les essais de traction et de compression ont été réalisés sur une presse hydraulique. Dans le cas de la traction, nous avons adapté des pinces à la presse pour tenir l'éprouvette et l'étirer dans le sens de la traction (*Figure a, b*). Les éprouvettes sont taillées pour la traction selon les dimensions sur la *Figure 2*. Les éprouvettes prismatiques de dimensions $30 \times 30 \times 105 \text{ mm}^3$ ont été utilisées pour l'essai de compression.

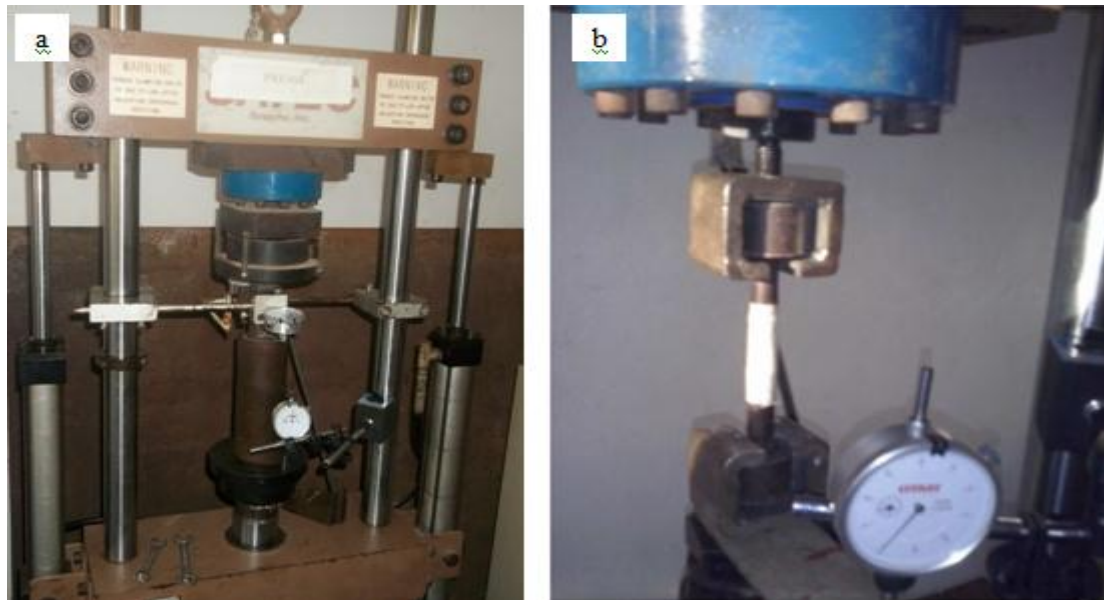


Figure 1 : a) Presse hydraulique pour essai de compression ; b) Dispositif d'essai de traction

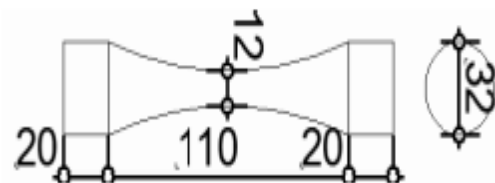


Figure 2 : Dimensions d'une éprouvette d'essai de traction

3. Résultats et discussion

3-1. Résultats

3-1-1. Essai de compression et étude de la variation des contraintes en fonction des déplacements

Le comportement des composites bois-polymères en compression, est déterminé par des essais sur des éprouvettes de dimensions $35 \times 35 \times 105 \text{ mm}^3$. La vitesse de chargement de compression est de 10 N / s . La machine de compression utilisée est de type DIGITAL INDICATOR avec une capacité de chargement maximale

de 250 kN. L'essai de compression s'est réalisé sur des éprouvettes prismatiques soumises à des charges croissantes jusqu'à la rupture. Il a permis de relever la charge maximale à la rupture du composite. Ensuite l'étude de la variation des contraintes en fonction des déplacements a donné le module d'élasticité en compression et une courbe traduisant le comportement du matériau soumis à des charges croissantes (**Figure 3**). Les résultats obtenus pour le module de rupture et le module d'élasticité sont consignés dans le **Tableau 1**. L'essai a été réalisé sur une éprouvette de matériau composite et sa matrice thermoplastique.

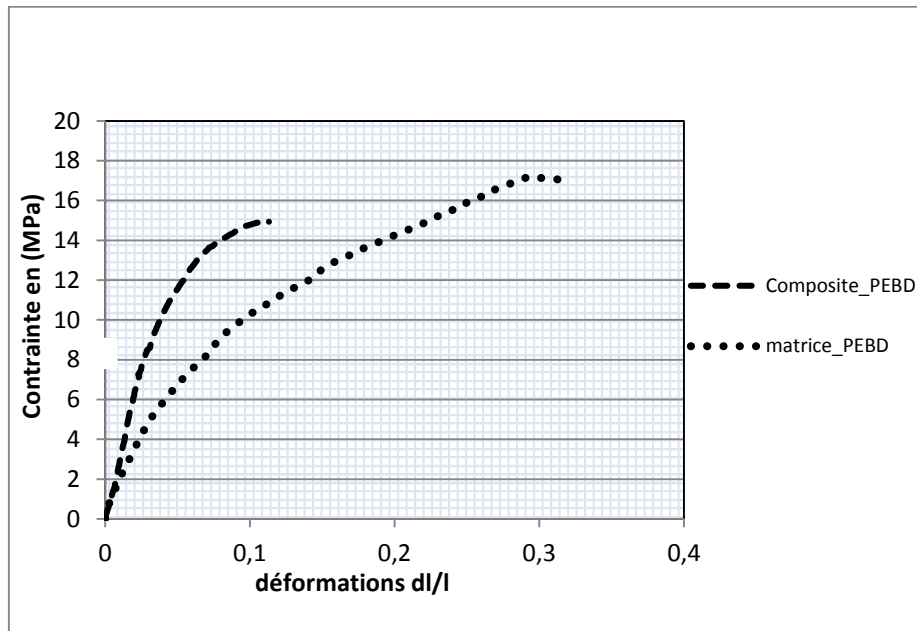


Figure 3 : *Diagramme contrainte - déformation en compression du composite à base de PEBD et de sa matrice thermoplastique*

3-1-2. Essai de traction et étude de la variation des contraintes en fonction des déplacements

L'essai de traction permet d'apprécier la cohésion entre les particules du composite bois polymère. L'étude de la courbe contrainte-déformation en traction apporte une précision sur le comportement du matériau : voir **Figure 3**. Les résultats obtenus pour chaque composite bois-polymère et sa matrice thermoplastique sont consignés dans le **Tableau 2**.

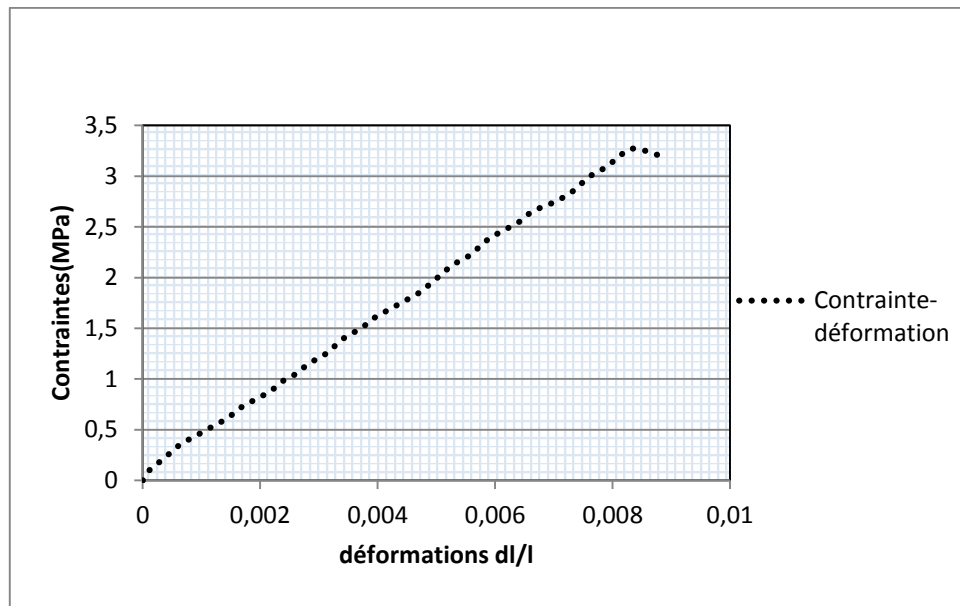


Figure 4 : *Diagramme contrainte - déformation en traction du composite à base polyéthylène haute densité et basse densité*

Le **Tableau 1** permet d'apprécier les résultats obtenus pour un matériau composite et la matrice thermoplastique correspondante.

Tableau 1 : *Récapitulatif des modules d'élasticité et de rupture en compression du composite et de la matrice thermoplastique correspondante*

Nomenclature	MOE du CBP (MPa) en compression	MOE de la matrice (MPa) en compression	MOR du CBP (MPa) en compression	MOR de la matrice (MPa) en compression
Echantillon à base de PEBD	287,52	169,57	15,02	17,22
Echantillon à base de PEHD	175,83	534,06	13,3	13,96
Echantillon à base de PEBD, PEHD et PS	224,88	503,37	8,08	9,06
Echantillon à base de PEBD et PS	148,86	537,66	7,34	9,14
Echantillon à base de PEBD et PEHD	169,39	327,07	10,85	11,59

Le **Tableau 2** présente une étude sommaire des résultats obtenus en traction.

Tableau 2 : Récapitulatif des modules d'élasticité et de rupture en traction

Nomenclature	MOE du CBP traction (MPa)	MOR de traction (MPa)
Echantillon à base de PEBD.	614,92	7,47
Echantillon à base de PEHD	329,12	5,83
Echantillon à base de PEBD, PEHD et PS	200,49	3,18
Echantillon à base de PEBD et PS	243,51	3,27
Echantillon à base de PEBD et PEHD	393,84	3,36

3-2. Discussion

3-2-1. Test de compression

Les composites issus du mélange avec différentes matrices thermoplastiques présentent une résistance par rapport à leur module de rupture plus faible que ceux qui n'ont pas été associés avec plusieurs polymères de différents types. Lors du mélange entre le polyéthylène basse densité et le polystyrène ou du mélange entre polyéthylène basse densité, le polystyrène, et le polyéthylène haute densité, les liaisons chimiques n'ont pas pu être établies entre ces différents polymères. En effet [20] trouvent que le polyéthylène basse densité, mélangé au polypropylène dans une proportion de 90 : 10 à l'aide d'une extrudeuse, a des propriétés inférieures à celles prédites par les lois d'additivité parce que ces deux polymères sont immiscibles. Le module d'élasticité est un paramètre mécanique qui permet d'apprécier le comportement d'un matériau. Plus il est faible, plus le matériau présente une tendance élastique; plus il est élevé, plus le matériau obtenu est rigide. Les résultats obtenus permettent de constater que le module d'élasticité varie entre 148,86 MPa et 287,52 MPa. Cette tendance permet de conclure que les composites bois-polymères sont des matériaux élastiques. En effet, le rapport sciure sur colle est compris entre 3 et 4. Dans ce cas le renfort ne représente qu'en moyenne le quart des constituants du mélange. Cette prépondérance de colle justifie ces valeurs du module d'élasticité selon [21].

3-2-2. Essai de traction

Ces résultats permettent d'apprécier la cohésion des particules du mélange sciure / colle. Par ailleurs, ces valeurs sont bien loin de celles observées dans la littérature notamment lors des travaux référencés [22, 23]. Les échantillons de matériau réalisés avec du polyéthylène basse densité permettent d'avoir une meilleure résistance en traction. Ces échantillons présentent une bonne cohésion grâce au liant qui enrobe mieux les particules de sciure. Renforcer les liaisons chimiques au niveau du mélange du polyéthylène et du polystyrène, contribuera fortement à améliorer les résistances mécaniques obtenues. Les valeurs obtenues ne sont pas différentes de la compression mais les tendances restent les mêmes malgré certaines différences. Les valeurs du module d'élasticité des composites dont la matrice est le polyéthylène se rapprochent un peu plus des résultats obtenus par [23] avec un module qui varie entre les valeurs 614,92 MPa et 200,49 MPa.

4. Conclusion

Ce travail de recherche a permis d'évaluer d'une part l'influence du mélange du polyéthylène et du polystyrène sur les propriétés mécaniques des composites bois polymères notamment en traction et en compression. Les tendances obtenues sont les mêmes pour ces deux types de sollicitations. Il s'est avéré que le mélange entre les matrices thermoplastiques de différentes natures réduit les performances mécaniques du matériau composite venant de ce mélange. Les résultats issus de cette étude indiquent la nécessité de travailler sur l'adhésion entre les différents types de matrices plastiques [24]. D'autre part, la sciure de bois apporte une certaine rigidité au matériau composite et joue un rôle au niveau de l'aspect esthétique.

Références

- [1] - MEHU, Ministère de l'Environnement de l'Habitat et de l'Urbanisme du Bénin, Etude de faisabilité pour la valorisation des déchets plastiques au Bénin, Cotonou, (2002)
- [2] - V. LAWSON, N. LIADY et G. BOGLO, Valorisation des déchets solides ménagers (DSM) au Benin : atouts et limites, Cotonou : Rapport d'étude pour DCAM-BETHESDA, (2008) 63 p.
- [3] - A. GBEDO, Problématique de la valorisation des déchets plastiques à Cotonou, Cotonou : Thèse de Doctorat Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Lettres Arts et Sciences Humaines, (2009) 237 p.
- [4] - RNCR. (Réseau National des Centres de Ressources), Etude sur la gestion des déchets plastiques dans l'espace UEMOA : cas du Bénin, Rapport final, (2011) 59 p.
- [5] - C. Craig, Wood- plastic composites in the United States, the interfacing of two industries, *Forest Product Journal*, (2002) 10 - 18 p.
- [6] - D. J, Y. H et L. W, Wood-Plastic Composite Technology, *Springer International*, Vol. 1, (2015) 139 - 150 p.
- [7] - V. A, B. R, A. I et B. L, Study of plastic compounds containing polypropylène and wood derived fillers from waste of different origin, *Journal Applied Polymer*, Vol. 117, (2010) 368 - 377 p.
- [8] - H. Y, A. A et M. B, Effects of Waste paper sludge on the physico-mechanical properties of high density polyethylene / wood flour composites, *Journal Applied Polymer*, Vol. 19, 120 - 124 p.
- [9] - R. M, P. K et R. KH, Mechanical property evaluation of sisal-jute-glass fiber reinforced polyester composite, *Composite part B*, (2013) 1 - 9 p.
- [10] - I. S. H et B. A, Effects of Chemical Modification of Paper Sludge Filled Polypropylene (PP) / Ethylene Propylene Diene Terpolymer (EPDM) Composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 23, (2006) 43 - 52 p.
- [11] - L. W, M. A, D. M et Misra, Novel Biocomposites from Native Grass and Soy Based Bioplastics : Processing and Properties Evaluation, *Journal of Ind*, Vol. 44, (2005) 7105 - 7112 p.
- [12] - L. X, Z. M, R. M, S. G et Y. C, All-Plant Fiber Composites. II. Water Absorption Behavior and Biodegradability of Unidirectional Sisal Fiber Reinforced Benzylated Wood, *Journal of Polymer Composite*, Vol. 24, (2003) 367 - 378 p.
- [13] - S.-Y. F, X.-Q. F, B. L et Y.-W. M, Effect of particle size, particle / matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate-polymer composites, *Composites Part B*, Vol. 39, (2008) 933 - 961 p.
- [14] - Z. J et H. H, Effects of filler-filler and polymer-filler interactions on rheological and mechanical properties of HDPE-wood composites, *Applied Polymer Science*, Vol. 6, (2008) 2806 - 2812 p.
- [15] - P. G, Two technologies merge : wood plastic composites. Plastics, Additives and Compounding, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 6, (2004) 18 - 21 p.

- [16] - C. M, T. M et N. SK, Mechanical properties of wood plastic composite panels made from waste fiberboard and particleboard, *Polym Compos*, Vol. 6, (2008) 606 - 610 p.
- [17] - N. SK, T. M et H. E, Effect of temperature, plastic type and virginity on the water uptake of sawdust / plastic composites, *Holz Roh Werkst*, Vol. 65, (2007) 377 - 382 p.
- [18] - A. KB, P. SS et S. MP, Dimensional stability and mechanical behaviour of wood-plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE), *Compos Part B*, Vol. 39, (2009) 807 - 815 p.
- [19] - P. M, D. J, Z. M et Z. AJ, Characterization of composites based on expanded polystyrene wastes and wood flour, Vol. 31, (2011) 779 - 784 p.
- [20] - B. S et R. J, Study and characterization of virgin and recycled LDPE / PP blends, *European Polymer Journal*, Vol. 38, (2002) 2255 - 2264 p.
- [21] - G. F, V. M, A. J-F et v. B, Étude du comportement rhéologique et des propriétés mécaniques de composite sciures de bois- polyéthylène haute densité, *Rhéologie*, Vol. 13, (2008) 9 - 21 p.
- [22] - B. A, G. K et T. S, Wood-filled thermoplastic composites, *Mech. Comp.*, Vol. 6, (1998) 563 - 568 p.
- [23] - J. J. L, s. G, S. D, Healt, G. H et M. K, Mechanical Properties of Bionerewable Fiber / Plastic Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 93, (2004) 2484 - 2493 p.
- [24] - B. A, K. H, S. H, R. M, E. F et D. A, hort Palm Tree Fibers Polyolefin Composites : Effect of Filler Content and Coupling Agent on Physical Properties, *Macromolecular Materials and Engineering*, Vol. 293, (2008) 140 - 148 p.