

Caractérisation physico-chimique et mécanique d'un composite à base de particule de tiges de cotonnier et de poudre d'écorce de *Grewia Venusta*

[Physicochemical and mechanical characterization of a composite based on cotton stem particles and *Grewia Venusta* bark powder]

Lokossou Melon¹, Osseni Sabiath¹, Vodounou Edmond¹, Osseni Sèmiyou², and Ahouannou Clément¹

¹Laboratoire d'Energétique et de la Mécanique Appliquées (LEMA), Ecole Doctorale Science de l'Ingénieur, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Abomey-Calavi, Benin

²Laboratoire de Recherche en Chimie et Application Kaba Faculté des Sciences et Techniques de Natitingou Université de Parakou, Parakou, Benin

Copyright © 2025 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: Bio-based composites are presented as ecological alternatives to synthetic materials whose production contributes to the depletion of natural resources and climate change. This study aims to develop a new material from cotton stem particles (CSP) and *Grewia Venusta* bark powder (GWP) intended for the manufacture of thermal insulation panels. Eleven (11) formulations were selected by varying the CSP rate and the granular classes of CSP under a temperature of 140°C. This work specifically aims to physically and mechanically characterize this material with the European standards EN 310, 322 and 323. The results obtained show that the density of the composites increases from 402.08 to 998.69 Kg/m³ when the binder rate is increasing, and decreases from 895.35 to 793.38 Kg/m³ when the granular class of the particles increases. The Elastic Flexural Modulus (MOE) and the Flexural Breaking Strength (MOR) increase respectively from 162.25 to 345.03 MPa and from 4.53 to 5.53 MPa for a binder rate varying from 60 to 75%, then decreases when this rate takes a value above 75%. These values increase from 209.82 to 562.28 MPa and from 5.65 to 6.18 MPa, respectively, as the grain size increases from [0.063-0.630 mm] to [0.063-2 mm]. The formulation conforming to the required ANSI 208.1.1999 standard has a density of 691.15 kg/m³, an MOE of 562.28 MPa, and an MOR of 6.18 MPa.

KEYWORDS: Bio-based materials, thermal insulation, elastic Flexural Modulus, flexural Breaking Strength, ANSI 208.1.1999 standard.

RESUME: Les composites biosourcés se présentent comme des alternatives écologiques aux matériaux synthétiques dont la production contribue à l'épuisement des ressources naturelles et aux bouleversements climatiques. Cette étude vise à développer un matériau nouveau à partir des particules de tiges de cotonnier (PTC) et de la poudre d'écorce de *Grewia Venusta* (EGV) destiné à la fabrication de panneaux d'isolation thermique. Onze (11) formulations ont été retenues en faisant varier d'une part le taux d'EGV puis d'autre part les classes granulaires des PTC sous une température de 140°C. Ce travail vise de façon spécifique à caractériser physiquement et mécaniquement ce matériau avec les normes européennes EN 310, 322 et 323. Les résultats obtenus montrent que la masse volumique des composites croît de 402,08 à 998,69 Kg/m³ lorsque le taux de liant est croissant, et décroît de 895,35 à 793,38 Kg/m³ lorsque la classe granulaire des particules croît. Le Module de Flexion Élastique (MOE) et la Résistance à la Rupture en Flexion (MOR) augmentent respectivement de 162,25 à 345,03 MPa et de 4,53 à 5,53 MPa pour un taux de liant variant de 60 à 75%, puis diminue lorsque ce taux prend une valeur au-dessus de 75%. Ces valeurs croissent respectivement de 209,82 à 562,28 MPa et de 5,65 de 6,18 MPa respectivement, lorsque la classe granulaire évolue de [0,063-0,630 mm] à [0,063-2 mm]. La formulation conforme à la norme requise ANSI 208.1.1999 a une masse volumique de 691,15 Kg/m³, un MOE de 562,28 MPa et une MOR de 6,18 MPa.

MOTS-CLEFS: Matériaux Biosourcés, isolant thermique, Module de Flexion Élastique, Résistance à la Rupture en Flexion, norme ANSI 208.1.1999.

1 INTRODUCTION

En raison des préoccupations environnementales et des nouvelles réglementations pour le développement durable, une grande attention est accordée de nos jours aux matériaux naturels et biodégradables pour les nombreux avantages qu'ils peuvent offrir par rapport aux composites constitués de charges inorganiques [1], [2]. En effet, l'utilisation des matériaux inorganiques dans l'élaboration des composites est source d'épuisement des carrières et la gestion des déchets issus de ces charges à la fin de leur cycle de vie pose de sérieux problèmes environnementaux. Ces derniers peuvent provoquer des bouleversements considérables aux conséquences graves sur l'équilibre de l'écosystème et qui ne sont pas, de surcroît, toutes connues [3]. Ce qui justifie les nombreuses interrogations que posent les chercheurs sur le développement durable de nos sociétés ces dernières années face au risque d'épuisement de ces matières premières non renouvelables [4]. Les chercheurs développent de plus en plus des matériaux à base de bois en remplacement de ces matières premières, pour l'élaboration des composites biosourcés. Ainsi, l'utilisation du bois connaît un regain d'intérêt pour le remplacement des dérivés pétrochimiques par des ressources renouvelables [5].

Dans ce contexte, les coproduits de l'agriculture, comme les tiges de plantes annuelles, constituent une alternative intéressante puisque ces ressources sont abondantes, renouvelables et sans danger pour la santé humaine. Elles présentent en outre, de part leur structure poreuse, des propriétés très intéressantes dans les matériaux du bâtiment, auxquelles elles peuvent apporter de bonnes propriétés d'isolation thermique [6]. Les écorces de certaines tiges de plantes cultivées ont également montré un intérêt du point de vue de leur résistance mécanique [7]. Ce travail vise de façon générale à valoriser la biomasse par l'élaboration de nouveaux matériaux isolants respectueux de l'environnement et disposant des caractéristiques mécaniques suffisantes pour leur utilisation dans différentes applications de construction. De façon spécifique, il sera réalisé une formulation d'un composite à base de particules de tige de cotonnier (PTC) et de la poudre des écorces de *Grewia Venusta* (EGV). Le taux de liant et la taille des particules sera rationnellement étudié pour améliorer le comportement physico-mécanique des échantillons des composites et enfin la formulation type permettant d'obtenir les valeurs caractéristiques minimales requises par les normes.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES COMPOSITES

Les matériaux végétaux utilisés sont essentiellement les particules de tiges de cotonniers et les écorces du *Grewia Venusta*. Ils sont issus de la biomasse béninoise à fort potentiel de valorisation.

2.1.1 PARTICULES DE TIGE DE COTONNIER

Les tiges de cotonnier proviennent des champs de coton dans la commune de Djidja située au Centre du Bénin, qui est une zone de grande production. Les particules de tiges de cotonnier ont été obtenues après une série de traitements physiques (décorsage, découpage et broyage), puis de classement par granulométrie variant de la classe A: [0,063-0,630 mm [à la classe B: [0,063-1,25 mm [; puis la classe C: [1,25- 2 mm [et en fin la classe D: [0,063-2 mm [. (Figures 1 et 2).



Fig. 1. Vue des tiges de cotonnier découpées non écorcées

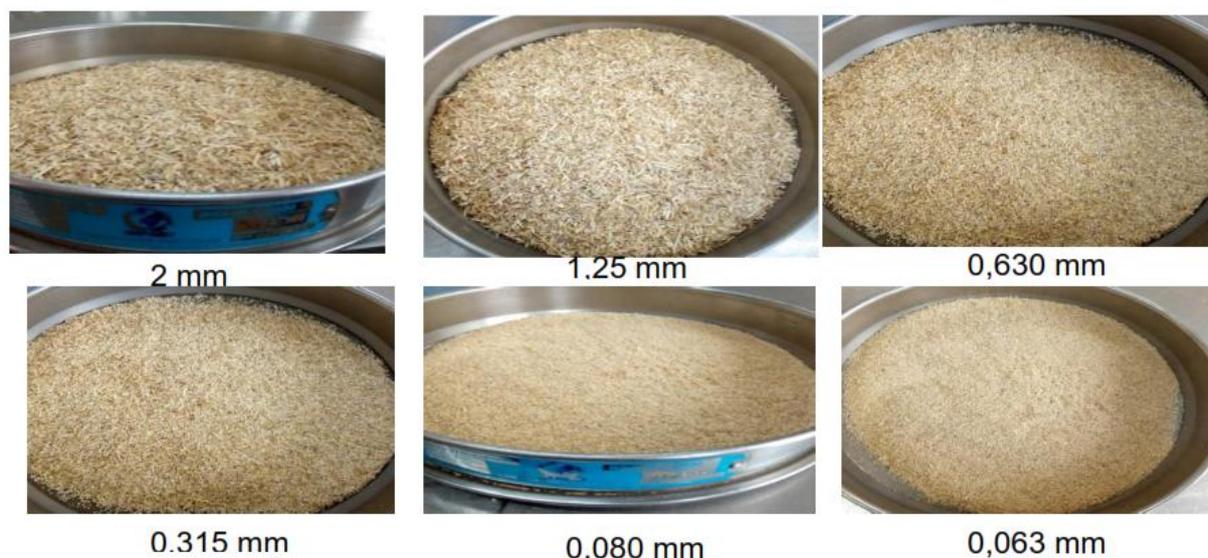


Fig. 2. Vues des différentes tailles de particules de tige de cotonnier

2.1.2 POUDRE D'ÉCORCES DE GREWIA VENUSTA

Le *Grewia Venusta* Fresen est de la famille des Tiliaceae, du genre *Grewia* et de l'espèce *venusta*, récolté au Nord du Bénin, dans la région de Natitingou. Pour obtenir la poudre de l'écorce du *Grewia Venusta*, nous avons procédé au sécher de l'écorce récoltée, puis nous les avons découpé en petits morceaux qui sont broyés et mis en poudre fine grâce à une moulinette-robot.



Fig. 3. a- Vue des écorces de *Grewia Venusta* enlevées de l'arbre b- Vue des fibres des écorces de *Grewia Venusta* c- Vue de la poudre des écorces de *Grewia Venusta*

2.2 EQUIPEMENTS DE CONDITIONNEMENT

Le matériel utilisé pour le traitement des végétaux jusqu'à l'obtention de nouveaux matériaux puis la caractérisation est constitué de:

- Un broyeur mécanique de puissance 0,75 W avec une vitesse de rotation de 1400 tr/min qui a permis de broyer les matières premières avant leur passage à la moulinette au besoin.
- Une série de tamis normalisée de diamètre variant de 0,063 mm à 2 mm permettant de calibrer des particules de tige de cotonnier.
- Une moulinette de marque binatone à grande vitesse a servir de mettre en poudre les écorces du *Grewia Venusta* Fresen.



Fig. 4. a- Vue du broyeur mécanique b- Vue de la série de tamis c- Vue de la moulinette

- Un malaxeur mécanique qui sert à assurer le malaxage du mélange des matières premières (Figure 5).
- Une presse mécanique qui permet d'exercer l'énergie de pression nécessaire sur le moule (Figure 6).
- Le moule préchauffé à une température de 140°C (Figure 7 et 8) conçu et équipé de résistances chauffantes, de thermostat pour le contrôle des consignes de température, de la laine de verre à l'intérieur des parois pour maintenir homogène la température à l'intérieur, d'un disjoncteur et d'un contacteur.
- Presse mécanique équipée d'un ordinateur d'acquisition de données : cette presse mécanique est utilisée pour réaliser l'essai de flexion trois (03) points. Elle est également équipée d'un ordinateur d'acquisition de données qui affiche les différentes déformations en fonction de l'évolution de la valeur de la charge (Figure 9).
- Dispositif de flexion trois (03) points: il est composé d'un élément métallique permettant de servir d'appui pour l'échantillon puis d'un autre qui sera fixé au point de contact de la presse avec l'échantillon en exerçant la charge effectivement au point se trouvant à mi-porté des appuis (Figure 10 et 11).



Fig. 5. Vue d'un malaxeur mécanique



Fig. 6. Vue d'une presse mécanique



Fig. 7. Vues de la moule thermique réalisée pour la confection des échantillons

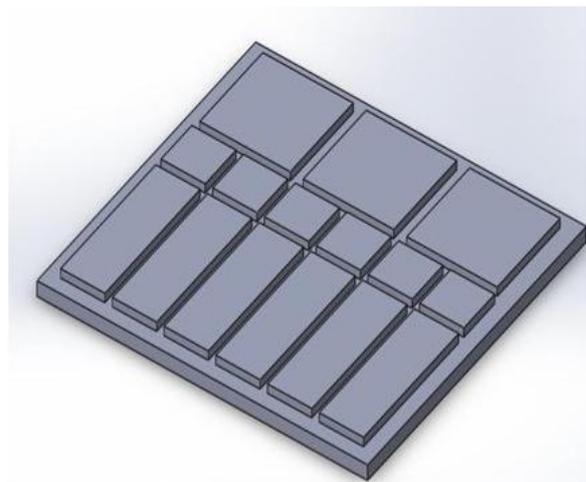
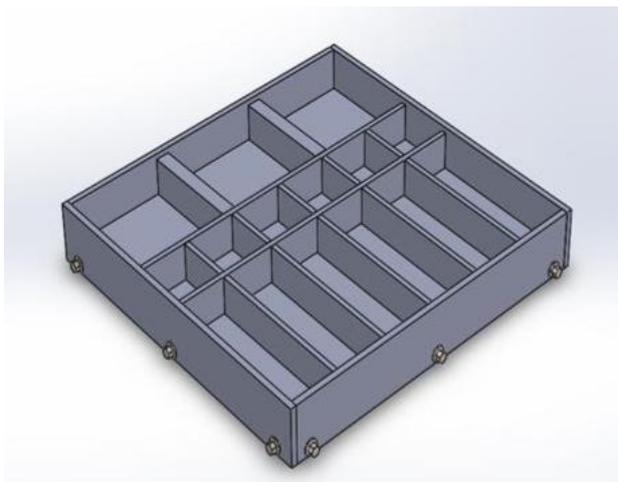


Fig. 8. Vues en 3-D de la moule thermique et de son couvercle (à l'étape de conception)



Fig. 9. Presse mécanique équipée d'un ordinateur d'acquisition de données



Fig. 10. Éléments du Dispositif de flexion 3 points



Fig. 11. Dispositif de flexion 3 points

2.3 METHODE DE FORMULATION DU MATERIAU COMPOSITE

2.3.1 LE PRINCIPE DE LA MÉTHODE

La formulation du mélange, pour l'élaboration des composites s'est appuyée sur deux composants principaux que sont les particules de tiges de cotonnier et la poudre d'écorce du *Grewia Venusta*. Trois paramètres essentiels sont contrôlés dans la formulation et permettent d'identifier les composites ainsi obtenus. Il s'agit:

- du taux de liant de *Grewia venusta* variant de 65% à 90%, avec un pas de 5%, et à une température de 140°C et avec des particules de la classe D: [0.063 mm- 2 mm []],
- de la classe granulométrique: Classe A des particules fines [0,063 mm-0,630 mm []; Classe B des particules moyennes [0,630 mm-1,25 mm []; Classe C des grosses particules [1,25 mm- 2 mm [et Classe D du mélange de toutes les particules [0.063 mm- 2 mm [];
- de la température à laquelle le composite est pressé (140°C).

Les taux de liants sont retenus sur la base de l'expérimentation et la valeur minimale est celle à partir de laquelle nous avons pu observer une cohésion entre les deux matériaux. Les valeurs des classes granulaires ont été retenues lors du calibrage des particules après broyage et en se référant à la littérature sur les formulations de nouveaux matériaux.

Deux (02) types d'éprouvettes ont été élaborés, les éprouvettes de dimensions 5cm x 5cm x 5cm qui sont utilisées pour la détermination des caractéristiques physiques et 15 cm x 5 cm x 5 cm pour les essais de flexion trois points. Pour l'obtention des paramètres de masse volumique, le taux d'absorption, le module de flexion élastique et la résistance à la rupture en flexion, six (06) échantillons sont utilisés par types d'éprouvettes et pour les différentes formulations.

Au total 132 échantillons ont été réalisés et soumis aux essais de caractérisation physiques et mécaniques.

Les différentes quantités de matières entrant dans la confection des échantillons sont définies en partant du taux de liant EGV. En fonction de ces taux respectifs les masses MEGV et MPTC sont calculées par les expressions 1 et 2:

$$T_{EGV} = \frac{M_{EGV}}{M_{EGV} + M_{PTC}} \times 100 \Rightarrow M_{EGV} = \frac{T_{EGV} \times M_{PTC}}{100 - T_{EGV}} \quad (1)$$

$$T_{PTC} = \frac{M_{PTC}}{M_{EGV} + M_{PTC}} \times 100 \Rightarrow M_{PTC} = \frac{T_{PTC} \times M_{EGV}}{100 - T_{PTC}} \quad (2)$$

M_{EGV} : la masse de la poudre de l'écorce de *Grewia enusta*;

M_{PTC} : la masse de matière sèche de particules de tiges de cotonnier

La masse d'eau ajoutée s'apprécie au cours du malaxage et varie parfois légèrement en fonction de la texture du mélange et donc de la granulométrie. Sur la base de la masse d'eau, on détermine l'humidité du mélange. Elles sont déterminées par les expressions 3 et 4:

$$M_{eau} = M_m \times H_m - [(M_{PTC} \times H_{PTC}) + (M_{EGV} \times H_{EGV})] \quad (3)$$

$$H_m = \frac{M_{eau} + [(M_{PTC} \times H_{PTC}) + (M_{EGV} \times H_{EGV})]}{M_m} \quad (4)$$

M_{eau} : masse d'eau ajoutée; M_m : masse totale du mélange; H_m : humidité du mélange recherchée; H_{PTC} : humidité des particules de tige de cotonnier (8,60 %); H_{EGV} : humidité de la poudre de l'écorce de *Grewia venusta* (10,67 %).

N.B.: La masse d'eau à ajouter au mélange est telle que la teneur en eau du mélange est d'environ de 12%.

2.3.2 ETIQUETAGE DES ÉCHANTILLONS

La codification met en exergue la valeur retenue pour chaque paramètre dans la confection de l'éprouvette. Par exemple le code MEG65.A.T140 traduit:

M: Matériau; EG65: Poudre d'Ecorce de *Grewia venusta* prise à 65% de la masse du pétris; A: Classe granulaire de [0,063mm-0,63 mm [pour les particules de tiges de cotonnier.

T140: Pressage à la température de 140°C.

Les différentes formulations réalisées sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1. Les différentes formulations en fonction des paramètres retenus

Paramètres va riés	Type d'échantillon	Echantillon de dimensions 15 cm x 5 cm x 5 cm	Echantillon de dimensions 5 cm x 5 cm x 5 cm	Nombre d'échantillon
Taux de liant (Ecorces de Grewia Venusta)	MEG60.D.T140: 60% de liant ; Classe D et 140°C	6	6	12
	MEG65.D.T140: 65% de liant ; Classe D et 140°C	6	6	12
	MEG70.D.T140: 70% de liant ; Classe D et 140°C	6	6	12
	MEG75.D.T140: 75% de liant ; Classe D et 140°C	6	6	12
	MEG80.D.T140: 80% de liant ; Classe D et 140°C	6	6	12
	MEG85.D.T140: 85% de liant ; Classe D et 140°C	6	6	12
	MEG90.D.T140: 90% de liant ; Classe D et 140°C	6	6	12
Classe granulaire	MEG80.A.T140: 80% de liant ; Classe A et 140°C	6	6	12
	MEG80.B.T140: 80% de liant ; Classe B et 140°C	6	6	12
	MEG80.C.T140: 80% de liant ; Classe A et 140°C	6	6	12
	MEG80.D.T140: 80% de liant ; Classe A et 140°C	6	6	12
Total				132

2.3.3 PROTOCOLE DE CONFECTION DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons testés sont réalisés après une opération de mélange-malaxage pendant 15 min, de deux matériaux végétaux (particules de tige de cotonnier et poudre d'écorce de Grewia Vénusta) dans des proportions bien requises et une imprégnation parfaite d'une certaine et quantité d'eau variable selon la teneur en eau du mélange des deux matériaux permettant ainsi de ramener la teneur en eau du mélange à 12% (figure 5). Ensuite intervient la mise en forme par moulage, suivie d'un thermopressage (figure 6), réalisé à 140°C sous une pression de 1,5 MPa pendant 15 min. Pour finir, nous avons procédé au démoulage et séchage des échantillons; les éprouvettes ainsi obtenues sont étiquetées maintenues dans des emballages étanches pour éviter la prise d'humidité avant les essais.

Le schéma de la figure 12 récapitule le protocole de confection des échantillons [6].

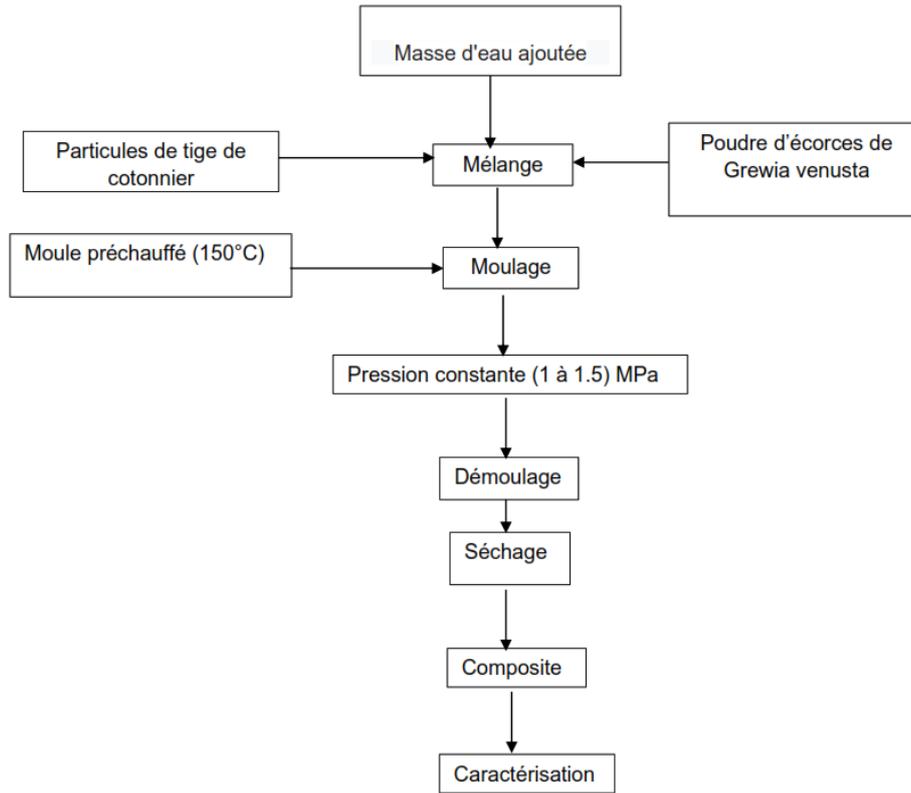


Fig. 12. Processus de fabrication des échantillons des panneaux de particules

2.4 METHODOLOGIE DE CARACTERISATION PHYSIQUE ET MECANIQUE DES COMPOSITES ÉLABORES

2.4.1 MASSE VOLUMIQUE DES COMPOSITES

À l'issue du processus de fabrication, six (06) éprouvettes de 5cm x 5cm x 5cm, sont pesées chacune avec une balance de précision. La masse volumique d'un échantillon est donnée par l'expression:

$$\text{Masse volumique} = \frac{\text{masse de l'échantillon}}{\text{Volume de l'éprouvette}} \quad (5)$$

La valeur moyenne obtenue est celle de la masse volumique des échantillons.

Le taux d'absorption est obtenu en mesurant la masse m_0 de l'éprouvette à l'aide d'une balance électronique de précision 0,01 g avant l'immersion dans l'eau et la masse m_t après l'immersion pendant un temps t .

2.4.2 ABSORPTION D'EAU DES COMPOSITES

L'expression ci-dessous permet de déterminer le taux d'absorption des composites:

$$\text{Absorption}(\%) = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100 \quad (6)$$

La garantie de la qualité et de performance des panneaux de particules exige de ces derniers des propriétés mécaniques stables qui répondent effectivement aux utilisations auxquelles ils sont destinés.

2.4.3 PROPRIÉTÉS DE FLEXION

Conformément à la norme NF-EN 310, les éprouvettes de dimensions 150 mm x 50 mm x 50 mm sont soumises à l'essai. Les dispositifs de la figure 10 ont été utilisés pour matérialiser les trois points d'appui. Une presse mécanique équipée d'un ordinateur d'acquisition de données (figure 9) permet d'exercer la charge à une vitesse 2 kN/s jusqu'à la rupture. L'ordinateur affiche la valeur de la charge à la rupture, du déplacement (enfoncement) et trace la courbe de variation de la charge en fonction du déplacement.

Les paramètres mécaniques déterminés à l'issu de l'essai de flexion trois points sont, le module d'élasticité en flexion (MOE) et la résistance à la flexion (MOR), obtenues par les expressions mathématiques ci-après 7 et 8:

$$MOE = \frac{L^3}{4bx^3e^3} \times \frac{F_2 - F_1}{a_2 - a_1} \tag{7}$$

Avec :

F_i : la force mesurée pour un déplacement a_i ; L: distance entre les points d'appui; b: largeur de l'éprouvette; e: épaisseur de l'éprouvette

$$MOR = \frac{3L}{2b.e^2} \times F_{rupture} \tag{8}$$

Avec :

Frupture: la charge mesurée à la rupture; L: distance entre les points d'appui; b: largeur de l'éprouvette; e: épaisseur de l'éprouvette.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 COMPOSITES ÉLABORÉS

La figure 13 présente quelques modèles des éprouvettes réalisées.



Fig. 13. Vues des échantillons de type MEG75D.T140

3.2 MASSE VOLUMIQUE DES ÉCHANTILLONS

L'historgramme de la figure 14 présente les valeurs de masse volumique en fonction du taux de liant:

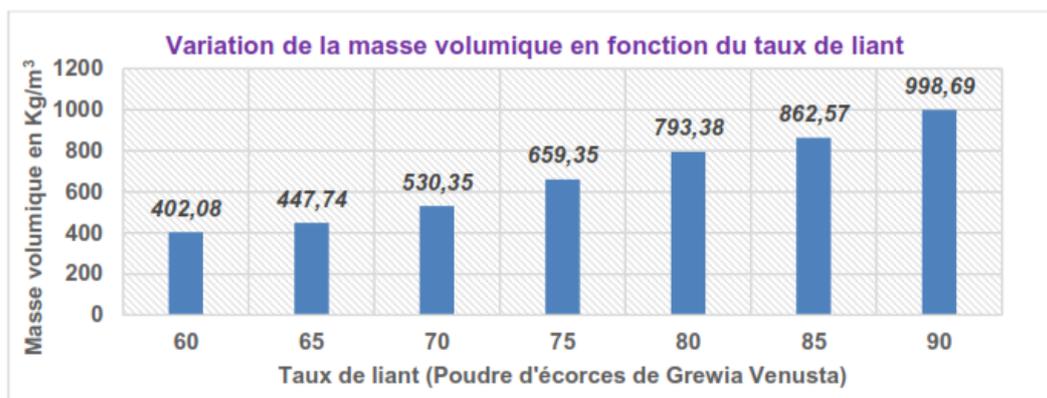


Fig. 14. Historgramme de variation de la masse volumique en fonction du taux de liant

On note que la masse volumique des composites varie en fonction du taux de liant entre 402,08 à 998,69 Kg/m^3 . Cet accroissement se justifie par le fait que la masse volumique des écorces de *Grewia* est 1,40 fois plus grande que celle des particules de tiges de coton. L'histogramme de la figure 15 présente les valeurs de la masse volumique en fonction de la classe granulométrique des particules de tiges de cotonnier pour un taux de liant de 75%.

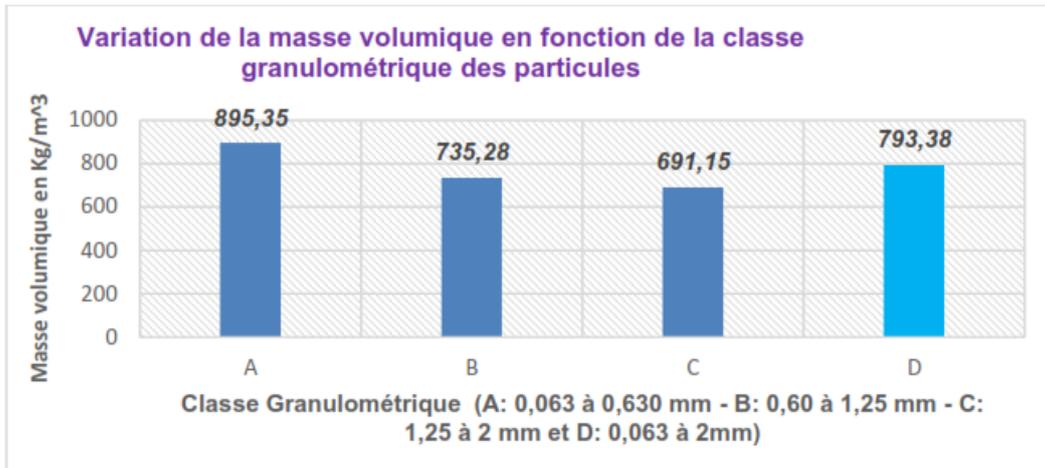


Fig. 15. Histogramme de variation de la masse volumique en fonction de la classe granulométrique

La masse volumique des composites varie aussi en fonction de la classe granulométrique des particules de tiges entre 895,35 à 793,38 Kg/m^3 . Ce paramètre croît lorsque le diamètre des granulats diminue.

Les échantillons obtenus avec les différentes classes granulométriques ont une masse volumique supérieure à la valeur recommandée par la norme ANSI 208.1 [8] qui est de 550 Kg/m^3 . Seuls les échantillons contenant un taux de liant supérieur à 75% ont une valeur supérieure à l'exigence de la norme. Les valeurs de la masse volumique sont voisines de celles trouvées par Wu Y et al., [7] qui sont de 590,1 - 713,5 kg/m^3 sur les composites à base de particules de tiges de cotonnier avec du polystyrène recyclé. Cette valeur est supérieure à celle trouvée par Nenonene [4] qui est de 446,72 kg/m^3 sur les composites à base de fibres de tiges de Kénafe et du liant naturel d'écorces de *Grewia Venusta*.

3.3 TAUX D'ABSORPTION D'EAU DU COMPOSITE

Compte tenu de la sensibilité des échantillons à l'eau, nous avons pris les données chaque demi-heure pendant 2h en vue d'analyser le comportement des échantillons au phénomène d'absorption dans le temps. Les résultats obtenus en fonction du taux de liant sont indiqués sur l'histogramme de la figure 16.

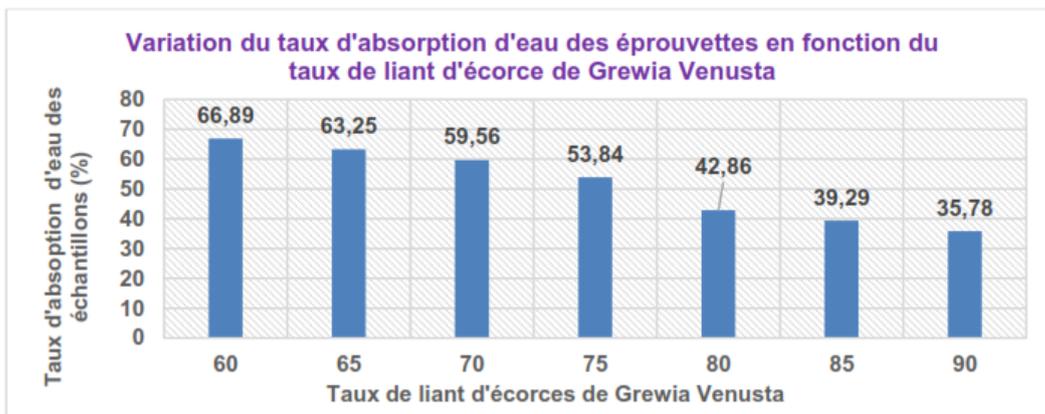


Fig. 16. Histogramme d'analyse des résultats d'eau en fonction du taux de liant

L'histogramme de la figure 17 indique les valeurs du taux d'absorption en fonction de la classe granulométrique pour un taux de liant de 75%:

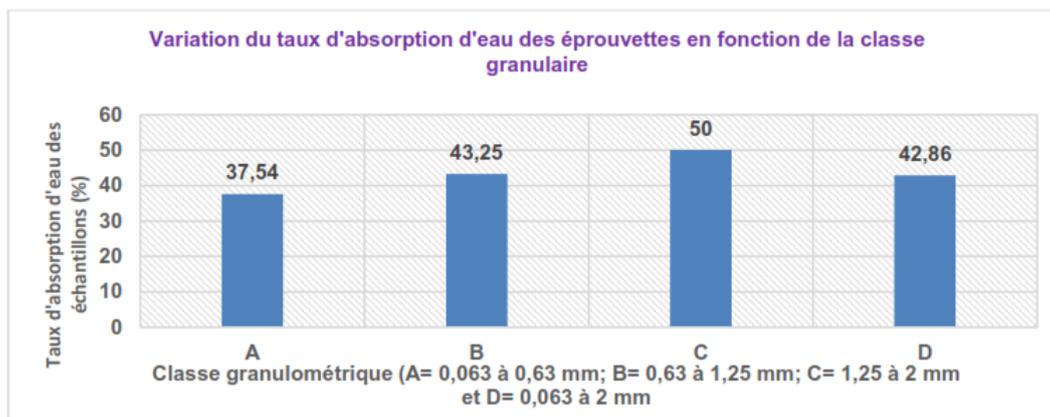


Fig. 17. Histogramme d'analyse des résultats d'eau en fonction de la classe granulométrique des particules de tiges de cotonniers

Le taux d'absorption d'eau des composites décroît de 66,89 à 35,78 % avec l'augmentation du taux de liant et croît de 37,54 à 50,00 % en fonction de la classe granulométrique.

Le taux de liant croît avec une augmentation des éléments fins dans le composite et crée donc une diminution des interstices. Cette diminution réduit la capacité d'absorption d'eau, ce qui explique la décroissance des valeurs obtenues. La même explication permet de traduire la croissance du taux d'absorption en fonction de la classe granulométrique. Quand la classe varie de A à C, les diamètres des particules sont plus élevés et offrent plus de potentialité d'absorption. Les valeurs sont mesurées à chaque trente minutes, et il est remarqué que plus de 70 % du taux d'absorption est atteint après les trente premières minutes. Les valeurs obtenues ne sont pas satisfaisantes car elles sont largement supérieures à la limite tolérée par la norme ANSI 208.1 qui est de 8%. Cela limite l'utilisation des panneaux issus de ce composite dans les atmosphères sèches (cas des plafonds et protections murales, surtout intérieure). Le composite étudié doit être pris en sandwich, c'est à dire utilisé entre d'autres matériaux.

Toutefois, ils peuvent faire objet de traitements thermophysiques en vue d'améliorer la résistance en surface, l'abrasion des panneaux et leur résistance à l'eau. Il s'agira de faire un gâchage par enduis des panneaux avec des huiles spécifiques (huile de lin notamment), suivi d'un chauffage pour un traitement thermique à 180°C, voire 260°C [9].

3.4 CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES ÉCHANTILLONS.

La détermination des valeurs des paramètres mécaniques (propriétés de flexion) a été faite conformément à la méthodologie décrite au paragraphe 2.4.3. et a permis d'avoir pour chaque type d'échantillon la courbe de variation du chargement en fonction du déplacement (figures 18 et 19).

Le dispositif permet également d'afficher à l'écran les valeurs de la charge à la rupture et du déplacement maximal correspondant.

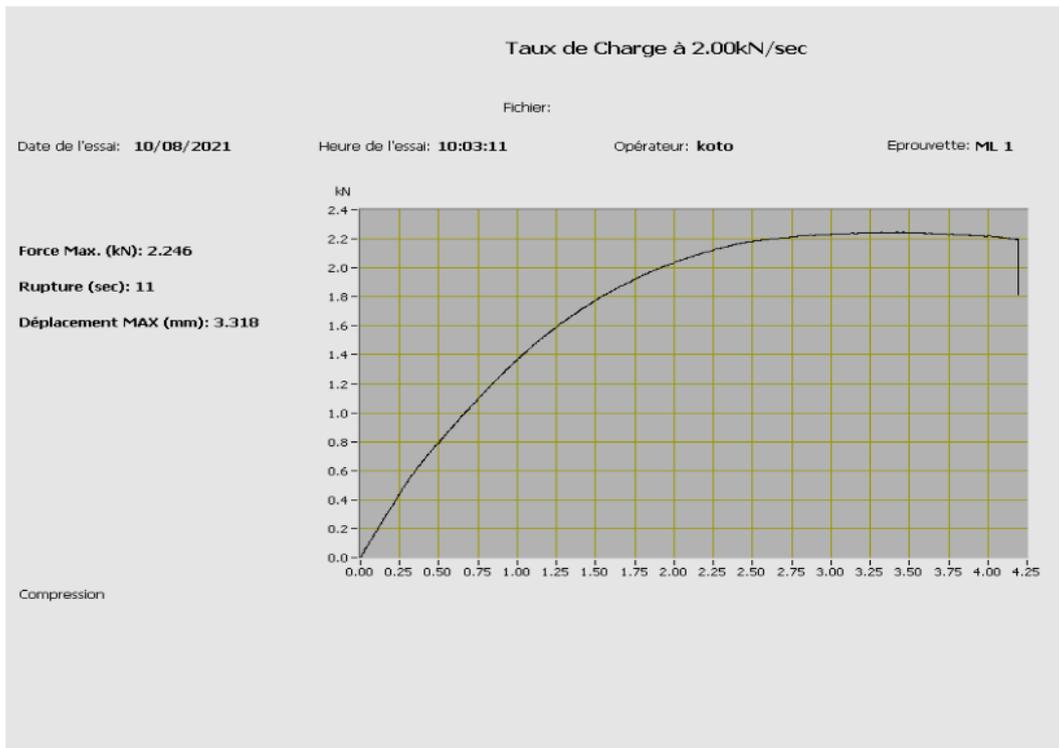


Fig. 18. Courbe de variation de la charge en KN en fonction du déplacement en mm

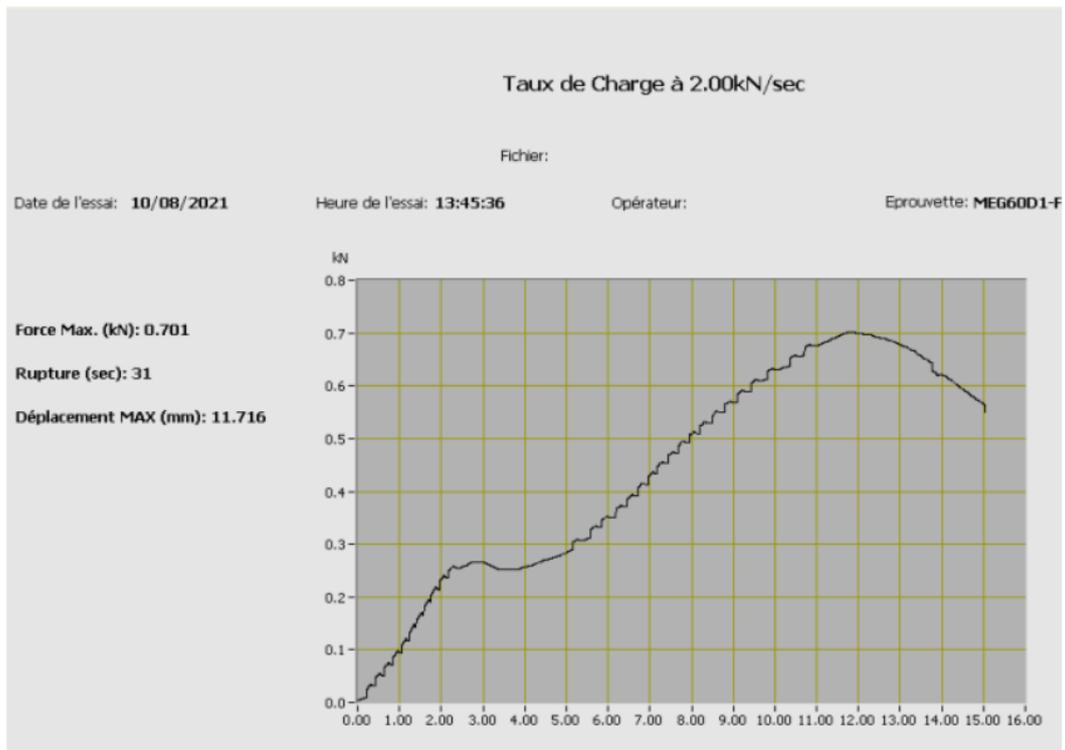


Fig. 19. Courbe de variation de la charge en KN en fonction du déplacement en mm

Ces courbes traduisent la variation du déplacement en fonction du chargement. Autrement dit, elles décrivent l’allure de la variation de la déformation en fonction de la contrainte de flexion trois points. Le traitement des données obtenues a permis de calculer le MOE et la MOR avec les équations du même paragraphe. Les valeurs obtenues constituent les moyennes de six échantillons pour chaque formulation. Elles sont résumées sur les histogrammes des figures 20 et 21 en fonction du taux de liant.

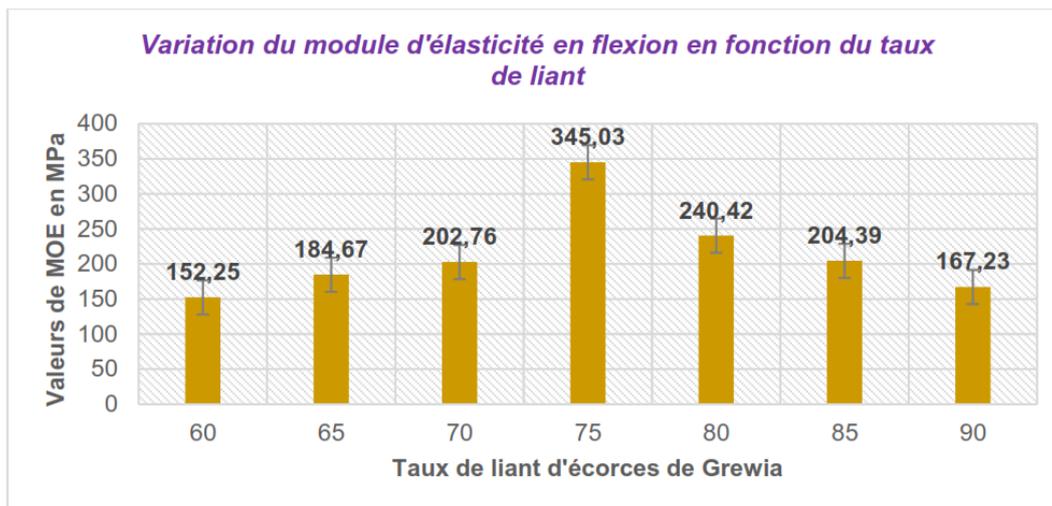


Fig. 20. Histogramme de variation du Module de Flexion Elastique (MOE) en fonction du taux de liant

L'analyse des résultats montre que les valeurs du MOE (MPa) varient respectivement de 152,25 à 345,42 lorsque la teneur en liant varie de 60 à 75% puis de 345,42 à 167,23 lorsque ce taux varie de 75 à 90%. Le MOE est donc proportionnel au taux de liant dans la plage de 60 à 75% et inversement proportionnel à ce taux de 75 à 90%.

La MOR (MPa) quant à elle varie de 4,53 à 5,53 lorsque que le taux de liant prend des valeurs de 60 à 75% puis de 5,53 à 5,12 pour des taux allant de 75 à 90%. La MOR est donc proportionnelle au taux de liant dans la plage de 60 à 75% et inversement proportionnelle à ce taux de 75 à 90%.

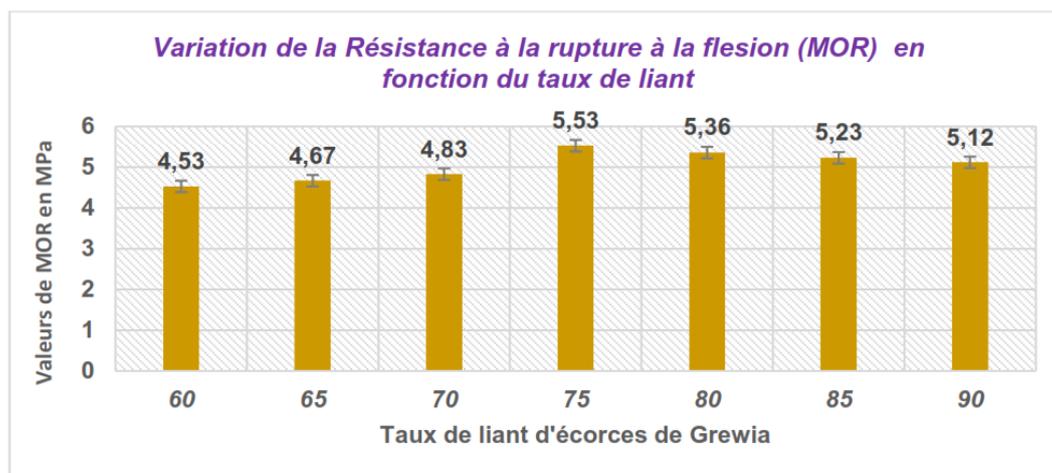


Fig. 21. Histogramme de variation de la Résistance à la Rupture en Flexion (MOR) en fonction du taux de liant

On note qu'aucune des valeurs de MOE trouvée avec des PTC de la classe granulaire D n'atteigne celle de la norme ANSI 208.1 qui est de 550 MPa. Ceci pourrait se justifier par le faible taux de particules de grands diamètres devant représenter le squelette nécessaire pour assurer une bonne résistance au matériau élaboré. Par ailleurs les valeurs de MOR obtenues sont supérieures à 3 MPa requise par la même norme.

En faisant varier les classes granulaires, les résultats obtenus ont permis également de tracer les histogrammes des figures 22 et 23 qui décrivent les variations du MOE et MOR en fonction de la classe granulométrique des particules de tiges de cotonnier:

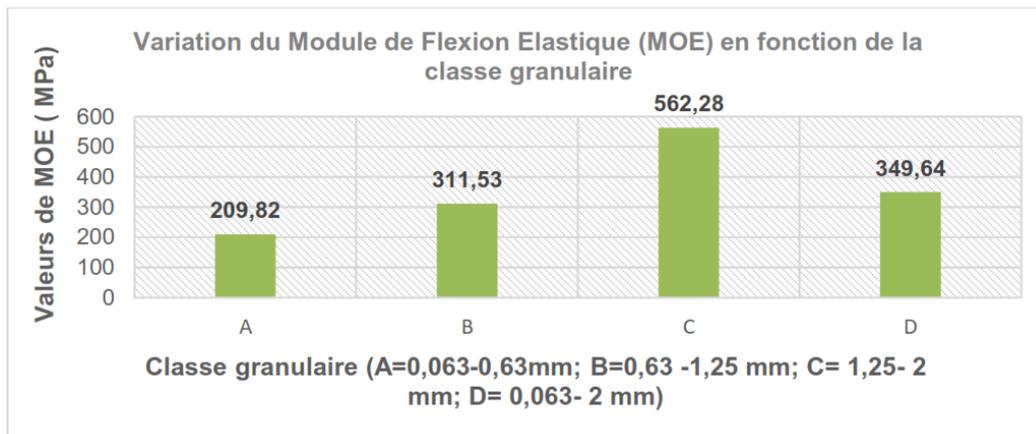


Fig. 22. Histogramme de variation du Module de Flexion Elastique (MOE) en fonction de la classe granulométrique des particules de tiges de cotonnier

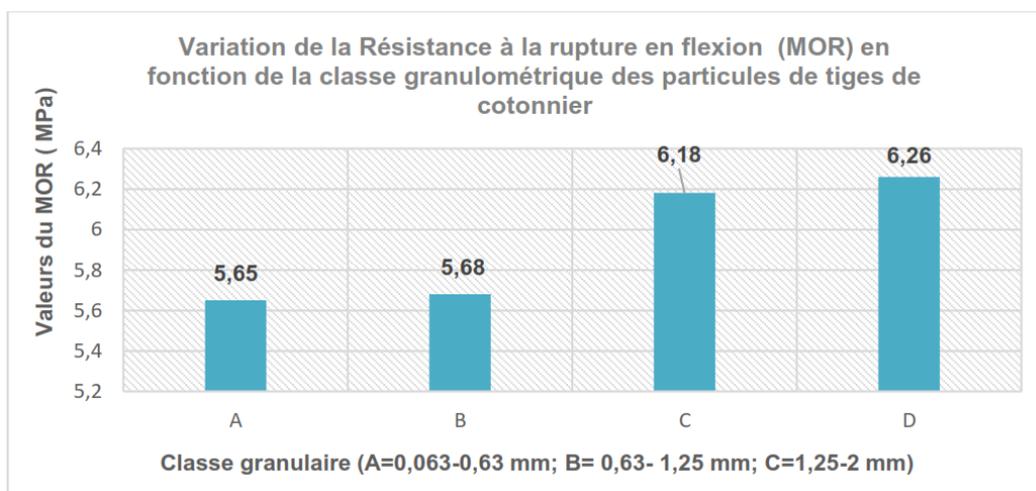


Fig. 23. Histogramme de variation de la Résistance à la rupture en flexion (MOR) en fonction de la classe granulométrique

Les valeurs de MOE (MPa) et de MOR (MPa) croient respectivement de 209,82 à 562,28 et de 5,65 à 6,26 avec la classe granulaire de A à C. Ensuite, ces valeurs chutent de 562,28 à 349,64 pour le MOE lorsqu'on passe de la classe C à D puis de 6,18 à 6,26 pour le MOR. Ces valeurs mettent en évidence l'efficacité des éprouvettes obtenues avec la classe C qui a permis d'avoir la seule valeur moyenne de MOE de 562,28 MPa supérieure à 550 MPa requise par la norme. Les valeurs de MOR (MPa) variant de 5,65 à 6,26 sont toutes supérieures à la valeur de 3 MPa requise par la norme. Les valeurs de MOE et de MOR sont supérieures à celles obtenues par *Nenonene, 2009* [4]. sur son composite élaboré à base des particules de tige de Kénaf et de la poudre d'écorce de *Grewia Venusta* qui est en moyenne en MPa respectivement de 405,71 et de 4,15. *Soulama, 2015* a élaboré des composites à base de matrice en polystyrène et des pourcentages variés de particules de tige de cotonnier; pour 20% de particules, il a obtenu des valeurs de MOE et de MOR en MPa de 1771,482 et de 2,133 [10].

Tableau 2. Résumé des valeurs des paramètres déterminés

Paramètres étudiés	Valeurs minimales	Valeurs maximales	Valeurs retenues	Normes (ANSI 208.1)
Masse volumique (Kg/m ³)	402,08	998,69	691,15	550
Taux d'absorption (%)	35,78	66,89	50,00	08,00
Module de flexion élastique (MPa)	152,25	562,28	562,28	550
Résistance à la rupture (MPa)	4,53	6,26	6,18	3,00

Nous retenons que seules les éprouvettes **MEG75CT140** présentent des résultats satisfaisants aux deux principaux essais mécaniques que sont le module de flexion élastique (MOE) et la résistance à la rupture en flexion (MOR).

4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis de révéler que les tiges de cotonnier et les écorces du *Grewia Venusta* sont des ressources biodégradables renouvelables de la biomasse béninoise présentant des caractéristiques physico-chimiques et thermiques intéressantes pour leur utilisation dans l'implémentation des panneaux de particules dans la construction des bâtiments. La masse volumique des particules est en moyenne de *178,57 kg/m³* et de *250,00 kg/m³* respectivement pour les particules de tiges de cotonnier et pour l'écorce de *Grewia Venusta*. La masse volumique des matériaux composites augmente en *Kg/m³* de *402,08* à *998,69* lorsque le taux de liant varie de 60 à 90% avec un pas de 5%. Elle décroît de *895,35* à *691,15 Kg/m³* lorsque la classe granulométrique varie de A= [0,063-0,630mm] à C= [1,25- 2 mm]. Le taux d'absorption d'eau des composites décroît de 66,89 à 35,78 % lorsque le taux de liant croît de 60 à 90 %. Il croît de 37,54 à 50,00 % lorsque la valeur classe granulaire varie de A à C. De la caractérisation des échantillons, il ressort que les valeurs du module d'élasticité en flexion (MOE) croient de 162,25 à 345,42 MPa lorsque la teneur en liant varie de 60 à 75% puis décroît de 345,42 à 167,23 MPa lorsque le taux varie de 75 à 90%. La résistance à la flexion (MOR) quant à elle croît de 4,53 à 5,53 MPa puis décroît à 5,12 MPa pour les mêmes variations respectives du taux de liant. Les valeurs de MOE et de MOR sont proportionnelles à la classe granulaire de A à C et atteignent respectivement en MPa 562,28 et 6,18. Ensuite, celle du MOE chute de 562,28 à 349,64 lorsqu'on passe de la classe C à D alors que celle du MOR reste presque constante soit 6,18 et 6,26.

L'optimisation des résultats respectant les valeurs requises par la norme ANSI 208.1.1999 a permis de retenir la formulation de type **MEG75CT140** ayant une masse volumique de *691,15 Kg/m³*, un taux d'absorption en eau maximum d'environ de 50,00%, un MOE de 562, 28 MPa et une MOR de 6,18 MPa. Ce type de panneau présente des résultats satisfaisants pour être utilisés comme panneaux de particules de faible densité à applications générales en milieu sec (type P1). L'extraction des molécules adhésives des écorces de *Grewia* afin de réduire son taux dans le mât et renforcer la présence des particules de tiges de cotonnier, la prise en compte de la température comme paramètre varié sont des exercices qui peuvent être explorés pour affiner voir améliorer les caractéristiques déjà satisfaisantes obtenues. Aussi, serait-il intéressant de passer à un traitement sous contrainte thermique ou d'utiliser le matériau en sandwich avec d'autres en vue de réduire le taux d'absorption en eau pour d'autres applications de ce composite.

REFERENCES

- [1] Büyükkaya, K. «Effects of the Fiber Diameter on Mechanic Properties in Polymethyl- Methacrylate Composites Reinforced with Goose Feather Fiber». *Materials Sciences and Applications*, 8, pp.811-827. 2017.
- [2] L. Mendes and S. Cestari, «Printability of HDPE/Natural Fiber Composites with High Content of Cellulosic Industrial Waste». *Materials Sciences and Applications*, Vol. 2 No. 9, 2011, pp.1331-1339.
- [3] Farid Touloum et al., «Nouveau bio-composite local à base de fibres cellulosiques. Application à l'isolation thermique en bâtiment. »Premier Séminaire National de Génie Mécanique (SNGM 01), 2011.
- [4] Nenonene Amen Yawo: Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kéraf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage. 2009.
- [5] Thiebaud-Roux Sophie: Valorisation chimique de composés lignocellulosiques: obtention de nouveaux matériaux, 1995.
- [6] Mahieu A., Lenormand H., Leblanc N., Vivet A., «100% biobased particleboards based on new agricultural wastes». *Academic journal of civil Engineering*, Vol. 33 No. 2, pp. 705-710, 2015.
- [7] Wu Y., Wang S., Zhou D., Xing C., Zhang Y., Cai Z. «Evaluation of elastic modulus and hardness of crop stalks cell walls by nano-indentation». *Bioresources Technology*, vol.101, pp. 2867–2871, 2010.
- [8] ANSI A208.1 Particleboard. American National Standard Institute. National Particleboard Association. Gaithersburg. MD. (1999) p. 9.
- [9] Kokou Easo Tchombi, Samuel Gomes, Aqil Almusawi, Tibi Beda, Amen Nenonene, Komla Sanda, John Vantomme. Opportunities for natural polymers of agrobased bio-composites: *Grewia venusta* bark, *Bombax costatum* chalice: two tropical plants as natural binder sources for the manufacture of particleboard». 22nd French Congress of Mechanics Lyon, 24th to 28th August 2015.
- [10] Sagnaba Soulama: Contribution to the study of the influence of the parameters of elaboration and optimization of the process of implementation of bio-composites in shell of cotton and recycled polystyrene. Volume 11, N°1, 2015.