


Article

Propriétés des panneaux de particules de bois contenant des particules de roseau géant (*Arundo donax* L.)

Manuel Ferrandez-Villena *, Antonio Ferrandez-Garcia, Teresa Garcia-Ortuño, Clara Eugenia Ferrandez-Garcia et Maria Teresa Ferrandez Garcia. 

Département d'ingénierie, Universidad Miguel Hernandez, 03300 Orihuela, Espagne ;
antonio.ferrandezg@umh.es (A.F.-G.) ; tgarcia@umh.es (T.G.-O.) ; cferrandez@umh.es (C.E.F.-G.) ; mt.ferrandez@umh.es (M.T.F.G.)

* Correspondance : m.ferrandez@umh.es ; Tél : +34-966-749-716

Reçu : 10 novembre 2020 ; Accepté : 11 décembre 2020 ; Publié : 15 décembre 2020



Résumé : L'agriculture est responsable de la production de grandes quantités de déchets qui ne sont pas gérés de manière adéquate en termes de traitement environnemental et d'administration économique. Ce travail utilise le roseau géant, qui était traditionnellement utilisé comme matériau de construction dans les régions orientales de l'Espagne. Aujourd'hui, il n'est plus utilisé, ce qui a entraîné sa prolifération rapide, autonome et incontrôlée sur les berges des rivières, ce qui en fait un grave danger pour l'environnement car cette plante provoque d'importants blocages de ponts et d'autres infrastructures lorsqu'elle est déracinée par les forts courants qui se produisent lors des crues des rivières. L'objectif de ce travail est de développer des panneaux de particules de bois et de roseau géant, qui permettent de contrer la forte dépendance au bois dans la fabrication industrielle en utilisant une ressource facilement renouvelable. Il sera ainsi possible d'atteindre deux objectifs généraux : contrôler la croissance d'une mauvaise herbe et obtenir un produit (panneaux de particules) à partir d'un déchet. Des panneaux de particules contenant 9% d'urée-formaldéhyde composés de différentes proportions de bois de scierie et de roseau géant (0, 50, 70 et 100%) ont été fabriqués en appliquant deux pressions différentes (2,1 et 2,6 MPa) et une température de 120 °C pendant 4 min dans une presse à plaque chauffante. La densité, le gonflement en épaisseur (TS) et l'absorption d'eau (WA) après immersion dans l'eau, le module d'élasticité (MOE), le module de rupture (MOR), la force de liaison interne (IB) et la force de maintien des vis (SH) ont été testés selon les normes européennes (EN) pour les panneaux de bois. Avec l'ajout de 70 % de particules de roseau, la densité, le MOR et le TS diminuent et le MOE, le IB et le SH augmentent ; par conséquent, l'ajout de particules de roseau géant aux panneaux de bois peut améliorer leurs propriétés, apportant des avantages industriels et environnementaux considérables.

Mots clés : déchets végétaux ; panneaux de particules ; propriétés physiques ; mécaniques et thermiques

1. Introduction

Le bois est la matière lignocellulosique la plus utilisée dans la fabrication de la pâte à papier, l'industrie du meuble, l'industrie de la construction et comme combustible. Chaque année, une surface de 11 millions d'hectares de forêt est perdue dans le monde en raison de la production de bois à des fins industrielles et de combustible, en plus de la déforestation causée par l'expansion des pâturages, des cultures et du développement urbain [1] ; il s'agit donc d'un problème environnemental.

Selon l'étude européenne "EUwood" [2], la consommation de bois pour la production d'énergie devrait passer d'un volume solide de 346 millions de m³ en 2010 à 573 millions de m³ en 2020, et elle pourrait atteindre 752 millions de m³ en 2030. Ces résultats reposent sur l'hypothèse d'une réduction de la part du bois dans l'énergie produite à partir de sources renouvelables, qui passerait de 50 % en

2008 à 40 % en 2020. D'ici 2025, le déficit de bois devrait être de 200 millions de m³, et passer à 300 millions en 2030. En raison de la diminution de la disponibilité du bois, l'utilisation de panneaux de particules est en constante augmentation dans l'industrie du meuble.

l'industrie. Ils sont également connus sous la forme de panneaux durs et de panneaux de fibres appelés MDF (Medium Density Fibreboard), qui sont obtenus à partir de copeaux de bois et d'un liant.

Au cours de la dernière décennie, on a constaté une détérioration des propriétés mécaniques des panneaux de particules commerciaux dans les pays où les ressources forestières sont rares. La principale raison de cette baisse de qualité est l'utilisation accrue de matériaux recyclés obtenus à partir de vieux meubles plutôt que d'utiliser du bois naturel déchiqueté. L'utilisation de matériaux recyclés a été favorisée, d'une part, par le coût élevé du bois naturel et, d'autre part, par le fait que leur utilisation peut contribuer à pallier la pénurie de matière première pour l'industrie des panneaux de particules, contribuant ainsi à réduire l'impact environnemental de la production de meubles en diminuant la pression sur les forêts. Les gouvernements nationaux et l'UE ont encouragé le recyclage à tous les stades. C'est pourquoi la recherche de substituts au bois naturel, tels que les plantes non ligneuses et l'utilisation d'un liant organique, suscite actuellement de l'intérêt. Les matériaux lignocellulosiques issus des déchets générés par les activités agricoles pourraient être utilisés comme substitut du bois naturel, mais pour cela, il est nécessaire de démontrer que leurs fibres sont adaptées à la fabrication de panneaux.

Afin de réduire la consommation de bois naturel, des études ont été menées concernant la production de panneaux de particules en utilisant des particules de bois combinées à différents résidus végétaux et en utilisant l'urée-formaldéhyde (UF) comme résine adhésive. Les matériaux suivants ont été utilisés à cet effet : tiges de tournesol [3,4], coques d'arachides [5,6], coques de noix [7], coques de noix et d'amandes [8], coques de noisettes [9], coques de noix et de noisettes [10], parchemin de café [11], déchets industriels de cacao [12], paille de riz [13], feuilles de sycomore [14], coques de ricin [15], tiges de tabac [16], taille de pommiers et de pruniers [17] et herbe coupée [18].

Les roseaux sont le plus grand type d'herbe poussant dans les régions méditerranéennes, une plante sauvage à laquelle aucune sélection de génotype ou amélioration génétique n'a été faite. Le roseau géant est une mauvaise herbe qui pousse chaque année, atteignant une hauteur moyenne de 4 m et une épaisseur moyenne de 4 cm. C'est une plante vivace qui forme des roselières denses. Le roseau est utilisé dans la construction depuis l'Antiquité dans les pays méditerranéens, mais il est aujourd'hui en désuétude. Dans les cas où les roseaux poussent sur les rives des fleuves, lorsque le niveau de l'eau monte, ils sont déracinés et emportés par le courant, formant de grandes masses qui bloquent les cours d'eau, provoquant des inondations et balayant toute structure qui se trouve sur leur chemin ; ils constituent donc un problème environnemental.

Il existe également des études sur l'utilisation du roseau géant (*Arundo donax* L.) dans les panneaux de particules avec différents adhésifs tels que l'urée-formaldéhyde [19], l'amidon [20] et l'acide citrique [21].

Dans ce travail, nous étudions les possibilités de fabriquer des panneaux de particules hybrides de bois et d'*Arundo donax* L. qui pourraient facilement être produits dans l'industrie des panneaux de bois pour contrer la forte dépendance aux importations de bois en utilisant une ressource facilement renouvelable comme le roseau géant. L'objectif est de contrôler une mauvaise herbe tout en obtenant un panneau mixte composé de bois et de roseau géant qui pourrait réduire la pression sur les ressources forestières et créer de nouvelles opportunités d'emploi.

2. Matériaux et méthodes

Les matériaux utilisés pour la fabrication des panneaux étaient des particules de roseau géant (*Arundo donax* L.), des particules de bois de pin provenant de l'industrie des panneaux de particules et un liant composé de 9 % d'urée-formaldéhyde dilué dans l'eau et de 0,4 % de sulfate d'ammonium par rapport au poids des particules de bois-roseau.

La biomasse de roseaux provenait du défrichage de la rivière Segura, dans le sud-est de l'Espagne. Les roseaux ont été séchés en plein air pendant 6 mois. Ils ont ensuite été coupés et déchiquetés dans un moulin à lames.

La distribution granulométrique des particules de bois de pin et de roseau géant, classées selon la taille du tamis, est présentée dans le tableau 1. La teneur en humidité des deux types de particules était de 9%.

La méthodologie suivie est la fabrication de panneaux de particules composés de différentes

proportions de bois et de roseau géant (0%, 50%, 70% et 100%). Le matelas a été formé dans un moule (600 mm × 400 mm) et a été pressé et chauffé dans une plaque. La température et le temps de pression étaient respectivement de 120 °C et de 4 min. La pression variait de 2,1 à 2,6 MPa. Des températures allant de 180 à 200 °C et des pressions d'environ 3,5 MPa sont utilisées dans la fabrication des panneaux de particules commerciaux, donc avec les paramètres sélectionnés pour ce travail, nous avons l'intention d'utiliser un procédé de fabrication impliquant une consommation d'énergie plus faible que le procédé industriel.

Tableau 1. Distribution des tailles des particules de bois de pin et de roseau géant.

Tamis (mm)	Particules de bois de pin (%)	Particules de roseaux géants (%)
4	36.4	24.9
2	26.3	30.1
1	27.1	20.4
0.5	5.3	14.4
0.25	2.0	6.5
0.125	2.2	2.1
0.063	0.4	1.5
< 0.063	0.3	0.1

Les panneaux étaient constitués d'une seule couche d'une épaisseur d'environ 6,5 mm. Les huit types de panneaux de particules fabriqués dans le cadre de cette étude sont présentés dans le tableau 2. Des échantillons de la série de panneaux de type B sont présentés à la figure 1.

Tableau 2. Types de planches fabriquées.

Type de Conseil d'administration	Proportion de pins Particules de bois (%)	Proportion de roseaux géants Particules (%)	Pression (MPa)	Temp s (min)	Température (°C)	Nombre de Conseils d'administration
A1	100	0	2.1			41204
A2	50	50				
A3	30	70				
A40	100					
B2	B1100 50	0	.6			
B3	30	70				
B4	0	100				

**Figure 1.** Photographie des échantillons de planches testées, mesurant 50

Les normes européennes pour les panneaux de particules de bois [22] ont été utilisées pour déterminer les propriétés. Les propriétés des panneaux mesurées selon les normes européennes étaient les suivantes : densité [23], gonflement en épaisseur (TS) et absorption d'eau (WA) après 2 et 24 heures d'immersion dans l'eau [24], force de liaison interne (IB) [25], module d'élasticité (MOE) et module de rupture (MOR) [26] et force de maintien des vis (SH) [27]. Les panneaux ont été évalués conformément à la norme européenne [28]. La conductivité thermique a été mesurée par la méthode du calorimètre [29].

Avant d'être testés, les échantillons ont été placés dans une armoire réfrigérée JP Selecta (modèle Medilow-L, Barcelone, Espagne) à une température de 20 °C et à une humidité relative de 65 % pendant 24 heures.

La teneur en eau des panneaux de particules a été obtenue à l'aide d'un humidimètre de laboratoire Imal (modèle 200, Modena, Italie), tandis que le test d'immersion a été effectué dans un réservoir d'eau chauffé à 20 °C. Une machine d'essai universelle Imal (modèle IB600, Modena, Italie) a été utilisée pour effectuer les tests mécaniques et un débitmètre thermique (NETZSCH Instruments Inc., Burlington, MA, USA) a été utilisé pour les essais de conductivité thermique.

Pour l'analyse statistique de la variance (ANOVA) à un niveau de signification de $\alpha < 0,05$, nous avons utilisé le logiciel SPSS pour Windows v.26 (IBM, Chicago, IL, USA).

3. Résultats et discussion

3.1. Propriétés physiques

Le tableau 3 montre les résultats de la densité, du gonflement de l'épaisseur et de l'absorption d'eau en fonction du type de panneau.

Tableau 3. Propriétés physiques de huit types de panneaux de particules.

Type de conseil	Densité (kg/m ³)	TS 2 h (%)	TS 24 h (%)	WA 2 h (%)	WA 24 h (%)
A1	842.91 (5.93)	26.04 (0.57)	27.70 (0.95)	53.52 (4.80)	52.08 (0.81)
A2	695.27 (22.39)	13.51 (0.52)	15.95 (0.55)	57.55 (5.46)	63.59 (8.83)
A3	632.72 (23.54)	12.20 (0.41)	14.23 (0.23)	56.49 (1.52)	61.69 (3.75)
A4	631.41 (26.19)	12.36 (0.82)	34.46 (4.69)	14.88 (0.78)	46.34 (7.80)
R1	850.20 (44.54)	22.83 (2.07)	24.61 (2.56)	52.86 (5.23)	57.69 (5.17)
R2	743.26 (21.29)	16.44 (1.60)	18.03 (1.87)	54.54 (3.37)	61.28 (3.08)
R3	741.73 (37.47)	15.64 (1.29)	18.30 (1.98)	45.90 (6.67)	54.65 (7.84)
R4	738.16 (30.02)	12.12 (3.45)	23.29 (5.31)	16.25 (2.59)	41.35 (5.63)

TS : gonflement en épaisseur. WA : absorption d'eau. () : déviation standard.

Tous les panneaux obtenus peuvent être considérés comme ayant une densité moyenne. Les panneaux les plus denses sont les types A1 et B1, avec 100% de particules de bois provenant de l'industrie. Les panneaux mixtes contenant 70% de particules de roseau (A3 et B3) produisent les panneaux de densité la plus faible.

Les panneaux mixtes bois-roseau géant de type A2, A3, B2 et B3 produisent des valeurs de gonflement en épaisseur (TS) inférieures à celles des autres panneaux et des valeurs d'absorption d'eau (WA) similaires à celles obtenues avec des panneaux de particules 100 % bois. On peut distinguer deux régions du roseau géant : la région externe ou épiderme, qui présente un motif régulier de cellules épidermiques normales, petites et à parois denses, entremêlées de cellules siliceuses de forme

ovale, et la région interne, formée de cellules à parois larges et fines [30]. L'absorption d'eau la plus importante a lieu dans la région interne des particules de roseau, car la composition des particules de roseau est différente.

de l'épiderme offre une plus grande résistance à ce phénomène. Ceci expliquerait donc la faible absorption d'eau après 2 h offerte par les panneaux de type A4 et B4 (100% particules de roseau).

L'ajout de particules de roseau géant améliore les propriétés des panneaux 100% bois car il diminue la densité et le TS.

3.2. Propriétés mécaniques

La figure 2 montre les valeurs du module d'élasticité (MOE) et du module de rupture (MOR) obtenues pour les huit types de panneaux de particules testés. Les écarts par rapport aux valeurs indiquées sur la figure 2 sont décrits dans le tableau S1 des matériaux supplémentaires.

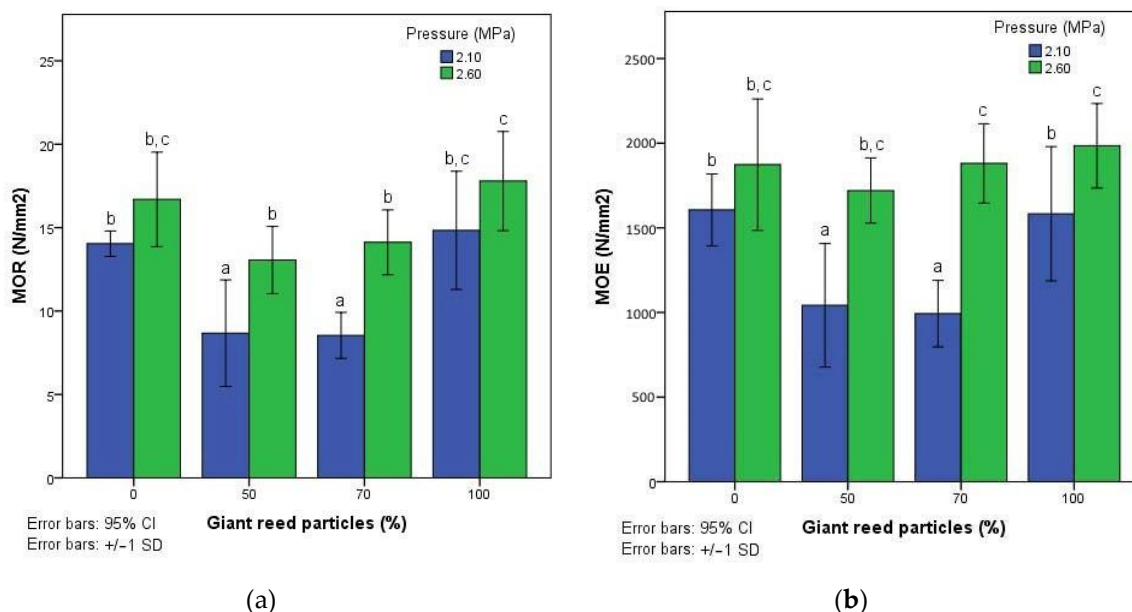


Figure 2. Valeurs du module de rupture (MOR) et du module d'élasticité (MOE) des huit panneaux de particules. Les valeurs avec la même lettre ne sont pas significativement différentes d'après le test de Duncan à plage multiple à la Niveau de 0,05. (a) Valeurs MOR ; (b) Valeurs MOE.

Les meilleurs résultats pour le MOR et le MOE ont été obtenus lorsque la composition contient 100% de particules de roseau géant, atteignant la meilleure performance lorsque la pression appliquée était de 2,6 MPa. Avec une pression de 2,1 MPa pour les panneaux mixtes bois-roseau, le MOR et le MOE diminuent, et avec une pression de 2,6 MPa, les valeurs MOR et MOE obtenues sont similaires à celles des panneaux de particules 100% bois. Avec 70% de particules de roseau et une pression de 2,6 MPa (panneau de type B3), une valeur MOR de 14,1 N/mm² et une valeur MOE de 1880 N/mm² ont été obtenues.

Cette même tendance peut être observée dans les résultats obtenus pour la force de liaison interne (IB) et la tenue des vis (SH), comme le montre la figure 3, où les meilleurs paramètres mécaniques ont été obtenus avec les panneaux de type B4. Dans les panneaux mixtes, on a constaté que l'ajout de particules de roseau géantes augmentait l'IB et le SH. Avec 70% de particules de roseau et une pression de 2,6 MPa, un IB de 1,11 N/mm² et un SH de 90,24 N/mm² ont été obtenus. Les écarts par rapport aux valeurs indiquées dans la figure 3 sont décrits dans le tableau S1 des matériaux supplémentaires.

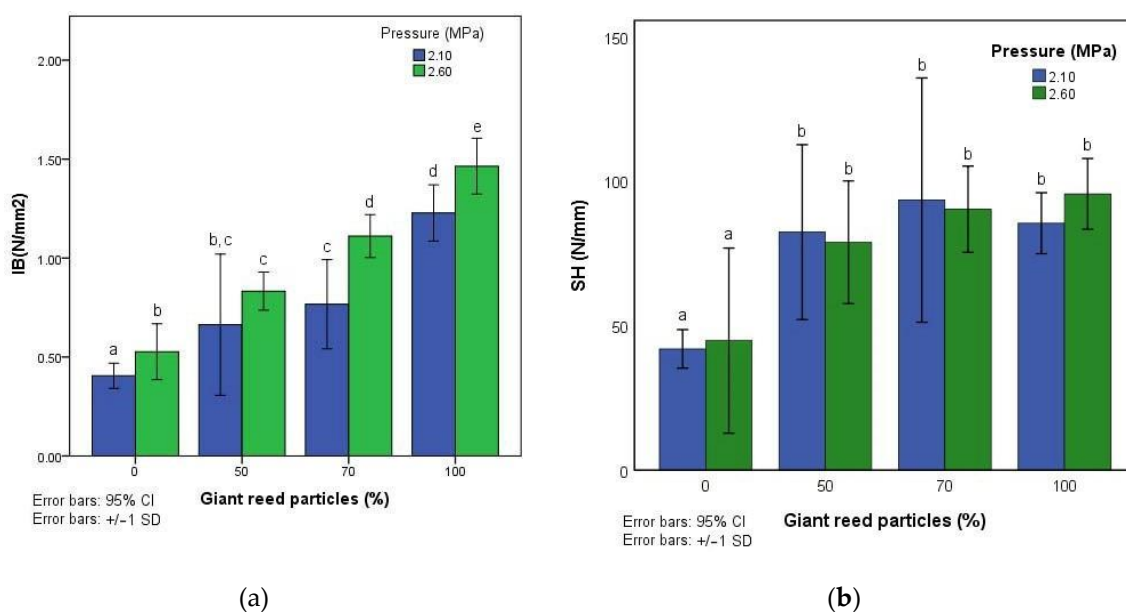


Figure 3. Valeurs IB et SH des huit panneaux de particules. Les valeurs avec la même lettre ne sont pas significativement différentes d'après le test des plages multiples de Duncan à 0,05. (a) Valeurs IB ; (b) Valeurs SH.

Comme le montre l'ANOVA du tableau 4, toutes les propriétés physiques, à l'exception du MOE, dépendaient du pourcentage de roseau géant ajouté. La densité, le MOR, le MOE et la conductivité thermique dépendaient également de la pression appliquée.

Tableau 4. ANOVA des résultats des tests.

	Somme des propriétés des facteurs de	des Carrés	d.f.	Demi-quadratique	FSig.
	Density (kg/m ³)				
% de roseau x ajoutés	TS 24 h	65,724.901321,908.3006.252		0.002	(%)1260.2363420.07917.876
	WA 24 h	0.000		0.000	(%)2054,5973684,86616,689
	MOR (N/mm ²)	0.002		0.002	162.434354.1455.832
	MOE (N/mm ²)	533,881.4663177,960.4891.187		0.329	3,45131,15040,724
Pression appliquée	IB (N/mm ²)	0.000		0.000	
	SH (N/mm)	N/mm)9422.80333140.93412.105		0.000)0.00230.00112.108
	C. thermique (W/m-K)	0.000		0.000	
	Density (kg/m ³)				
	TS 24 h	34,161.109134,161.1098.196		0.007	(%)98,413198,4131,835
	WA 24 h	0.184		0.184	(%)20,619120,6190,220
	MOR (N/mm ²)	0.642		0.642	93.261193.2618.755
	MOE (N/mm ²)	0.005		0.005	
	IB (N/mm ²)	2,517,539.64912,517,539.64928.529		0.000	0,34410,3443,1080.086
	SH (N/mm))105.4621105.4620.212
		0.648		0.648	

Les exigences minimales établies par la norme européenne [28] pour une utilisation générale dans des conditions sèches (Grade P1) sont un IB de 0,28 N/mm² et un MOR de 10,5 N/mm². Pour la fabrication de meubles (Grade P2), les valeurs minimales requises sont un IB de 0,40 N/mm², un MOE de 1800 N/mm² et un MOR de 11,0 N/mm². Pour les panneaux non structuraux destinés à être utilisés dans des conditions humides, les exigences minimales sont un IB de 0,45 N/mm², une MOE de 2050 N/mm², un MOR de 15 N/mm² et 17% pour TS à 24 h.

Les meilleurs résultats mécaniques des panneaux mixtes sont obtenus avec 30% de bois et 70% de roseau géant (panneau B3) à une pression de 2,6 MPa. Comme le montre le tableau 5, le panneau B2 pourrait être classé P1 et le panneau B3 serait classé P2.

Tableau 5. Propriétés mécaniques et physiques et classification des panneaux B2 et B3 selon la réglementation européenne [28].

Type de conseil	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	IB (N/mm ²)	TS 24 h (%)
B2	13.1	1.734	0.83	18.03
B3	14.1	1.880	1.11	18.30
Grade P1	10.5	-	0.28	-
Grade P2	11.0	1.800	0.40	-
Grade P3	15.0	2.050	0.45	17.00

Des études antérieures ont permis de fabriquer des panneaux de particules à base de coquilles de noix et d'amandes [8] à 160 °C, qui ont obtenu les propriétés requises pour une utilisation en intérieur. Les panneaux fabriqués avec un rapport de 6:94 de tontes de gazon avec l'eucalyptus [18] ont obtenu les propriétés mécaniques requises pour l'aménagement intérieur, y compris les meubles et l'utilisation générale. Scatolino et al [11] ont conclu que les propriétés mécaniques des planches ont été améliorées en ajoutant 10% de particules de parchemin de café et en appliquant une température de 160 °C. D'autres travaux ont établi que pour répondre aux normes requises pour le MOR, la proportion maximale de coque de noix [7] à ajouter était de 20% et pour la coque d'arachide [5], elle était de 25%. En utilisant la coque de ricin comme matière première pour la production de panneaux de particules mélangés avec du bois de pin [15] et 8% d'UF et en appliquant une pression de 3,92 MPa et une température de 160 °C pendant 8 min, la résistance mécanique des panneaux de particules a généralement diminué à mesure que la teneur en coque de ricin augmentait. Jusqu'à 50% de coques de ricin peuvent être ajoutées au bois de pin pour produire des panneaux de particules adaptés aux applications intérieures. De bonnes performances mécaniques sont obtenues dans ce travail avec 70% de particules de roseau, et les panneaux obtenus avec l'application d'une température de 120 °C et d'une pression de 2,6 MPa pendant 4 min se sont avérés atteindre les exigences de performance mécanique pour les applications intérieures (y compris les meubles) pour une utilisation dans des conditions sèches (Grade P2). Par conséquent, les panneaux fabriqués à partir de déchets de roseaux géants présentent des résultats similaires à ceux d'autres études sur les panneaux mixtes, tout en utilisant un pourcentage plus élevé d'un résidu lignocellulosique dans un processus à faible consommation d'énergie.

3.3. Conductivité thermique

Pour les panneaux testés dans ce travail, des différences significatives de conductivité thermique (figure 4) ont été constatées entre les types analysés, obtenant des valeurs moyennes comprises entre 0,0575 et 0,0804 W/m-K. Elles peuvent donc être considérées comme un bon matériau d'isolation thermique, mais il convient de noter que les planches B4 sont celles qui présentent les meilleures propriétés thermiques. L'ajout de particules de roseau géant aux planches fabriquées dans ce travail donne des résultats de conductivité thermique similaires à ceux des planches utilisant uniquement des particules de bois. Les écarts par rapport aux valeurs indiquées sur la figure 4 sont décrits dans le tableau S1 des matériaux supplémentaires.

Khedari et al. [31] ont réalisé une étude en utilisant des écorces de durian et du cocotier avec 12% d'UF pour fabriquer des panneaux de particules. Ils ont conclu que les panneaux avaient une faible conductivité thermique, comprise entre 0,0540 et 0,1854 W/m-K ; cependant, les propriétés mécaniques obtenues avec ces panneaux étaient assez faibles.

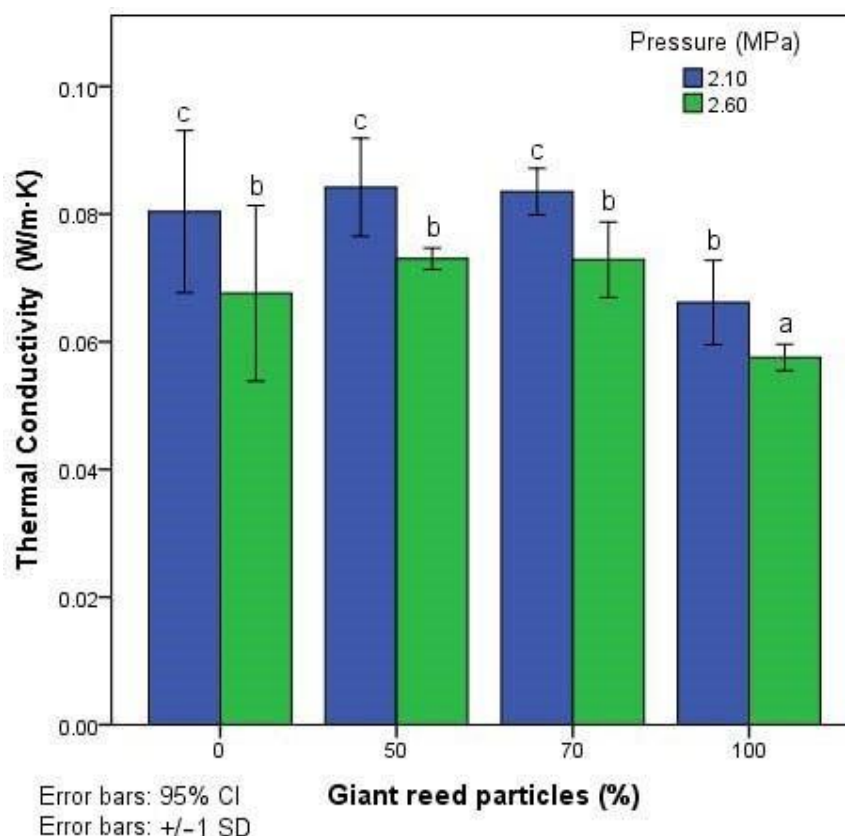


Figure 4. Valeurs de conductivité thermique de huit panneaux de particules. Les valeurs ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes d'après le test des plages multiples de Duncan à 0,05.

4. Conclusions

L'ajout de particules de roseau aux panneaux de particules de bois permet de réduire la densité et d'améliorer les propriétés TS, IB et SH. Par conséquent, le roseau géant est une fibre végétale qui peut être ajoutée aux particules de bois pour améliorer les propriétés des panneaux de bois.

Les meilleurs résultats sont obtenus pour les panneaux mixtes de bois et de roseau géant fabriqués avec 70% de particules de roseau et en appliquant une pression de 2,6 MPa, ce qui permet d'obtenir des panneaux classés Grade P2 (pour la fabrication de meubles et de décoration intérieure dans des conditions sèches). Ces panneaux présentent également de bonnes propriétés thermiques, de sorte qu'ils pourraient être utilisés pour les divisions intérieures des bâtiments sans nécessiter de revêtements. Les recherches futures devront rechercher les dosages appropriés et l'application d'une sorte de produit hydrofuge qui nous permettraient de fabriquer des panneaux ayant les propriétés requises pour une utilisation extérieure. L'utilisation de particules de roseau géant dans la fabrication de panneaux de bois mélangé pourrait être une alternative intéressante car elle contribue au développement de matériaux plus durables, impliquant des coûts de production plus faibles, consommation d'énergie que les panneaux de bois industriels.

Matériaux supplémentaires : Les éléments suivants sont disponibles en ligne à l'adresse <http://www.mdpi.com/2071-1050/12/24/10469/s1>, Tableau S1 : Résultats moyens des propriétés mécaniques et thermiques.

Contributions des auteurs : M.T.F.G. et C.E.F.-G. ont conçu et réalisé les expériences ; M.F.-V. et T.G.-O. ont réalisé les expériences ; A.F.-G. et M.T.F.G. ont analysé les données ; M.F.-V. a fourni les réactifs/matériels/outils d'analyse ; M.T.F.G. a rédigé la première version du document. Tous les auteurs ont lu et approuvé la version publiée du manuscrit.

Financement : Cette recherche a été financée dans le cadre de l'accord n° 4/20 entre la société Aitana, Actividades de Construcciones y Servicios, S.L. et l'Universidad Miguel Hernandez, Elche.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier l'entreprise Aitana, Actividades de Construcciones y Servicios, S.L. pour son soutien en signant l'accord n° 4/20 avec l'Universidad Miguel Hernández, Elche, le 20 décembre 2019.

Conflits d'intérêts : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt.

Références

1. FAO. *El Estado de los Bosques en el Mundo* ; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura : Rome, Italie, 2014.
2. Mantau, U. ; Saal, U. ; Prins, K. ; Steierer, F. ; Lindner, M. ; Verkerk, H. ; Eggers, J. ; Leek, N. ; Oldenburguer, J. ; Asikainen, A. ; et al. *Real Potential for Changes in Growth and Use of EU Forests* ; EUwood : Hambourg, Allemagne, 2010.
3. Bektas, I. ; Güler, C. ; Kalaycioglu, H. ; Mengeloglu, F. ; Nacar, M. La fabrication de panneaux de particules à partir de tiges de tournesol (*helianthus annuus* L.) et de bois de peuplier (*populus alba* L.). *J. Compos. Mater.* **2005**, *39*, 467-473. [[CrossRef](#)]
4. Guler, C. ; Bektas, I. ; Kalaycioglu, H. La fabrication expérimentale de panneaux de particules à partir de tiges de tournesol (*Helianthus annuus* L.) et de pin de Calabre (*Pinus brutia* Ten.). *Forest Prod. J.* **2005**, *56*, 56-60.
5. Guler, C. ; Copur, Y. ; Tascioglu, C. La fabrication de panneaux de particules en utilisant un mélange de coques d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) et de copeaux de bois de pin noir européen (*Pinus nigra* Arnold). *Bioresour. Technol.* **2008**, *99*, 2893-2897. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Guler, C. ; Büyüksarı, Ü. Effet des paramètres de production sur les propriétés physiques et mécaniques des panneaux de particules fabriqués à partir de la coque d'arachide (*Arachis hypogaea* L.). *BioResources* **2011**, *6*, 5027-5036.
7. Pirayesh, H. ; Khazaeian, A. ; Tabarsa, T. The potential for using walnut (*Juglans regia* L.) shell as a raw material for wood-based particleboard manufacturing. *Compos. Part B Eng.* **2012**, *43*, 3276-3280. [[CrossRef](#)]
8. Pirayesh, H. ; Khanjanzadeh, H. ; Salari, A. Effect of using walnut/almond shells on the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard. *Compos. Part B Eng.* **2013**, *45*, 858-863. [[CrossRef](#)]
9. Çöpür, Y. ; Güler, C. ; Akgül, M. ; Taşçoğlu, C. Quelques propriétés chimiques de la balle de noisetier et son aptitude à la production de panneaux de particules. *Buıld. Environ.* **2007**, *42*, 2568-2572. [[CrossRef](#)]
10. Barbu, M.C. ; Sepperer, T. ; Tudor, E.M. ; Petutschnigg, A. Walnut and Hazelnut Shells : Untapped Industrial Resources and Their Suitability in Lignocellulosic Composites. *Appl. Sci.* **2020**, *10*, 6340. [[CrossRef](#)]
11. Scatolino, M.V. ; de Oliveira Costa, A. ; Júnior, J.B.G. ; de Paula Protásio, T. ; Mendes, R.F. ; Mendes, L.M. Bois d'eucalyptus et parchemin de café pour la production de panneaux de particules : Propriétés physiques et mécaniques. *Cienc. Agrotech.* **2017**, *41*, 139-146. [[CrossRef](#)]
12. De Araújo Veloso, M.C.R. ; Pires, M.R. ; Villela, L.S. ; Scatolino, M.V. ; de Paula Protásio, T. ; Mendes, L.M. ; Júnior, J.B.G. Potential destination of Brazilian cocoa agro-industrial wastes for production of materials with high added value. *Waste Manag.* **2020**, *118*, 36-44. [[CrossRef](#)]
13. Yang, H.-S. ; Kim, D.-J. ; Kim, H.-J. Composite de paille de riz et de particules de bois pour l'absorption acoustique des matériaux de construction en bois . *Bioresour. Technol.* **2003**, *86*, 117-121. [[CrossRef](#)]
14. Pirayesh, H. ; Moradpour, P. ; Sepahvand, S. Panneau de particules de bois et de feuilles de sycomore : Propriétés physico-mécaniques. *Eng. Agric. Environ. Food* **2015**, *8*, 38-43. [[CrossRef](#)]
15. Silva, D.W. ; Scatolino, M.V. ; do Prado, N.R.T. ; Mendes, R.F. ; Mendes, L.M. Addition de différentes proportions de coque de ricin et de bois de pin dans les panneaux de particules. *Déchets de biomasse Valoris.* **2018**, *9*, 139-145. [[CrossRef](#)]
16. Jimenez, J.J.P. ; Acda, M.N. ; Razal, R.A. ; Abasolo, W.P. ; Hernandez, H.P. ; Elepaño, A.R. Effect of tobacco stalk additive particle size on the bond strength and formaldehyde emission of urea formaldehyde bonded plywood. *Philipp. J. Sci.* **2020**, *149*, 351-360.
17. Kowaluk, G. ; Szymanowski, K. ; Kozłowski, P. ; Kukula, W. ; Sala, C. ; Robles, E. ; Czarniak, P. Évaluation fonctionnelle des panneaux de particules fabriqués à partir de la taille des vergers de pommiers et de pruniers. *Waste Biomass Valoris.* **2020**, *11*, 2877-2886. [[CrossRef](#)]
18. Nemli, G. ; Demirel, S. ; Gümüşkaya, E. ; Aslan, M. ; Acar, C. Faisabilité de l'incorporation de déchets de tonte d'herbe (*Lolium perenne* L.) dans des panneaux composites de particules. *Waste Manag.* **2009**, *29*, 1129-1131. [[CrossRef](#)]
19. García-Ortuño, T. ; Andréu-Rodríguez, J. ; Ferrández-García, M.T. ; Ferrández-Villena, M. ; Ferrández-García, C.E. Évaluation des propriétés physiques et mécaniques des panneaux de particules fabriqués à partir du roseau géant (*Arundo donax* L.). *BioResources* **2011**, *6*, 477-486.
20. Ferrández-García, C.E. ; Andreu-Rodríguez, J. ; Ferrández-García, M.T. ; Ferrández-Villena, M. ; García-

Ortuño, T. Panneaux fabriqués à partir de roseaux géants collés avec des amidons non modifiés.
BioResources **2012**, *7*, 5904-5916. [[CrossRef](#)]

21. Ferrandez-Garcia, M.T. ; Ferrandez-Garcia, C.E. ; Garcia-Ortuño, T. ; Ferrandez-Garcia, A. ; Ferrandez-Villena, M. Évaluation expérimentale d'un nouveau composite de roseau géant (*Arundo donax* L.). Composite utilisant l'acide citrique comme liant naturel. *Agronomy* **2019**, *9*, 882.
22. Comité européen de normalisation. EN 309. *Panneaux de particules. Définitions et classification* ; Comité européen de normalisation : Bruxelles, Belgique, 2005.
23. Comité européen de normalisation. EN 323. *Panneaux à base de bois. Détermination de la densité* ; Comité européen de normalisation : Bruxelles, Belgique, 1993.
24. Comité européen de normalisation. EN 317. *Panneaux de particules et de fibres. Détermination du gonflement de l'épaisseur de après immersion dans l'eau* ; Comité européen de normalisation : Bruxelles, Belgique, 1993.
25. Comité européen de normalisation. EN 319. *Panneaux de particules et de fibres. Détermination de la résistance à la traction Perpendiculaire au plan du panneau* ; Comité européen de normalisation : Bruxelles, Belgique, 1993.
26. Comité européen de normalisation. EN 310. *Panneaux à base de bois. Détermination du module d'élasticité en flexion et de la résistance à la flexion* ; Comité européen de normalisation : Bruxelles, Belgique, 1993.
27. Comité européen de normalisation. EN 320. *Panneaux de particules et de fibres - Détermination de la résistance au retrait axial de la vis* ; Comité européen de normalisation : Bruxelles, Belgique, 2011.
28. Comité européen de normalisation. EN 312. *Panneaux de particules. Spécifications* ; Comité européen de normalisation : Bruxelles, Belgique, 2010.
29. Comité européen de normalisation. EN 12667. *Performance thermique des matériaux et produits de construction : Détermination de la résistance thermique par les méthodes de la plaque chauffante gardée et du débitmètre thermique : Products of High and Medium Thermal Resistance* ; Comité européen de normalisation : Bruxelles, Belgique, 2001.
30. Obataya, E. ; Norimoto, M. Propriétés acoustiques d'un roseau (*Arundo donax* L.) utilisé pour la plaque vibrante d'une clarinette . *J. Acoust. Soc. Am.* **1999**, *106*, 1106-1110. [[CrossRef](#)]
31. Khedari, J. ; Charoenvai, S. ; Hirunlabh, J. Nouveaux panneaux de particules isolants à partir d'écorce de durian et de cocotier. *Construire. Environ.* **2003**, *38*, 435-441. [[CrossRef](#)]

Note de l'éditeur : MDPI reste neutre en ce qui concerne les revendications juridictionnelles dans les cartes publiées et les affiliations institutionnelles.



2020 par les auteurs. Détenteur de la licence MDPI, Bâle, Suisse. Cet article est un article en accès libre distribué selon les termes et conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).