
Etude mécanique et acoustique d'un bio-composite chanvre-amidon

A.T. Le¹, A. Gacoin¹, A.Li¹, N. El Wakil²

1 Laboratory of Civil Engineering, Université de Reims Champagne Ardenne,

Moulin de la Housse, BP 1039, 51687 Reims cedex 2, France

2 Laboratory of Thermo-Mechanics, GRESPI, Université de Reims Champagne Ardenne,

Moulin de la Housse, BP 1039, 51687 Reims cedex 2, France

RÉSUMÉ. Le bio-composite chanvre-amidon est un nouveau matériau 100% végétal constitué d'amidon de blé et de chènevotte. C'est un matériau durable pour la construction et le bâtiment. Dans ce travail, une étude sur le comportement mécanique et acoustique a été réalisée. Deux paramètres prépondérants sont étudiés : le rapport chanvre sur amidon (en anglais hemp/starch) et la taille des fibres. Le rapport chanvre/amidon H/S est fixé à 6, 8 ou 10 et 2 tailles de fibres de chènevotte 0-15 mm et 0-20 mm sont mélangées avec une troisième taille de fibres 0-5 mm. Les bio-composites sont réalisés avec un liant optimal issu d'une étude précédente. L'étude mécanique s'intéresse à la masse volumique, la contrainte de compression ultime, la résistance à la traction, le module d'élasticité et le coefficient de Poisson. L'étude sur le comportement acoustique utilise la mesure du temps de réverbération T60 et la formule de Millington. Les résultats montrent que les matériaux bio-composite amidon chanvre ont une bonne performance mécanique et acoustique et peuvent être utilisés comme matériaux de construction.

ABSTRACT. The starch-hemp is a bio-composite materials and it consisted of starch binder and hemp shives. This bio-composite material is a new durable material for construction and building. In this work, the study on mechanical and acoustical behavior of the starch-hemp bio-composite materials was carried out. The starch-hemp composite materials specimens with three Hemp/Starch ratios (H/S=6, 8 and 10), were manufactured by using the optimal binder and the hemp shives mixtures (0-5 mm+0-15 mm and 0-5 mm+0-20 mm). Influence of the H/S ratio and hemp shives size on density, ultimate compressive stress, tensile strength, elasticity modulus and Poisson's ratio of the starch-hemp bio-composite materials was studied and analysis. The study on acoustical behavior shows that the starch-hemp bio-composite material is a very good sound absorbing material for medium and high frequencies with a value around 0.7. The influence of the H/S ratio on the absorption coefficient is no important. The results show that the starch-hemp bio-composite materials have a good mechanical and acoustical performance and can be used as building materials..

MOTS-CLÉS : Starch, hemp shives, mechanical behavior, acoustical behavior

KEY WORDS: Starch, hemp shives, mechanical behavior, acoustical behavior

1 Introduction

Le respect des nouvelles réglementations environnementales nécessite de concevoir des matériaux de construction performants (isolation thermique, absorption et isolation acoustiques) avec un impact moindre sur l'empreinte carbone, ce qui entraîne l'apparition de nouveaux matériaux de construction à base des fibres naturelles comme la paille, le lin, le bambou et spécialement la chènevotte de chanvre.

La chènevotte issue du chanvre est plus résistante à la pourriture biologique que d'autres matériaux de construction biologique (par exemple la paille). Le chanvre peut atteindre une hauteur de 4 m en quelques mois, avec une faible demande d'engrais et d'irrigation [SHE 12], [ELF 08], [ARN 12] et [BAR 14]. Comme beaucoup de fibres naturelles, il a été utilisé pendant des siècles comme armature dans le béton, dans les travaux de drainage et de corde et la fabrication de tissus [KID 12].

Les propriétés mécaniques, thermiques et hydriques du béton de chaux-chanvre sont influencées par l'étape de séchage dans la fabrication. L'humidité initiale est également diminuée par procédé de pulvérisation [COL 2012]. La stabilité des propriétés mécaniques et thermiques des anas de chanvre peut être améliorée de 40% après quelques traitements chimiques sur la surface des fibres. La résistance à la flexion peut être augmentée, cependant, le module d'élasticité diminue légèrement [TER 12], [SED 08] et [TRO 08]. Jusqu'à présent, toutes les études montrent que le béton de chaux-chanvre a une faible résistance à la compression et un faible module d'élasticité. Dans sa forme actuelle, il ne peut pas être utilisé comme matériau porteur [DeB 09]. Les bétons de chaux-chanvre sont généralement utilisés dans la construction comme matériaux de remplissage, dalles préfabriquées, revêtements muraux, sous forme de briques ou blocs. Les avantages du béton de chaux-chanvre sont : [ELF 08], [ARN 12], [DeB 09], [WAL 14 a], [BEN 13], [WAL 14 b], [GLE 11] et [COL 08]:

- La légèreté des particules, ce qui induit un rapport résistance / densité excellent notamment sur la déformabilité de la matrice (formée par le liant);
- La faible conductivité thermique fournie par la porosité entre les particules ;
- L'échange de vapeur d'eau variable, influencé fortement par l'aspect poreux (micro-pores des matériaux constitutifs et des macro-pores liés à leur arrangement imparfait) ;
- Enfin, la bonne absorption acoustique conféré par l'aspect poreux de la surface.

Dans ce travail les performances mécaniques et acoustiques d'un nouveau matériau bio-composite à base d'amidon comme liant et de chènevotte comme renfort sont étudiées. Dans la première partie de cet article, les différents constituants des matériaux bio-composite chanvre-amidon sont présentés, ainsi que les résultats de leurs caractérisations. Deux paramètres critiques, la viscosité dynamique et la tension de surface du liant sont étudiés afin d'obtenir le liant optimal pour le reste de cette étude. Les principales caractéristiques mécaniques : résistance à la compression et à la flexion, le module d'Young et le coefficient de Poisson en fonction de plusieurs rapports chanvre/amidon (en anglais Hemp/Starch) sont analysés et discutés. Dans la deuxième partie de cette étude, les performances acoustiques sont étudiées, ainsi que les résultats obtenus par la mesure du temps de réverbération T60. Ces résultats montrent que les matériaux composites chanvre-amidon ont un très bon coefficient d'absorption pour les moyennes et hautes fréquences et que l'influence du rapport H/S sur le coefficient d'absorption est négligeable.

2 Matériaux

Plusieurs type de chènevotte (Figure 1) de " Technichanvre®, Riec sur Belon, France " ont été utilisés pour fabriquer des matériaux composites. La longueur, l'épaisseur et la largeur ont été obtenus par analyse granulométrique (tamisage), à dimension maximale et les caractéristiques des chènevottes sont données dans Tableau 1.

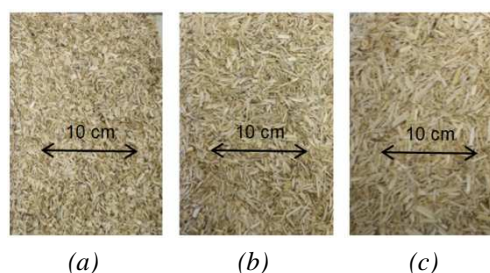


Figure 1 : (a) Chènevotte 0-5 mm; (b) Chènevotte 0-15 mm and (c) Chènevotte 0-20 mm.

Tableau 1 : Properties of hemp shives.

Properties	Size (mm)		
	0-5	0-15	0-20
Length max (mm)	5	15	20
Width max (mm)	0.60	2.87	3.78
Thickness max (mm)	0.10	0.98	1.34
Loose fill density (kg/m ³)	135	105	110
Water retention capacity (ml/l)	370	370	370
Thermal conductivity (W/m K)	0.048	0.048	0.048

La chènevotte est noyée dans une solution de liant optimale à base d'amidon de blé (densité 453 kg/m³) et d'eau chaude. La dissolution de l'amidon dans l'eau chaude donne une pâte de blé qui peut être utilisée comme un agent épaississant et un raidisseur. Le but est de maintenir les fibres ensemble, de stabiliser la forme de la structure du bio-composite et de permettre le transfert des forces de cisaillement entre les fibres de chanvre.

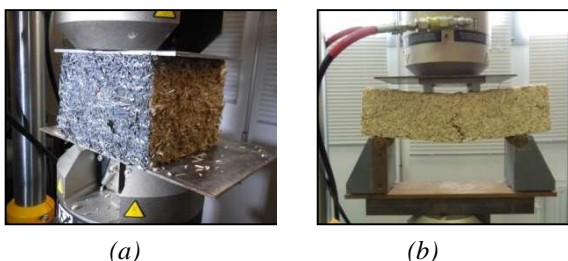
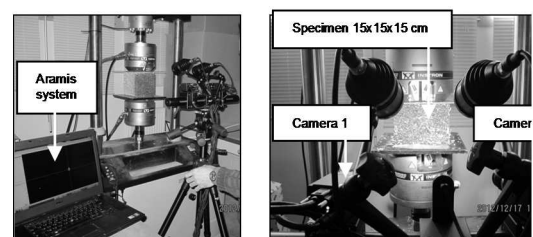
L'échec dans la conception de béton de chanvre est souvent dû à une composition de liant non adéquate ou une compétition entre le liant et la chènevotte pour absorber l'eau. Le liant doit contenir de l'amidon de blé, autant que possible (ce qui a pour effet d'augmenter la viscosité du liant), mais si le liant ne contient pas suffisamment d'eau, le résultat peut être un mélange de chanvre humide et de la poudre sèche (amidon dans cette étude). Dans nos précédents travaux [Le 2014] le liant optimal a été étudié et obtenu. Le liant est déterminé par l'analyse de la viscosité dynamique et la tension superficielle. La pénétration du liant dans la chènevotte est caractérisée par la mouillabilité (tension superficielle). Avec la réduction de la tension superficielle, le liant à base d'amidon pénètre à travers des ouvertures plus petites et s'étale sur une plus grande surface. Cependant, une augmentation de la viscosité diminue le coefficient de mouillabilité, la quantité d'eau absorbée et la vitesse d'absorption. La diminution l'eau absorbée par la chènevotte est bénéfique pour le séchage et permet donc de limiter le développement bactériologique.

Sur la base des résultats expérimentaux obtenus, il existe deux ratios optimaux amidon/eau (S/W) (0,18 et 0,22) dans laquelle la viscosité dynamique est la plus élevée (plus de 2.2×10^{-3} Pa.s) et la tension de surface est le plus faible (environ $(45-50) \times 10^{-3}$ N/m). La solution de liant (S/W) choisie pour l'élaboration de spécimens est de 0,18 [Le 2014].

3 Propriétés mécaniques

3.1 Procédure expérimentale

Une série de 15 spécimens 15x15x15 cm et 15 spécimens 10x10x40 cm ont été faites en variant le rapport chanvre/amidon (H/S=6, 8 et 10), pour deux mélanges des chènevottes de taille: 0-5mm + 0-15mm et 0-5mm + 0-20mm. Le mélange de fibres de tailles différentes permet de connaître l'influence de taille de fibres sur le comportement mécanique et acoustique. Le pourcentage des chènevotte de taille 0-5mm varie de 15, 20, 25 et 30 à 35%. Les essais mécaniques (Figure 2) ont été réalisés sur une machine de traction 8800 en utilisant respectivement une de vitesse de 0,2mm/s pour les tests de compression et de 0,1mm/s pour les essais de flexion. En raison du processus de fabrication, la plupart des fibres de chanvre ont tendance à s'empiler dans des plans normaux à la pression de compactage. Les essais de compression et les essais de flexion sont effectués dans la direction de pression de compactage. La résistance à la traction est déterminée en utilisant la relation $\sigma_t = (3F)/(a^2)$ avec F: charge maximale, a: épaisseur et hauteur=100mm.

**Figure 2 : (a) compression (b) flexion****Figure 3 : Système stéréoscopique Arami**

Dans ce travail, le module d'élasticité et le coefficient de Poisson sont obtenus à l'aide d'un système optique Aramis (Figure 3). Aramis est un système optique haute performance qui analyse le déplacement et la déformation de l'échantillon pendant le chargement grâce à des méthodes de corrélation d'images numériques. Il permet l'observation des champs des déformations et des contraintes sans contact [JON 2011]. Avant de procéder aux tests, les échantillons sont recouverts d'une couche de peinture noire et mouchetée avec une peinture blanche, pour permettre la capture des images. La distance entre la caméra et l'échantillon a été fixée égale à 47 cm (Figure 3).

3.2 Résultats et discussion

3.2.1 Influence de la taille des fibres pour $H/A=6$

La Figure 4 montre la variation de la masse volumique des bio-composites en fonction du pourcentage de chènevette 0-5 mm. La masse volumique évolue autour d'une moyenne de 181,0 à 193,8 kg/m³ pour les mélanges 0-5 + 0-15 mm et 183,8 à 194,9 kg/m³ pour les mélanges 0-5 mm 0-20 mm. La densité des bio-composite chanvre-amidon est inférieure à celle du béton de chanvre-chaux qui est généralement comprise entre 250 kg/m³ et 660 kg/m³ [ELF 08] et [ARN 12]. La masse volumique du bio-composite chanvre-amidon avec des mélanges 0-5 + 0-20 mm est supérieure à la masse volumique du bio-composite chanvre-amidon avec des mélanges 0-5 + 0-15 mm. Cela s'explique par la densité des différentes chènevettes: 110 kg/m³ pour la taille 0-20 mm contre 105 kg/m³ pour la taille 0-15 (Tableau 1). La relation entre la masse volumique et le pourcentage de chènevette 0-5mm n'est pas linéaire et peut être illustrée par l'équation [1].

La résistance moyenne à la traction pour différents pourcentages de chènevette 0-5mm est comprise entre 0,088 et 0,105 MPa pour les mélanges 0-5 + 0-15 mm et de 0,085 à 0,104 MPa pour les mélanges 0-5 + 0-20mm. Les résultats montrent que la résistance à la traction augmente lorsque le pourcentage de chènevette 0-5mm augmente de 15% à 25%. Puis, la résistance à la traction diminue lorsque le pourcentage de chènevette 0-5mm est supérieur à 25%. Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues sur le béton de chanvre-chaux compris entre 0,7 et 1,2 MPa [ELF 08]. Il est également confirmé que lorsque la chènevette est plus fine (mélanges 0-5 + 0-15 mm), les particules de chanvre sont mieux recouvertes par le liant lors de la fabrication [ARN 12]. Toutefois, lorsque le volume de la chènevette augmente dans le mélange, le transfert des charges entre les fibres s'affaiblit d'où une diminution de la contrainte de traction. Les résultats indiquent que la résistance à la traction maximale est obtenue pour un taux de 25% de chènevette dont la taille est de 0-5 mm. La relation entre la contrainte de traction de σ_t et le pourcentage de chènevette 0-5 mm n'est pas linéaire. Elle est illustrée par l'équation [2].

Les modules d'élasticité en fonction du pourcentage de chènevette 0-5 mm sont présentés sur la Figure 6. Le module d'élasticité augmente de 1,59 à 2,13 MPa pour les mélanges 0-5 + 0-15 mm et de 2,18 à 2,79 MPa pour les mélanges 0-5 + 0-20 mm. La valeur du module d'élasticité des bio-composites chanvre-amidon avec des mélanges de 0-5 + 0-20 mm est supérieure à celle des mélanges de 0-5 + 0-15 mm. Cela s'explique par la masse volumique des matériaux bio-composite chanvre-amidon (cf. Figure 5). Pour le béton chanvre-chaux, la valeur du module d'élasticité est comprise entre 5 MPa et 35 MPa [ELF 08]. La différence est principalement due à la faible densité des matériaux bio-composite chanvre-amidon. La relation entre le module d'élasticité E et le pourcentage de fibre 0-5 mm peut être également estimée par l'équation suivante [3].

La Figure 7 montre la variation du coefficient de Poisson en fonction du pourcentage chènevette 0-5 mm. La variation du coefficient de Poisson est comprise entre 0,087 et 0,102 pour les mélanges 0-5 + 0-15 mm et de 0,140 à 0,191 pour les mélanges 0-5 + 0-20 mm. Le coefficient de Poisson augmente en fonction de la quantité de chènevette 0-5 mm. La relation entre le coefficient de Poisson et le pourcentage de fibre 0-5 mm peut être également estimée par l'équation suivante [4].

$$\rho = C_1 H^2 + C_2 H + C_3 \quad [1]$$

$$\sigma_t = C_4 H^2 + C_5 H + C_6 \quad [2]$$

$$E = C_7 H^2 + C_8 H + C_9 \quad [3]$$

$$\vartheta = C_{10} H^2 + C_{11} H + C_{12} \quad [4]$$

Les coefficients C1 à C12 sont obtenus expérimentalement (Tableau 2).

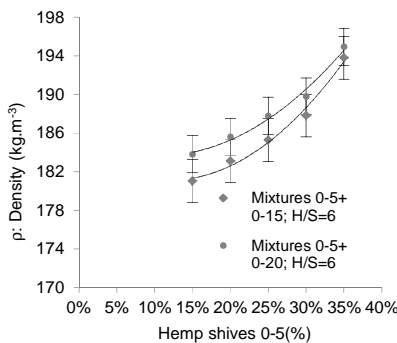


Figure 4 : Masse vol. en fonction du % de chènevette 0-5 mm

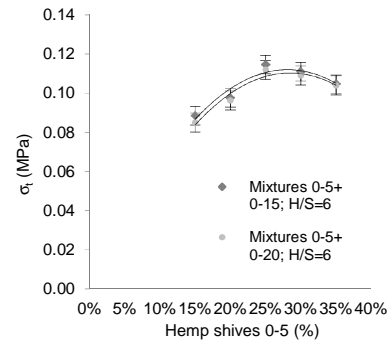


Figure 5 : Résistance à la traction par flexion en fonction du % de chènevette 0-5 mm

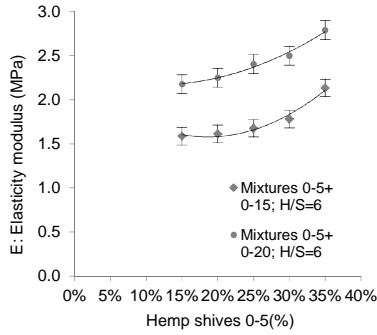


Figure 6: Module d'Young en fonction du % de chènevotte 0-5 mm

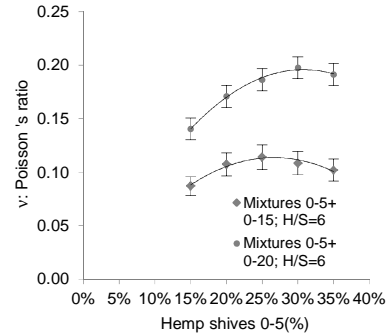


Figure7: Coef. de Poisson en fonction du % de chènevotte 0-5 mm

Tableau. 2: Coefficient de C₁ à C₁₂

	C ₁ kg/m ³	C ₂ kg/m ³	C ₃ kg/m ³	C ₄ MPa	C ₅ MPa	C ₆ MPa	C ₇ MPa	C ₈ MPa	C ₉ MPa	C ₁	C ₁	C ₁
0-5 + 0-15 mm	234.5	-56.8	184.6	-1.469	0.826	-0.004	19.81	-7.38	2.27	-1.876	1	-0.02
0-5 + 0-20 mm	185.6	-40	185.9	-1.467	0.835	-0.008	10.76	-2.43	2.30	-2.226	1.37	-0.015

3.2.2 Influence du rapport H/A - Chènevotte 0-15 mm

La Figure 8 montre la variation de la masse volumique du bio-composite fonction du pourcentage de chènevotte 0-5 mm. La massue volumique varie de 181,0 à 193,8 kg/m³ pour les mélanges avec un H/S=6 ; 177,3 à 189,1 kg / m³ pour les mélanges H/S=8 et 173,7 à 184,7 kg/m³ pour les mélanges H/S=10. Les résultats montrent que la densité diminue en fonction du rapport H/S compris entre 6 et 10. La masse volumique des bio-composites chanvre-amidon est plus faible que celui du béton de chanvre-chaux qui est généralement comprise entre 250 kg/m³ et 660 kg/m³ [ELF 2008] et [ARN 2012]. La relation entre la masse volumique ρ et le pourcentage de chènevotte H peut être illustrée par l'équation [5]. C₁₃, C₁₄, C₁₅ sont obtenus expérimentalement (Tableau 3).

La résistance à la traction moyenne varie avec le rapport H/S. La valeur est de 0,088 à 0,105 MPa pour H/S=6 ; de 0,083 à 0,103 MPa pour H/S=8 et 0,079 à 0,096 MPa pour H/S=10 (Figure 9). Les résultats montrent également que la résistance à la traction diminue lorsque le rapport H/S augmente de 6 à 10. Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues avec les bétons de chanvre-chaux de 0,7 à 1,2 MPa [ELF 08]. Les relations entre la contrainte de traction σ_t et le pourcentage de chènevotte H donné par l'équation [6]. C₁₆, C₁₇, C₁₈ sont obtenus expérimentalement (Tableau 3).

La Figure 10 montre le module d'élasticité en fonction du pourcentage de chènevotte. Les module d'élasticité augmente de 1,59 à 2,13 MPa pour les mélanges H/S = 6; de 1,52 à 2,01 MPa pour les mélanges H/S=8 et de 1,44 à 1,89 MPa pour les mélanges H/S=10. Lorsque le pourcentage de chènevotte augmente de 15% à 35%, le module d'élasticité diminue en fonction du rapport H/S. Pour le béton chanvre-chaux, la valeur du module d'élasticité est comprise entre 5 MPa et 35 MPa [ELF 08]. La différence s'explique par la densité plus faible des matériaux composites chanvre-amidon. La relation entre le module d'élasticité E et le pourcentage de chènevotte H est donnée par l'équation [7]. C₁₉, C₂₀, C₂₁ sont obtenus expérimentalement (Tableau 3).

La Figure 11 montre la variation du coefficient de Poisson en fonction du pourcentage de chènevotte. Le coefficient de Poisson varie de 0,087 à 0,102 pour les mélanges H/S=6 ; 0,082 à 0,100 pour les mélanges H/S=8 et de 0,076 à 0,094 pour les mélanges H/S=10. Le coefficient de Poisson diminue lorsque le ratio H/S augmente. La variation du coefficient de Poisson en fonction du pourcentage de chènevotte peut être illustrée par l'équation [8]. C₁₉, C₂₀, C₂₁ sont obtenus expérimentalement (Tableau 3).

$$\rho = C_{13}H^2 + C_{14}H + C_{15} \tag{5}$$

$$\sigma_t = C_{16}H^2 + C_{17}H + C_{18} \tag{6}$$

$$E = C_{19}H^2 + C_{20}H + C_{21} \tag{7}$$

$$\vartheta = C_{22}H^2 + C_{23}H + C_{24} \tag{8}$$

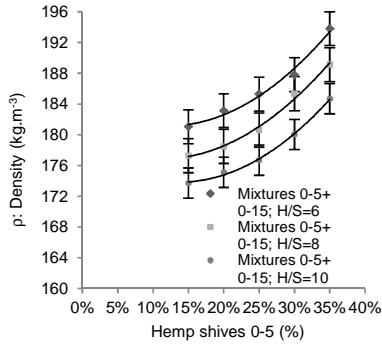


Figure 8: Masse Vol. en fonction du % de chènevotte 0-5mm et différents H/S

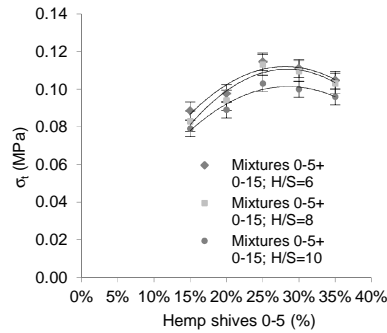


Figure 9: Résistance à la traction par flexion en fonction du % de chènevotte 0-5mm et différents H/S

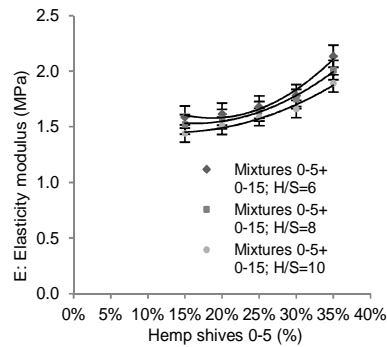


Figure 10: Module d'Young en fonction du % de chènevotte 0-5mm et différents H/S ratios

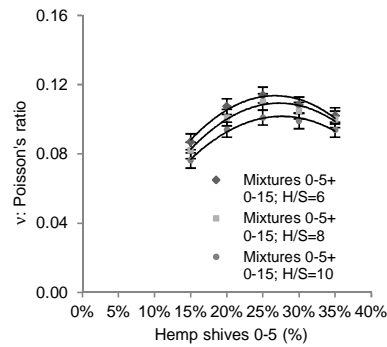


Figure 11: Coef. de Poisson en fonction du % de chènevotte 0-5mm et différents H/S

Tableau 3 : Coefficient de C₁₃ à C₂₄

0-5 + 0-15 mm	C ₁₃ kg/m ³	C ₁₄ kg/m ³	C ₁₅ kg/m ³	C ₁₆ MPa	C ₁₇ MPa	C ₁₈ MPa	C ₁₉ MPa	C ₂₀ MPa	C ₂₁ MPa	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄
H/S=6	234.5	-56.8	184.6	-1.469	0.826	-0.004	19.81	-7.38	2.27	-1.876	1	-0.02
H/S=8	221.5	-49.7	179.6	-1.648	0.935	-0.022	13.14	-4.25	1.87	-1.771	0.966	-0.022
H/S=10	236.7	-64.7	178.2	-1.286	0.733	-0.003	9.05	-2.42	1.61	-1.557	0.859	-0.017

4 Propriétés acoustiques

La deuxième partie de cette étude détermine le coefficient d'absorption. Ce travail est réalisé en utilisant la mesure du temps de réverbération T60. Les tests sont effectués sur trois panneaux identiques placés dans une chambre de réverbération. Le volume et la surface totale de la chambre de réverbération sont de 17 m³ et 41 m². La dimension de chaque panneau est de 48x68x3,5 cm. Le coefficient d'absorption a été déterminé pour deux types de chènevottes de taille différentes (0-15+0-5mm) et (0-20+0-5mm).

Pour chaque mélange cinq pourcentages de fibre de chanvre de taille 0-5 mm ont été utilisés: 15%, 20%, 25%, 30% et 35%. En outre, trois rapports chanvre/amidon (H/S): 6, 8, et 10 ont été utilisés pour le mélange (0-5 + 0-15 mm) et un H/S=6 a été utilisé pour les mélanges (0-5 + 0-20 mm).

La valeur T60 peut être estimée par la formule Millington équation [9]. V est le volume de la chambre de réverbération, a_i et S_i sont les coefficients d'absorption des matériaux et les surfaces de panneau.

$$T_{60} = \frac{0.161V}{-\sum \ln(1 - a_i S_i)} \quad [9]$$

4.1 Distribution de taille en fibres de chènevotte

Afin d'étudier l'influence de la taille de la chènevotte sur le coefficient d'absorption, la Figure 16 montre une comparaison entre les coefficients d'absorption pour le même rapport H/S (H/S=6) et pour deux mélanges 0-5 + 0-15 mm et 0-5 + 0-20 mm. On observe que le mélange de chènevotte 0-5 mm + 0-20 mm donne de meilleurs résultats que le mélange de chènevotte (0-5 + 0-15 mm). Les chènevotte les plus grandes ont un meilleur coefficient acoustique que les petites fibres. Cela est dû à l'élasticité et à la continuité de la matière qui absorbe cette gamme de fréquences. Comme le rapport H/S augmente la taille des fibres a peu d'effet sur le coefficient d'absorption.

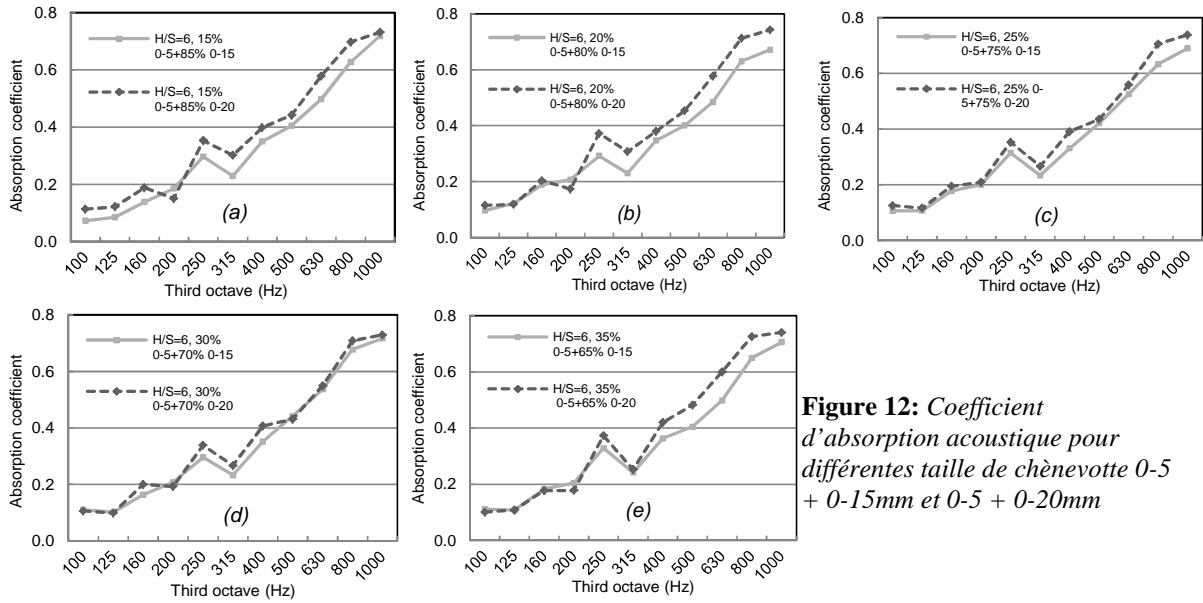


Figure 12: Coefficient d'absorption acoustique pour différentes taille de chènevotte 0-5 + 0-15mm et 0-5 + 0-20mm

4.2 Type de liant

La Figure 17 montre les résultats pour les basses fréquences ainsi que la bande moyenne 500 Hz. Les grandes différences sont observées pour les rapports H/S les plus faibles (H/S=6). Pour les rapports H/S plus élevées, la différence est négligeable. Ainsi, pour préserver la performance acoustique, les particules de chanvre doivent contenir un minimum de liant. Les résultats montrent que le rapport H/S=10 ratio est le meilleur choix pour le coefficient d'absorption, en particulier dans les basses fréquences. Les résultats obtenus montrent que les matériaux bio-composite chanvre-amidon sont de bons matériaux d'isolation acoustique et qu'ils peuvent également être incorporés dans la fabrication de mur antibruit.

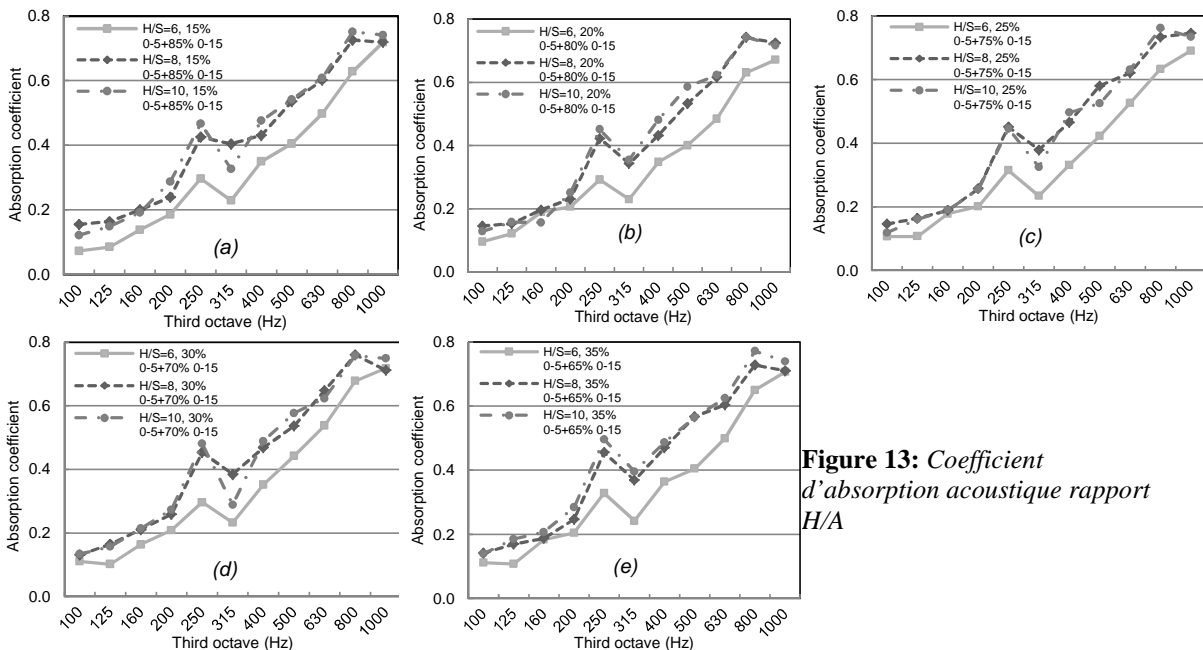


Figure 13: Coefficient d'absorption acoustique rapport H/A

5 Conclusion

Dans cet article, les performances mécaniques et acoustiques d'un bio-composite constitué par le mélange de deux tailles de chènevotte sont étudiées. Les résultats sont examinés avec ceux du béton de chanvre-chaux.

La masse volumique des matériaux bio-composite chanvre-amidon varie avec le rapport H/S. Pour un H/S donné, la masse volumique augmente avec l'augmentation des particules de chanvre et elle reste très inférieure à celle du béton chanvre-chaux. La résistance maximale à la traction varie de 0,088 MPa à 0,105 MPa pour les mélanges 0-5 + 0-15 mm lorsque H/S=6 ce qui correspond à un pourcentage de chènevotte de 15% à 35%. La relation entre la contrainte de compression et la déformation est non linéaire. Le module d'élasticité maximale

augmente avec le volume de chènevotte. Le module d'Young varie de 2,18 à 2,79 MPa. Le coefficient de Poisson varie de 0,140 à 0,191 lorsque le pourcentage de chènevotte est compris entre 15% et 35%. Le coefficient de Poisson augmente avec le volume de particule de chanvre 0-5 mm. La variation du module d'élasticité et le coefficient de Poisson n'est pas non plus linéaire. Il est bien connu que les matériaux bio-composite chanvre-amidon sont de bons matériaux acoustiques pour les moyennes et les hautes fréquences. L'influence du rapport H/S sur le coefficient d'absorption n'est pas importante.

Les résultats des nombreux essais mécaniques en compression et en traction par flexion montrent que la formulation optimale du matériau bio-composite, est obtenue pour un pourcentage 25% à 75% de chènevotte de 0-5 mm avec une chènevotte de 0-20 mm. Pour le comportement acoustique, la formulation optimale est obtenue pour un mélange constitué de 35% de chènevotte de 0-5 mm avec une chènevotte de 0-15mm et un H/S=10.

6 References

- [ARN 12] Arnaud L, Gourlay E. Experimental study of parameters influencing mechanical properties of hemp concretes. *Constr Build Mater* 2012; 28: 50–56.
- [BAR 14] Barclay M, Holcroft N, Shea AD. Methods to determine whole building hygrothermal performance of hemp–lime buildings. *Build Environ* 2014, 80: 204-212.
- [BEN 13] BENFRATELLO S, CAPITANO C, PERI G, RIZZO G, SCACCIANOCE G, SORRENTINO G. Thermal and structural properties of a hemp–lime biocomposite. *Constr Build Mater* 2013, 48: 745-754.
- [COL 12] COLINART T, GLOUANNEC P, CHAUVELON P. Influence of the setting process and the formulation on the drying of hemp concrete. *Constr Build Mater* 2012; 30: 372–380.
- [COL 08] COLLET F, BART M, SERRES L, MIRIEL J. Porous structure and water vapour sorption of hemp-based materials. *Constr Build Mater* 2008, 22: 1271-1280.
- [COL 12] COLLET F, PRETOT S. Experimental investigation of moisture buffering capacity of sprayed hemp concrete. *Constr Build Mater* 2012; 36: 58–65.
- [DeB 09] DE BRUIJNA PB, JEPPSSONA KH, SANDINB K, NILSSONA C. Mechanical properties of lime–hemp concrete containing shives and fibres. *Bios Eng* 2009; 103: 474–479.
- [ELF 08] Elfordy S, Lucas F, Tancret F, Scudeller Y, Goudet L. Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete (“hemcrete”) manufactured by a projection process. *Constr Build Mater* 2008; 22: 2116–2123.
- [GLE 11] GLÉP, GOURDON E, ARNAUD L. Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity. *Appl Acoust* 2011; 72: 249–259.
- [JON 11] JONATHAN MH. Ultrasonic and Stereo-Optical Characterization Techniques for Applications in Mechanical Testing. Ph.D. thesis, Nebraska; 2011.
- [KID 12] Kidalova L, Stevulova N, Terpakova E, Sicakova A. Utilization of alternative materials in lightweight composites. *J Clean Prod* 2012, 34: 116-119.
- [LE 14] LE AT, GACOIN A, LI A, MAI TH, Rebay M, Delmas Y. Experimental investigation on the mechanical performance of starch-hemp composite materials. *Constr Build Mater* 2014; 61: 106–113.
- [SED 08] SEDAN D, PAGNOUX C, SMITH A, CHOTARD T. Mechanical properties of hemp fibre reinforced cement: Influence of the fibre/matrix interaction. *J Eur Ceramic Society* 2008; 28: 183–192.
- [SHE 12] Shea A, Lawrence M, Walker P. Hygrothermal performance of an experimental hemp-lime building. *Constr Build Mater* 2012; 36: 270–275.
- [TER 12] TERPÁKOVÁ E, KIDALOVÁ L, EŠTOKOVÁ A, ČIGÁŠOVÁ J, ŠTEVULOVÁ N. Chemical modification of hemp shives and their characterization. 20th International Congress of Chemical and Process Engineering (CHISA 2012) 25–29 August 2012, Prague, Czech Republic.
- [TRO 08] TROEDÉC ML, SEDAN D, PEYRATOUT C, BONNET JP, SMITH A, GUINEBRETIERE R, GLOAGUEN V, KRAUSZ P. Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres. *Comp. Part A* 2008; 39: 514–522.
- [WAL 14 a] WALKER R, PAVIA S, MITCHELL R. Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes. *Constr Build Mater* 2014, 61: 340-348.
- [WAL 14 b] WALKER R, PAVIA S. Moisture transfer and thermal properties of hemp–lime concretes. *Constr Build Mater* 2014, 64: 270-276.