



## **Propriétés dynamiques d'un composite en fibres de lin avec une couche viscoélastique naturelle**

Hajer Daoud, Jean-Luc Rebiere, Abderrahim El Mahi, Mohamed Taktak, Mohamed Haddar

### **► To cite this version:**

Hajer Daoud, Jean-Luc Rebiere, Abderrahim El Mahi, Mohamed Taktak, Mohamed Haddar. Propriétés dynamiques d'un composite en fibres de lin avec une couche viscoélastique naturelle. Journées Nationales sur les Composites 2017, École des Ponts ParisTech (ENPC), Jun 2017, 77455 Champs-sur-Marne, France. ⟨hal-01621590⟩

**HAL Id: hal-01621590**

**<https://hal.science/hal-01621590v1>**

Submitted on 23 Oct 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

## **Propriétés dynamiques d'un composite en fibres de lin avec une couche viscoélastique naturelle**

### ***Dynamic properties of a flax fiber composite with a natural interleaved viscoelastic layer***

**Hajer Daoud<sup>1,2</sup>, Jean-Luc Rebière<sup>1</sup>, Abderrahim El Mahi<sup>1</sup>,  
Mohamed Taktak<sup>2</sup>, Mohamed Haddar<sup>2</sup>**

1 : Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine  
(LAUM) UMR CNRS 6613

Université du Maine, Av. O. Messiaen

72085 Le Mans cedex 9, France

e-mail : [hajer.daoud.etu@univ-lemans.fr](mailto:hajer.daoud.etu@univ-lemans.fr)

[jean-luc.rebiere@univ-lemans.fr](mailto:jean-luc.rebiere@univ-lemans.fr)

2 : Laboratoire de Mécanique, Modélisation et Production

(LA2MP), Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS)

Université de Sfax, Route de Soukra 3038

Sfax, Tunisie

### **Résumé**

L'utilisation des matériaux composites bio-sourcés ont connus un fort développement ces dernières années. En les comparant aux matériaux composites synthétiques conventionnels, ces nouveaux matériaux naturels présentent de nombreux avantages, parmi lesquels leur biodégradabilité, leur faible densité et leur module de traction et de flexion relativement élevé. Le but de cette étude est d'analyser les propriétés d'amortissement des composites en fibres de lin. Des essais vibratoires ont été réalisés durant les quels les fréquences naturelles et les amortissements modaux ont été évalués. Une autre partie de l'étude consiste à évaluer l'effet de l'insertion d'une couche viscoélastique (en caoutchouc naturel) sur le comportement dynamique de ces bio-composites. Les résultats montrent que l'insertion de cette couche a une influence significative sur le comportement en vibration, la rigidité en flexion et les facteurs d'amortissement du composite.

### **Abstract**

The use of bio-sourced composite materials has grown strongly in recent years. By comparing them with conventional synthetic composite materials, these novel natural materials have many advantages, including their biodegradability, low density and relatively high tensile and flexural modulus. The aim of this study is to analyze the damping properties of flax fiber composites. Vibration tests were carried out during which the natural frequencies and were evaluated. Another part of the study consists in evaluating the effect of an interleaved viscoelastic layer (natural rubber) on the dynamic behavior of these bio-composites. The results show that this layer has a significant influence on the vibration behavior, the flexural rigidity and the damping factors of the composite

**Mots Clés :** Vibrations, composites bio-sourcés, couche viscoélastique.

**Keywords :** Vibrations test, bio-based composites, viscoelastic layer.

## **1. Introduction**

Les matériaux à fibres naturelles sont de plus en plus utilisés ces dernières années dans les applications pour la conception de composites. En effet, ces matériaux sont écologiques, issus de ressources renouvelables et considérés comme neutres vis-à-vis des émissions de CO<sub>2</sub>. Ainsi, en raison de leurs bonnes propriétés spécifiques, ces fibres naturelles peuvent constituer une alternative aux fibres synthétiques comme les fibres de verre [1] par exemple. De plus, les problèmes de vibration et d'amortissement sont devenus un facteur essentiel dans la phase de conception :

Prabhakaran et al. [2] et Duc et al. [3] ont évalué les propriétés acoustiques et vibratoires des composites en fibres de lin. Ils ont démontré que le comportement vibratoire des composites en fibres de lin est plus performant que celui des composites constitué de fibres synthétiques. Actuellement, de nombreuses industries se sont orientées vers des techniques passives pour augmenter les facteurs d'amortissement sans ajouter de masse. Dans ce contexte Khalfi et Ross [4] ont évalué l'effet d'une couche viscoélastique sur la réponse transitoire d'une plaque. Sefrani Y. [5] a étudié l'effet d'une couche viscoélastique sur le comportement d'amortissement des composites synthétiques. Dans l'étude proposée, des expériences vibratoires ont été réalisées en utilisant la même procédure utilisée par Daoud et al. [6, 7]. Au cours d'une série d'essais de vibration par résonance, les fréquences naturelles et les amortissements modaux ont été évalués. Dans ce travail, des analyses expérimentales ont été effectuées pour étudier les propriétés dynamiques des composites avec fibres de lin afin de déterminer les réponses en fréquence et les propriétés d'amortissement de la structure. Ensuite, l'influence de l'orientation des fibres et l'effet de l'insertion d'une couche viscoélastique en Caoutchouc Naturel (NR) sur son comportement dynamique ont été évalués.

## 2. Matériaux et dispositif expérimental

Les matériaux composites stratifiés étudiés sont constitués de fibres longues en lin distribuées par la société LINEO et d'une résine bio époxy commercialisée par la société Sicomin. Les composites stratifiés croisés ont été fabriqués manuellement à température ambiante (20°C), mis sous pression en utilisant un procédé de moulage sous vide (méthode du sac) pour obtenir des plaques avec la séquence d'empilement  $[0_2/90_2]_s$ . Les éprouvettes d'essais ont été réalisées à l'aide d'un disque diamanté. Les dimensions sont Longueur  $L = 250\text{mm}$ , largeur  $l = 25\text{ mm}$  et l'épaisseur  $e = 3\text{mm}$ . Le stratifié croisé  $[0_2/90_2]_s$  a été découpé suivant les différentes orientations :  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$  et  $90^\circ$ , et seront notées  $C_r 0$ ,  $C_r 15$ ,  $C_r 30$ ,  $C_r 45$ ,  $C_r 60$ ,  $C_r 75$  et  $C_r 90$ . L'analyse modale expérimentale des vibrations avec l'excitation par impact présente l'avantage d'être assez simple à mettre en œuvre. La figure 1 montre le dispositif expérimental utilisé pour étudier les vibrations des poutres en configuration encastree/libre. La poutre est excitée en un point à l'aide d'un marteau d'impact et la réponse est détectée en un autre point de la structure à l'aide d'un vibromètre laser. Les signaux enregistrés sont numérisés et traités par un analyseur de signaux dynamiques. Cet analyseur est constitué d'une carte d'acquisition et de traitement, associée à un logiciel de contrôle et de traitement des signaux. Des analyses de réponse en fréquence ont été effectuées pour obtenir les fréquences naturelles. Les facteurs d'amortissement ont ensuite été calculés par la Méthode de la bande passante (HPB) utilisée par Daoud et al. [6, 7] et Hammami et al. [8].



Fig. 1. Dispositif expérimental.

En utilisant cette méthode, le facteur de perte  $\eta_n$  est évalué avec l'équation (Eq. 1). Les résultats ont été obtenus pour les quatre premiers modes de flexion et trois les longueurs suivantes (L= 150 mm, 200 mm, et 250 mm) de chaque échantillon. Les essais ont été réalisés sur au moins trois éprouvettes.

$$\eta_i = \frac{\Delta f_i}{f_i} = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \quad (\text{Eq. 1})$$

### 3. Comportement dynamique du bio-composite

Le résultat des quatre premières fréquences obtenues est présenté sur la figure 2. Les fréquences diminuent lorsque l'orientation des fibres augmente jusqu'à la valeur de 60°. Ensuite, les fréquences des échantillons Cr 75° et Cr 90° augmentent légèrement. Cette différence montre que les fréquences sont proportionnelles à la rigidité des matériaux composites.

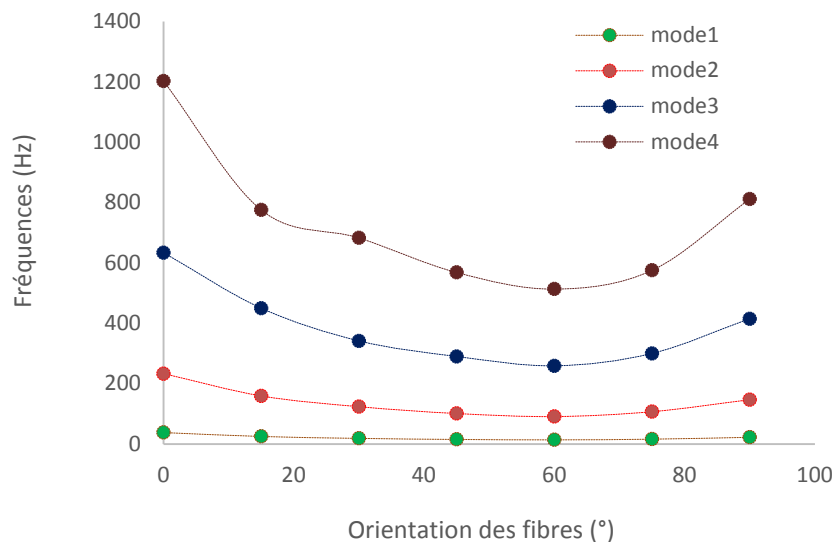
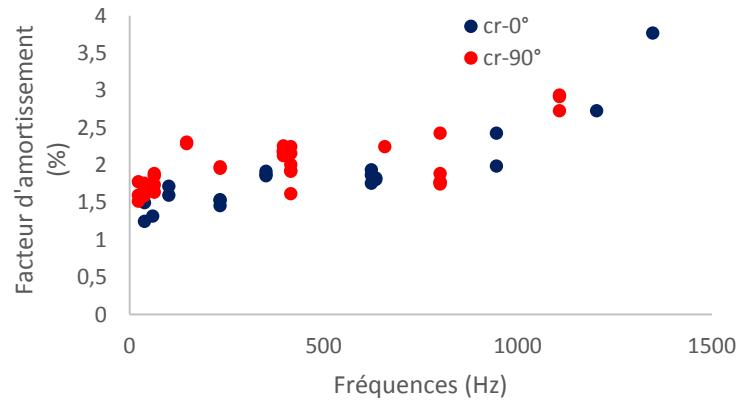
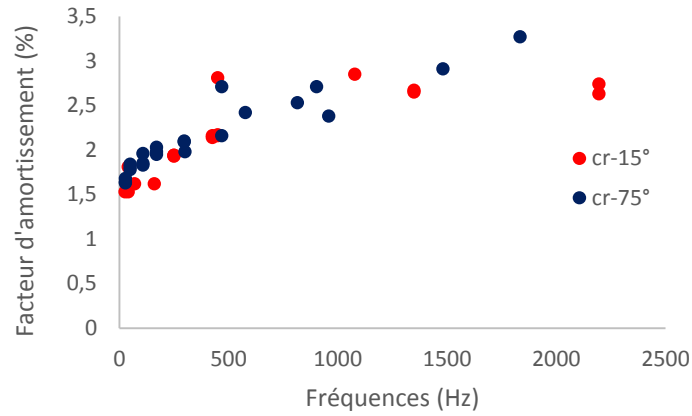


Fig. 2. Effet de l'orientation des fibres sur les fréquences naturelles.

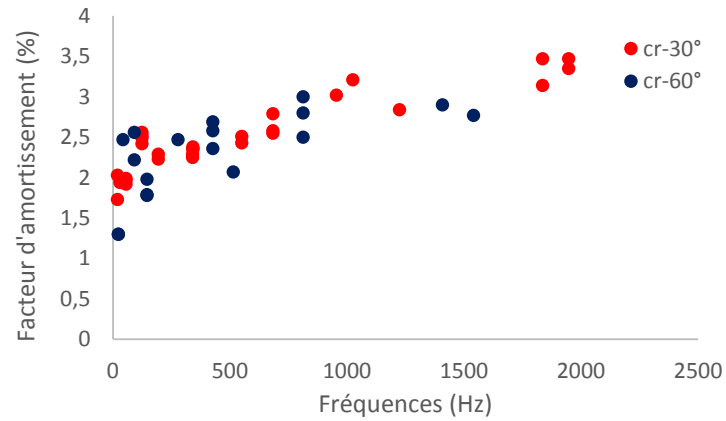
Sur la figure 3 sont présentés les résultats des facteurs d'amortissement en fonction des fréquences pour les différentes orientations des fibres. Les résultats montrent que les facteurs d'amortissement des échantillons (Cr0° -Cr90°), (Cr15° -Cr75°) et (Cr30° -Cr60°) présentent presque les mêmes valeurs. Ceci peut montrer que l'ordre des différentes couches n'a pas d'influence sur le comportement vibratoire des composites. Les facteurs d'amortissement augmentent légèrement lorsque la fréquence augmente pour les différentes orientations des fibres. Sur la figure 3.a) sont superposés les amortissements obtenus à partir du stratifié croisé  $[0_2/90_2]_s$  découpé aux orientations 0° et 90° ce qui fait Cr 0 désigne une éprouvette ayant la configuration  $[0_2/90_2]_s$  et Cr 90° désigne une éprouvette ayant la configuration  $[90_2/0_2]_s$  donc on a le même raisonnement: un petit décalage au niveau des fréquences et des amortissements qui se superposent sur la même courbe.



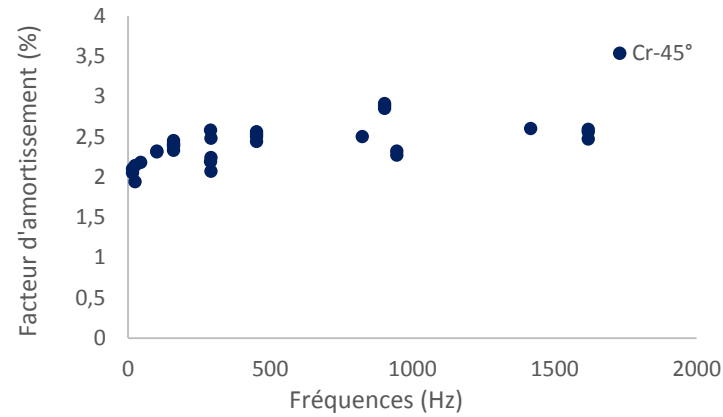
a) 0°-90°



b) 15°-75°



c) 30°-60°



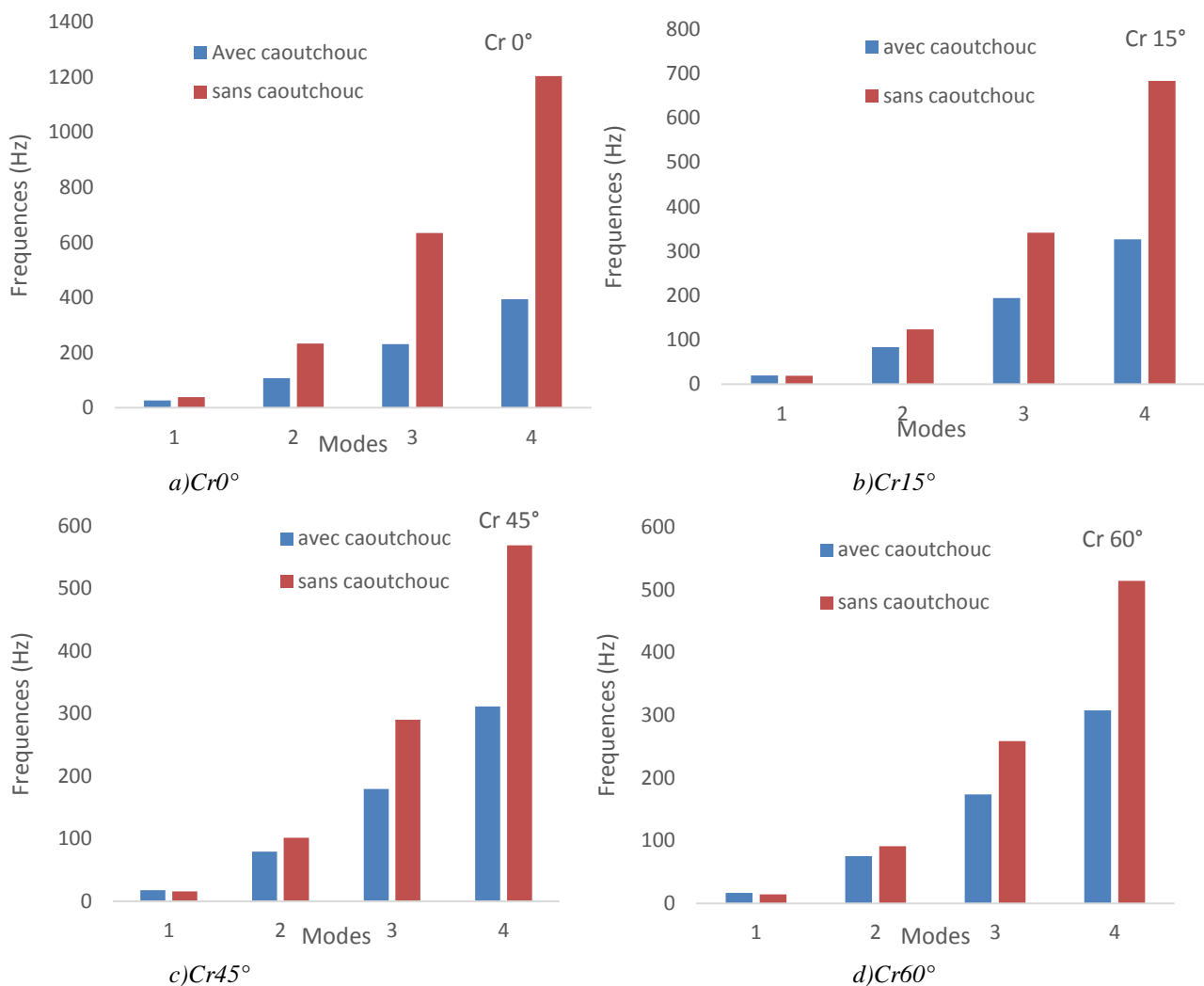
d) 45°

Fig. 3. Facteur d'amortissement en fonction des fréquences pour les orientations de fibres: a) 0°-90°, b) 15°-75° c) 30°-60°, d) 45°.

De plus, les composites avec des fibres de lin présentent un comportement dynamique excellent par rapport à celui obtenu par des composites avec des fibres synthétiques. Ces valeurs élevées des propriétés d'amortissement peuvent être attribuées au frottement interne élevé induit par la morphologie des fibres de lin et plus précisément par le frottement entre la cellulose et l'hémicellulose.

#### 4. Effet de la couche viscoélastique

Pour améliorer les propriétés de l'amortissement du bio-composite, une couche viscoélastique en caoutchouc naturel (NR) a été introduite dans le plan médian du stratifié. L'effet de l'insertion de cette couche viscoélastique sur les fréquences naturelles pour les quatre premiers modes et pour les différentes orientations des fibres est présenté sur la figure 4.



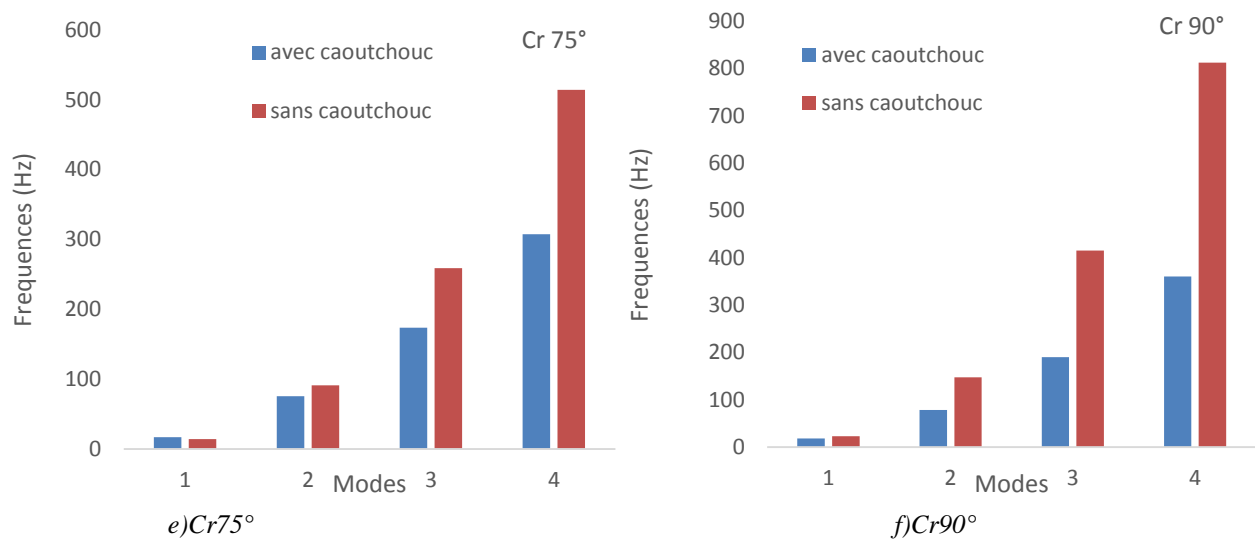


Fig. 4. Fréquences naturelles en fonction de l'orientation pour le composite avec et sans couche viscoélastique pour les 4 premiers modes. a)  $Cr 0^\circ$ , b)  $Cr 15^\circ$ , c)  $Cr 45^\circ$ , d)  $Cr 60^\circ$ , e)  $Cr 75^\circ$ , f)  $Cr 90^\circ$ .

L'insertion de la couche viscoélastique n'a pas beaucoup d'influence pour les deux premiers modes, mais cette différence devient plus importante à partir du troisième mode. Les valeurs des fréquences présentent une forte diminution qui peut être expliquée par l'augmentation de la masse surfacique du matériau compensée par l'augmentation de son épaisseur et de sa rigidité en flexion. Une comparaison a été réalisée sur les composites avec et sans couche viscoélastique pour étudier l'effet de ce caoutchouc naturel sur les facteurs d'amortissement pour les différentes orientations des fibres. La figure 5 montre une augmentation significative des facteurs d'amortissement par rapport aux composites sans couche viscoélastique.

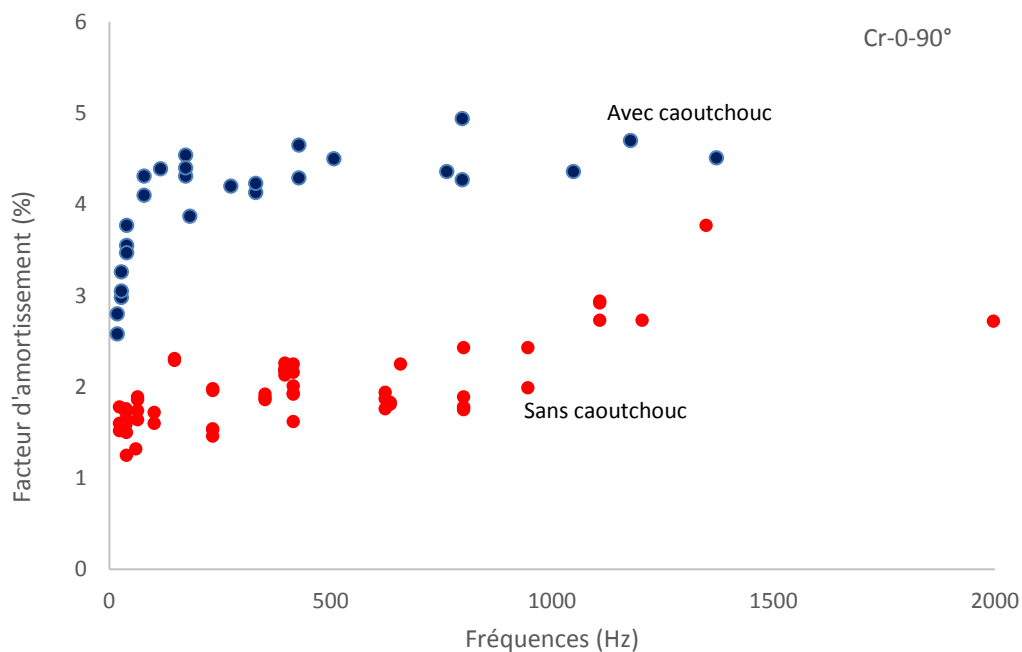


Fig. 5. Facteur d'amortissement en fonction de la fréquence pour un composite avec et sans couche viscoélastique ( $Cr 0^\circ-90^\circ$ )

## 5. Conclusion

Les propriétés dynamiques des composites en fibres de lin ont été étudiées, l'insertion de la couche viscoélastique en caoutchouc naturel améliore le comportement vibratoire de ce bio-composite. Les résultats montrent que le matériau étudié présente des valeurs élevées des facteurs d'amortissement qui augmentent lorsque les fréquences augmentent pour tous les modes. Il a été également démontré que la couche en caoutchouc naturel améliore significativement les coefficients d'amortissement des composites en fibres de lin.

## Références

- [1] P. Wambua, J. Ivens, I. Verpoest, Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?, *Compos Sci Technol*, 63 (2003) 1259–1264.
- [2] S. Prabhakaran, V. Krishnaraj, M. Senthilkumar, R. Zitoune, Sound and Vibration Damping Properties of Flax Fiber Reinforced, *Procedia Engineering* 97, (2014), 573-581.
- [3] F. Duc , P.E. Bourban , C.J.G. Plummer, J.-A.E Månson, Damping of thermoset and thermoplastic flax fibre composites, *Composites Part A* 64, (2014) 115–123.
- [4] B. Khalfi, A. Ross A., Transient response of a plate with partial constrained viscoelastic layer damping, *International Journal of Mechanical Sciences* 68, (2013) 304–312.
- [5] Y. Sefrani, Analyse de l'amortissement de matériaux composites à fibres unidirectionnelles, Thèse de doctorat, Université de Maine, Le Mans, France, (2002).
- [6] H. Daoud, J.-L. Rebiere, A. Makni, M. Taktak, A. El Mahi, M. Haddar Numerical and Experimental Characterization of the Dynamic Properties of Flax Fiber Reinforced Composites. *IJAM* S1758-8251, (2016) DOI: 10.1142/S175882511650068X
- [7] H. Daoud, A. El Mahi, J.-L. Rebiere, M. Taktak, M. Haddar. Characterization of the vibration behavior of flax fibre reinforced composites with an interleaved natural viscoelastic layer. *Applied Acoustics*, (2016) DOI: 10.1016/j.apacoust.2016.12.005
- [8] M. Hammami, A. El Mahi A., C. Karra, M. Haddar, *International Journal of applied mechanics*, (2015), DOI: 75882511550054.