

Comportement vibratoire des poutres composites bio-sourcés

A. MONTI¹, A. EL MAHI¹, Z. JENDLI² & L. GUILLAUMAT³

1. LAUM UMR CNRS 6613 Université du Maine arthur.monti.etu@univ-lemans.fr
1. LAUM UMR CNRS 6613 Université du Maine abderrahim.elmahi@univ-lemans.fr
2. ESTACA Laval zouhaier.jendli@estaca.fr
3. ENSAM Angers laurent.guillaumat@ensam.eu

Résumé

Cette étude présente une analyse expérimentale du comportement vibratoire d'un sandwich bio-sourcé et de ses constituants. Tout d'abord, une analyse de la littérature est effectuée, afin de cerner l'intérêt d'une telle étude compte tenu de l'état de l'art actuel. Par la suite, le travail traite de l'analyse expérimentale du comportement vibratoire des constituants du sandwich. Dans un premier temps, les composites Lin/Elium sont étudiés. Une attention particulière est portée à l'analyse de l'évolution des propriétés mécaniques et des amortissements modaux de différentes poutres composites en fonction de la fréquence. L'influence de la séquence d'empilement et de l'orientation des fibres est discutée. Dans un second temps, le comportement vibratoire de l'âme en balsa dans ses principales directions de sollicitation est étudié suivant la même approche. Par ailleurs, le comportement vibratoire et l'amortissement des poutres sandwichs est analysé. L'influence de l'âme est mise en évidence en étudiant diverses configurations d'épaisseurs du balsa.

Mots clefs : Composite, Lin, Vibration, amortissement

1. Introduction

Depuis plusieurs décennies, les matériaux composites sont de plus en plus utilisés par les industriels du transport pour permettre l'allègement des structures avec une perte minimale de propriétés mécaniques. De plus l'augmentation de la capacité intrinsèque de ces matériaux à dissiper l'énergie vibratoire s'avère particulièrement intéressante. A ce niveau, les composites bio-sourcés semblent être de bons candidats. De nombreuses études ont en effet mis en évidence les bonnes propriétés vibratoires de ces matériaux, et notamment leur capacité à dissiper l'énergie de vibration. En comparant des plaques Verre/Epoxy et Lin/Epoxy de même épaisseur, Prabhakaran et al. [1] ont par exemple montré que le composite renforcé de fibres de lin permet d'améliorer le coefficient d'amortissement de plus de 50% tout en permettant un gain de masse de 33%. Duc et al. [2] ont aussi testé différents composites à fibre de verre, carbone et lin, associés à différentes matrices thermodurcissables et thermoplastiques. Les auteurs ont,

entre autre, montré que les composites à fibres de lin présentent un facteur de perte plus élevé que les composites carbone ou verre, malgré des propriétés mécaniques plus faibles. D'autre part, les résultats obtenus montrent que l'utilisation de matrices thermoplastiques permet d'accroître encore les propriétés d'amortissement des composites. En effet, les polymères thermoplastiques présentent un comportement viscoélastique beaucoup plus marqué que les thermodurcissables. Les mêmes auteurs ont mis en évidence différents paramètres influençant la capacité d'amortissement des vibrations des composites renforcés de fibres végétales [3], notamment la qualité de l'imprégnation des fibres, le taux de porosité, la qualité de l'interface fibre/matrice. Ils ont aussi démontré que la quantité de fils et la torsion des fibres composant ces fils, jouaient un rôle important du fait des frottements engendrés. A une échelle inférieure, la microstructure même des fibres végétales peut, très certainement, expliquer les propriétés d'amortissement vibratoires supérieures. Toutefois, les études à l'échelle des fibres qui permettraient de comprendre en détail les mécanismes dissipatifs en jeu sont quasiment inexistantes. D'autre part, la structure multicouche des fibres végétales et la présence de microfibrilles de cellulose orientées peuvent permettre la dissipation d'une certaine quantité d'énergie par frottement. Ainsi, les composites renforcés de fibres végétales permettent d'obtenir de bonnes propriétés d'amortissement vibratoire. De ce fait, de nombreuses études ont été réalisées sur des composites hybrides [1, 4], mêlant par exemple fibres de carbone et fibres de lin, pour atteindre un meilleur compromis entre les performances mécaniques et les propriétés vibratoires. En effet, ces études concluent que les composites hybrides possèdent des propriétés d'amortissement intermédiaires entre les mêmes composites à fibres totalement synthétiques et totalement végétales. Dans ce contexte, on peut s'attendre à ce que les structures sandwichs Lin/Elium/Balsa présentent de bonnes propriétés d'amortissement vibratoire. L'utilisation des fibres de lin associées à une matrice thermoplastique laisse présager des peaux composites particulièrement amortissantes.

Cette étude propose de situer les performances de cet éco-composite par rapport à des solutions existantes, et de comprendre l'influence des différents constituants sur la réponse globale de la structure.

2. Matériaux et procédure expérimentale

Les fibres de lin ont été choisies comme renfort des peaux du sandwich. Un tissu purement unidirectionnel a été utilisé afin de réaliser des composites stratifiés. Par ailleurs, une résine thermoplastique innovante a été utilisée comme matrice. Si cette dernière n'est pas bio-sourcée, elle présente néanmoins la particularité d'être suffisamment fluide à l'état initial pour pouvoir être compatible avec des procédés d'infusion ou d'injection, habituellement réservés aux thermodurcissables. Enfin, des panneaux de balsa en configuration "bois debout" ont été utilisés comme âme de la structure sandwich. Enfin, le processus de mise en œuvre par infusion de résine liquide a été choisi et adapté pour permettre la fabrication de plaques composites et sandwiches en quantité et en cadence suffisantes pour permettre l'approvisionnement en matériau tout au long de cette étude.

L'analyse modale de la poutre composite est effectuée en mesurant la réponse de l'extrémité libre de la poutre encastree/libre soumise à une excitation ponctuelle de type impact, à l'aide d'un marteau de choc. La réponse est effectuée localement, au moyen d'un vibromètre laser monopoint. Par la suite, les propriétés modales de la poutre sont mesurées au moyen de la réponse en fréquence (FRF) obtenue, qui présente la réponse mesurée (déplacement, vitesse ou encore accélération) en fonction de la fréquence. Il existe différentes méthodes pour mesurer les propriétés modales à partir de la FRF obtenue. La plus couramment est la méthode de la bande passante à -3 dB, illustrée sur la figure 1.

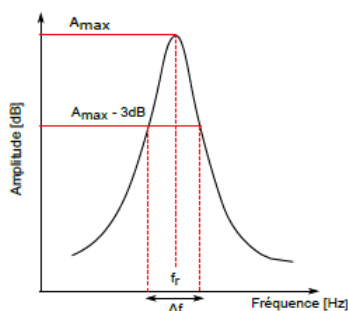


Fig. 1 – Illustration de la méthode de bande passante à -3dB

Elle est employée pour sa simplicité d'utilisation. Elle consiste à analyser chaque pic de résonance de la FRF dans une représentation amplitude/fréquence. La fréquence de résonance f_{ir} du mode i correspond à la fréquence pour laquelle l'amplitude de la réponse est maximale. Par la suite, le coefficient d'amortissement

modal ξ_i (ou encore le facteur de perte η_i) associé à ce mode i peut être calculé par :

$$\eta_i = 2\xi_i = \frac{\Delta f}{f_{ir}} \quad (1)$$

3. Comportement vibratoire des constituants et du sandwich

Les résultats obtenus pour les différentes éprouvettes de résine pure sont présentés sur la figure 2. Les évolutions du facteur de perte ainsi que du module d'Young en fonction de la fréquence sont présentées. On constate que l'amortissement, initialement élevé (6%) décroît ensuite rapidement pour atteindre une valeur quasi asymptotique d'environ 3% pour les fréquences élevées. D'autre part, le module d'Young augmente d'un peu plus de 12% sur l'ensemble de la plage fréquentielle étudiée. En très basse fréquence, la valeur mesurée est de 3.3 GPa, ce qui correspond au module d'Young mesuré en traction quasi-statique.

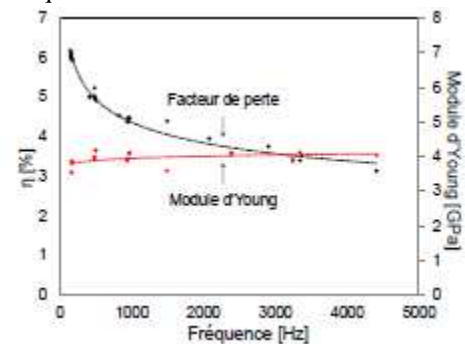


Fig. 2. Propriétés dynamique de la résine Elium

La figure 3 présente les propriétés dynamiques des poutres composites à fibres unidirectionnelles. On remarque que le comportement viscoélastique des éprouvettes UD-45 et UD-90 est très proche de celui de la résine pure. En effet, les fibres orientées à 90° et 45° ne sont pas (ou peu) sollicitées du fait des déformations en flexion. Le comportement viscoélastique de la matrice est donc prépondérant. Par conséquent, on retrouve pour les composites UD-90 et UD-45 un facteur de perte proche de 6% pour les basses fréquences. Celui-ci diminue ensuite rapidement avec la fréquence jusqu'à se stabiliser autour de 3,5%. Les modules d'Young de ces deux types de composites augmentent légèrement avec la fréquence. De plus, leurs valeurs à très basse fréquence correspondent bien à celles mesurées lors des essais quasi-statiques. Enfin, les composites UD-0 montrent un comportement moins dépendant de la fréquence. Le facteur de perte, initialement proche de 2%, subit une légère diminution avec l'augmentation de la fréquence, mais se stabilise rapidement autour d'une valeur de 1,8%. Le module d'Young mesuré reste très proche de sa valeur statique d'environ 24 GPa. Du fait de l'orientation des fibres, la matrice est en effet beaucoup moins sollicitée dans cette configuration.

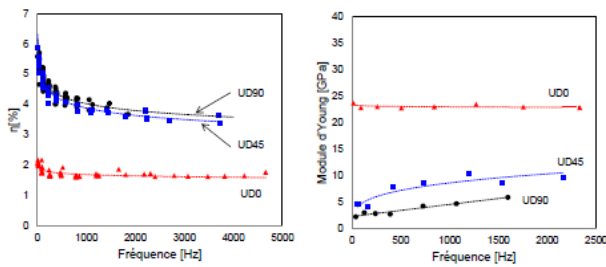


Fig. 3 – Propriétés dynamiques des composites unidirectionnels

Les poutres en balsa ont été testées en vibration en flexion avec le même protocole que celui utilisé pour les peaux composites. Les résultats obtenus sont présentés en figure 4. On remarque un comportement relativement indépendant de la fréquence. Le facteur de perte est d'environ 2%, et le module d'Young se situe entre 60 MPa et 80 MPa. Toutefois, on constate une variabilité assez importante (de l'ordre de 20%) des mesures. Cette dispersion des résultats peut s'expliquer en partie par les variabilités locales de propriétés mécaniques dans les poutres en balsa.

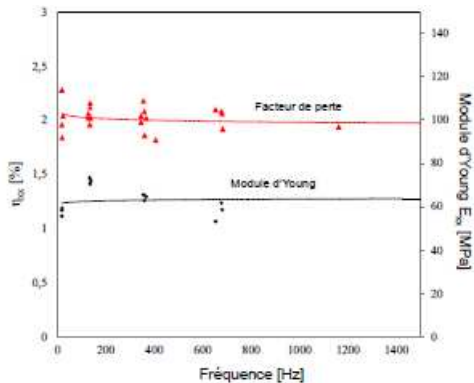


Fig. 4. Propriétés dynamiques du balsa en flexion

Enfin, le comportement vibratoire en flexion des poutres sandwiches Lin/Elium/Balsa a été étudié. Différentes épaisseurs de l'âme ont été utilisées afin d'étudier leurs influences sur la réponse globale de la structure, notamment son amortissement. Quatre épaisseurs d'âme e_a de 6.4 mm, 12.7 mm, 15.9 mm et 19.1 mm ont été utilisées. Les résultats sont présentés en figure 5. Pour plus de lisibilité, seules les valeurs moyennes des résultats pour chaque mode ont été présentées. Des barres d'erreur verticales et horizontales indiquent les écarts types obtenus en fréquence et en amortissement. Cette variabilité peut s'expliquer d'une part par les incertitudes de mesure, mais aussi par les différences de propriétés mécaniques des matériaux et notamment de l'âme en balsa. Toutefois, on constate que plus l'épaisseur de l'âme est importante, plus l'amortissement global des sandwichs est élevé. D'autre part, les poutres les plus épaisses présentent un comportement viscoélastique beaucoup plus marqué. Ce comportement peut s'expliquer par une sollicitation plus importante de l'âme en cisaillement du fait de la diminution de l'élanement des poutres. Les variations locales des propriétés mécaniques du balsa peuvent ainsi expliquer une partie de la dispersion observée à l'échelle des poutres sandwichs, plus importante pour les valeurs de fréquence élevées.

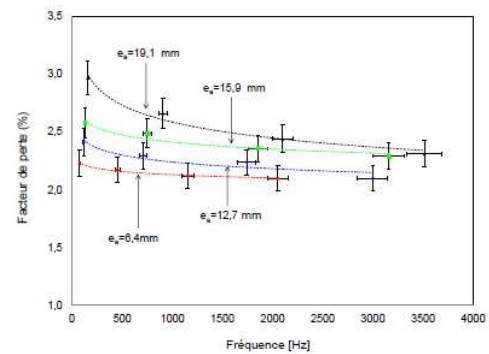


Fig. 5. – Influence de l'épaisseur de l'âme sur l'amortissement des poutres sandwichs

4. Conclusion

Cette étude présente l'analyse du comportement vibratoire de la structure sandwich et de ses constituants. Dans un premier temps, des essais expérimentaux d'analyse modale ont été réalisés sur la résine, les peaux composites, sur l'âme en balsa ainsi que sur la structure complète afin de déterminer leurs propriétés dynamiques (fréquences et amortissements modaux). Les propriétés mécaniques dépendantes de la fréquence ont été mises en évidence par l'analyse de différentes séquences d'empilement. De plus, différentes configurations de poutres sandwichs ont été testées afin de mettre en évidence l'influence de l'épaisseur de l'âme en balsa sur les fréquences de résonance et l'amortissement global.

Références

- [1] S. Prabhakaran, V. Krishnaraj, M. Senthil, and R. Zitoun. *Sound and Vibration Damping Properties of Flax Fiber Reinforced Composites*. *Procedia Engineering*, 97 :573–581, 2014.
- [2] F. Duc, P.E. Bourban, C.J.G. Plummer, and J.E. Mnsion. *Damping of thermoset and thermoplastic flax fibre composites*. *Composite Part A*, 64 :115–123, 2014.
- [3] F. Duc, P.E. Bourban, and J.E. Manson. *The role of twist and crimp on the vibration behaviour of flax fibre composites*. *Composite Science and Technology*, 102 :94–99, 2014
- [4] M.J. Le Guen, R.H. Newman, A. Fernyhough, G. W. Emms, and M.P. Staiger. *The damping e modulus relationship in flax/carbon fibre hybrid composites*. *Composites Part B*, 89 :27–33, 2016