



**HAL**  
open science

## Modélisation du comportement viscoélastique de couches adhésives

Lucie Rouleau, Jean-François Deü, Antoine Legay

► **To cite this version:**

Lucie Rouleau, Jean-François Deü, Antoine Legay. Modélisation du comportement viscoélastique de couches adhésives. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. hal-01516464

**HAL Id: hal-01516464**

**<https://hal.science/hal-01516464>**

Submitted on 1 May 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.

Public Domain

# Modélisation du comportement viscoélastique de couches adhésives

L. Rouleau<sup>1</sup>, J.F. Deü<sup>1</sup>, A. Legay<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Mécanique des Structures et des Systèmes Couplés, Conservatoire national des arts et métiers, 2 rue Conté, 75003 Paris, France

**Résumé** — Les traitements actifs et passifs, très largement utilisés dans l'industrie pour le contrôle du bruit et des vibrations, sont très souvent appliqués à la structure vibrante par collage. Or des essais ont montré que le comportement viscoélastique de la couche adhésive pouvait modifier les propriétés amortissantes de ces traitements. Le but de ce travail est de proposer une modélisation efficace de la couche adhésive, à l'aide d'un modèle viscoélastique à dérivées fractionnaires et d'éléments finis d'interface, permettant ainsi d'obtenir un modèle prédictif de la structure assemblée.

**Mots clés** — viscoélasticité, modèle fractionnaire, éléments finis d'interface, collage.

## 1 Introduction

Le contrôle du bruit et des vibrations est un enjeu majeur dans plusieurs domaines industriels et de considérables efforts de recherche ont été mis en œuvre pour développer des solutions efficaces. Des traitements amortissants de types passif (structures sandwich avec cœur viscoélastique) ou actif (patches piézoélectriques) peuvent ainsi être utilisés afin d'améliorer les performances acoustiques et vibratoires d'une structure vibrante. Très souvent, ces traitements sont appliqués à la structure par des procédés de collage (application d'un ruban adhésif double face, collage epoxy). Or les adhésifs synthétiques utilisés sont des matériaux polymères ; ils possèdent donc un comportement viscoélastique, et leurs propriétés mécaniques dépendent de plusieurs paramètres tels que la température, la précontrainte et la fréquence d'excitation. La couche adhésive est alors susceptible de modifier le comportement dynamique de la structure assemblée et l'efficacité des traitements amortissants appliqués. Les Figures 1 et 2 comparent les réponses fréquentielles expérimentales de deux structures assemblées par une colle epoxy ou par un ruban adhésif double face à la réponse fréquentielle calculée à partir d'un modèle éléments finis supposant un assemblage parfait. Le comportement viscoélastique du ruban adhésif utilisé pour l'assemblage est clairement mis en évidence par les pics très amortis observés sur la Figure 1, tandis que la colle epoxy ne semble modifier que très légèrement le comportement dynamique de la structure. Sur la Figure 2, on remarque que la structure sandwich assemblée par une colle epoxy conduit à un meilleur amortissement de la réponse que celle assemblée à l'aide du ruban adhésif.

Afin de disposer d'un modèle numérique prédictif, la couche adhésive doit être modélisée [6]. En raison du comportement viscoélastique de cette couche, celle-ci ne peut être modélisée par des éléments plaques ou coques qui ne permettent pas de représenter correctement le cisaillement dans l'épaisseur. De plus, une modélisation tridimensionnelle de l'adhésif est délicate puisque qu'elle nécessite un maillage très fin pour s'affranchir des problèmes numériques liés aux rapports de forme des éléments.

Ce travail a pour but de modéliser efficacement la couche adhésive, en décrivant la dépendance fréquentielle des propriétés mécaniques par un modèle viscoélastique à dérivées fractionnaires, et représentant le joint adhésif par des éléments finis d'interface.

### 1.1 Modèle viscoélastique à dérivées fractionnaire

Dans la littérature, il existe plusieurs modèles viscoélastiques permettant de décrire la dépendance fréquentielle des propriétés mécaniques d'un matériau viscoélastique [7]. Parmi ces modèles, le modèle fractionnaire de Zener présente l'avantage de pouvoir décrire correctement le comportement viscoélas-

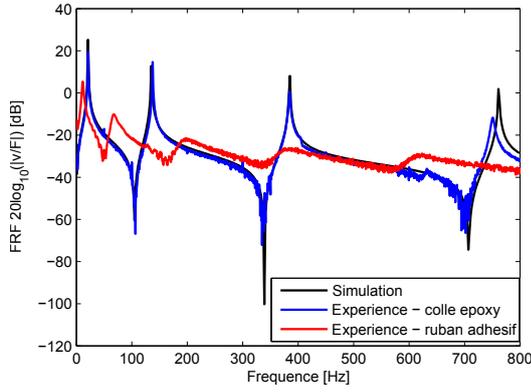


FIGURE 1 – Réponses fréquentielles expérimentales de deux poutres en acier de 1mm d'épaisseur assemblées par une colle epoxy (en bleu) ou un ruban adhésif double face (en rouge) comparées à la réponse fréquentielle obtenue par simulation (en noir) en supposant un assemblage parfait.

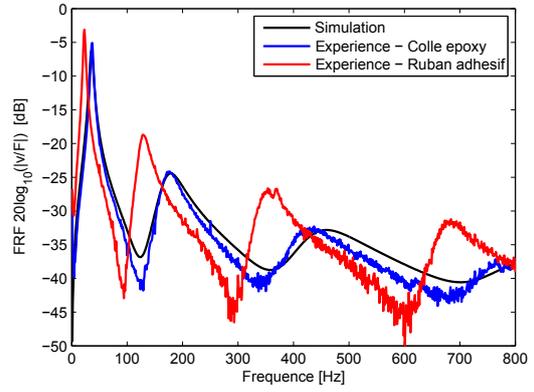


FIGURE 2 – Réponses fréquentielles expérimentales d'une poutre sandwich avec cœur viscoélastique assemblées par une colle epoxy (en bleu) ou un ruban adhésif double face (en rouge) comparées à la réponse fréquentielle obtenue par simulation (en noir) en supposant un assemblage parfait.

tique avec seulement quatre paramètres [1] :

$$G^*(\omega) = \frac{G_0 + G_\infty(i\omega\tau)^\alpha}{1 + (i\omega\tau)^\alpha} \quad (1)$$

où  $G_0$  et  $G_\infty$  sont les modules relaxés et non relaxés respectivement,  $\tau$  est le temps de relaxation et  $\alpha$  l'ordre de la dérivation. Ces paramètres peuvent être identifiés à partir d'essais au viscoanalyseur [2, 3], ou à partir d'essais de vibration en appliquant une procédure d'identification inverse [4].

## 2 Éléments finis d'interface

La couche adhésive est modélisée par des éléments finis d'épaisseur nulle initialement développés pour la modélisation de fines couches viscoélastiques contraintes [5]. Cet élément d'interface est représenté physiquement par une surface moyenne et une épaisseur fictive  $h$  supposée constante et mesurée selon la normale à la surface moyenne, comme indiqué sur la Figure 3. La matrice jacobienne de la transformation est ensuite calculée à partir des coordonnées des nœuds fictifs (en gris sur la Figure 3)  $[\mathbf{X}^f, \mathbf{Y}^f, \mathbf{Z}^f]^T$ . Celles-ci sont évaluées à partir des normales  $\mathbf{n}$  en chaque point de la surface moyenne, de coordonnées  $[\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}]^T$  :

$$[\mathbf{X}^f, \mathbf{Y}^f, \mathbf{Z}^f]^T = [\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}]^T \pm \frac{h}{2} \mathbf{n} \quad (2)$$

Les matrices de masse et de raideur s'écrivent alors :

$$\begin{aligned} \mathbb{K}_v &= G^*(\omega) \int_{V_e} \mathbb{B}^T \mathbb{C}^0 \mathbb{B} \det(\mathbb{J}) dV \\ \mathbb{M}_v &= \int_{V_e} \mathbb{N}^T \rho \mathbb{N} \det(\mathbb{J}) dV \end{aligned} \quad (3)$$

où  $\mathbb{B}$  est la matrice du gradient discrétisé,  $\mathbb{C}^0$  est la matrice d'élasticité calculée pour un module de cisaillement unitaire,  $\mathbb{N}$  est la matrice des fonctions de forme et  $\mathbb{J}$  la matrice jacobienne de la transformation.  $\rho$  est la masse volumique de l'adhésif et  $G^*(\omega)$  le module de cisaillement décrit par le modèle fractionnaire de Zener (Equation 1).

Ces éléments d'interface conduisent à des résultats d'autant plus précis que la couche viscoélastique est fine.

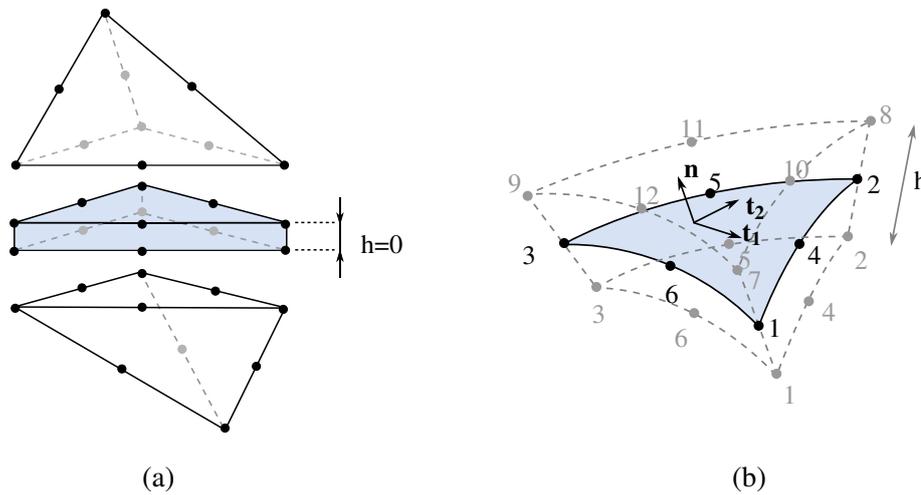


FIGURE 3 – (a) Élément fini d’interface connecté aux faces des deux éléments solides adjacents. (b) Surface moyenne (en bleu) et volume prismatique fictif représenté par l’élément d’interface (pointillés gris).

### 3 Conclusion

La modélisation de la couche adhésive servant à l’assemblage de structures amorties par une couche viscoélastique ou des patchs piézoélectriques peut s’avérer nécessaire pour prendre en compte l’influence de certains paramètres sur le comportement mécanique du joint adhésif (et notamment de la fréquence d’excitation). Dans ce travail, la couche adhésive est représentée par des éléments d’interface et son comportement est décrit par un modèle fractionnaire de Zener. Afin d’être validée, la stratégie de modélisation proposée sera appliquée à la modélisation de deux poutres en acier assemblées par un ruban adhésif double face. Pour cela, les paramètres du modèle fractionnaire de Zener seront identifiés par méthode inverse à partir d’essais de vibrations. Le ratio entre l’épaisseur de la couche adhésive et l’épaisseur totale de la structure assemblée considérée est de l’ordre de  $1/20$ , ce qui est suffisamment petit pour obtenir une bonne approximation du comportement dynamique de la structure assemblée [5]. Les résultats obtenus à partir du modèle éléments finis proposé seront ensuite comparés aux réponses fréquentielles mesurées (Figure 1).

### 4 Remerciements

Une partie de ce travail a été réalisée durant la thèse de doctorat de L. Rouleau, financée par DCNS et la DGA/MRIS (Mission pour la Recherche et l’Innovation Scientifique).

### Références

- [1] R.L. Bagley, P.J. Torvik, *A theoretical basis for the application of fractional calculus to viscoelasticity*, Journal of Rheology, 27, 201-210, 1983.
- [2] M. Martinez-Agirre, S. Illescas, M.J. Elejabarrieta, *Characterisation and modelling of prestrained viscoelastic films*, International Journal of Adhesion & Adhesives, 50, 183-190, 2014.
- [3] L. Rouleau, J.-F. Deü, A. Legay, F. Le Lay, *Application of Kramers-Kronig relations to time-temperature superposition for viscoelastic materials*, Mechanics of Materials, 65, 66-75, 2013.
- [4] L. Rouleau, B. Pluymers, W. Desmet, *Characterisation of viscoelastic layers in sandwich lightweight panels through inverse techniques*, Proceedings of Noise and Vibration - Emerging Techniques Conference, Dubrovnik, 13-15 avril 2015.
- [5] L. Rouleau, *Modélisation vibro-acoustique de structures sandwich munies de matériaux viscoélastiques*, Thèse de doctorat, Cnam Paris, 2013.
- [6] A. Sénéchal *Réduction de vibrations de structure complexe par shunts piézoélectriques : application aux turbomachines*, Thèse de doctorat, Cnam Paris, 2011.

- [7] C. Vasques, R. Moreira, J. Rodrigues *Viscoelastic damping technologies - Part I : modeling and finite element implementation*, Journal of Advanced Research in Mechanical Engineering, 1, 76-95, 2010.