

Identification par analyse modale haute résolution des propriétés d'élasticité et d'amortissement de matériaux de type "sandwich"

Marc Rébillat^{1,2}, Xavier Boutillon¹

¹ LMS, Ecole Polytechnique, France, rebillat@lms.polytechnique.fr

² LIMSI-CNRS, Université Paris Sud, France

Résumé — Une méthode simple pour la mesure des propriétés mécaniques de matériaux de type "sandwich" est proposée. Les paramètres d'élasticité et d'amortissement sont supposés suivre un modèle visco-élastique $E(1 + j\eta)$ et sont estimés dans un contexte de *plaque épaisse*. La méthode consiste dans un premier temps à obtenir les fréquences et amortissements modaux expérimentaux d'un panneau sandwich au moyen d'une analyse modale haute résolution. Leurs homologues numériques sont ensuite calculés selon une procédure de Rayleigh-Ritz et sous l'hypothèse de "faible amortissement". Une procédure d'optimisation estime ensuite les paramètres désirés.

Mots clés — analyse modale haute résolution, amortissement structurel, matériaux "sandwich".

Les matériaux "sandwich" ayant un cœur hétérogène (par exemple en nid d'abeille) sont préférés aux matériaux homogènes dans de nombreuses applications en vertu de leur légèreté et de leurs propriétés mécaniques modulables. Cependant, leurs propriétés mécaniques effectives sont généralement difficiles à prédire et des méthodes d'identification sont souvent nécessaires. Nous proposons ici une méthode associant mesures et simulations [1] pour l'estimation des paramètres d'élasticité et d'amortissement d'un tel matériau dans un contexte de plaque épaisse.

L'utilisation de la dynamique vibratoire pour estimer les paramètres mécaniques de matériaux homogènes est relativement répandue. Les tests dynamiques sont non-destructifs et présentent l'avantage de ne nécessiter qu'un seul échantillon du matériau à tester. Le problème de l'estimation des propriétés *d'élasticité et d'amortissement* de matériaux homogènes en utilisant des mesures ponctuelles a uniquement été abordé dans un contexte de plaques minces [2, 3, 4, 5]. Dans un contexte de plaques épaisses, seules des méthodes requérant des mesures de champs ont été proposées jusqu'ici [6, 7, 8].

Par ailleurs, pour des panneaux de matériaux hétérogènes de type "sandwich" (avec un cœur en nid d'abeille par exemple), seule l'estimation des paramètres élastiques (mais pas de ceux d'amortissement) a été proposée [9, 10]. L'obtention d'informations concernant l'amortissement structurel reste difficile. En effet, les matériaux hétérogènes posent des problèmes spécifiques lorsque des vibrations sont en jeu. Pour pouvoir considérer, à une fréquence f donnée, un nid d'abeille comme homogène dans son plan principal, la longueur d'onde correspondante λ doit contenir au moins 50 cellules [11]. Pour une taille de cellule caractéristique s_{cell} et pour une épaisseur h , cela implique que les dimensions du panneau doivent être telles que $l_{x,y} > \lambda > 50s_{\text{cell}}$. De plus les propriétés d'élasticité et d'amortissement hors du plan principal ne peuvent être estimées que pour des plaques suffisamment épaisses. Pour les vibrations de flexion, cela demande que des fréquences suffisamment hautes soient incluses dans les données traitées. Une condition nécessaire pour ceci est que $\lambda/h \leq 6$ [12].

En raison des dissipations structurelles inhérentes au matériau, les caractéristiques des modes d'ordre élevé sont difficiles à estimer en utilisant des méthodes basées sur la transformée de Fourier (TF), limitée à des recouvrement modaux $\mu \simeq 30\%$ dans la plupart de ses implémentations [13]. L'analyse modale haute résolution (AMHR), récemment développée par Ege *et al.* [14] constitue une alternative à la TF permettant l'estimation de caractéristiques modales pour des recouvrements modaux jusqu'à au moins 70%.

Le travail présenté ici représente donc une extension pour des matériau *hétérogènes* et dans un contexte de *plaques épaisses* du travail réalisé par Visscher *et al.* [3]. Des panneaux de matériau de type "sandwich" ayant un cœur en nid d'abeille sont choisis de dimensions suffisamment grandes pour pouvoir être considérés comme des plaques homogènes dans le domaine de fréquence étudié. L'AMHR est

ensuite utilisée pour accéder aux caractéristiques des modes d'ordres élevés du panneau (jusqu'à l'ordre 40 environ). Les paramètres d'élasticité et d'amortissement des constituants du panneau sandwich dans le plan et hors du plan sont ensuite estimés en utilisant une procédure mixte "numérique/expérimentale" présentée Figure 1. Cette méthode est simple à implémenter et ne nécessite qu'une mesure ponctuelle sur la plaque réelle. Cette rapidité de mise en œuvre la rend adaptée par exemple à la réalisation de tests de contrôle de fabrication en ligne.

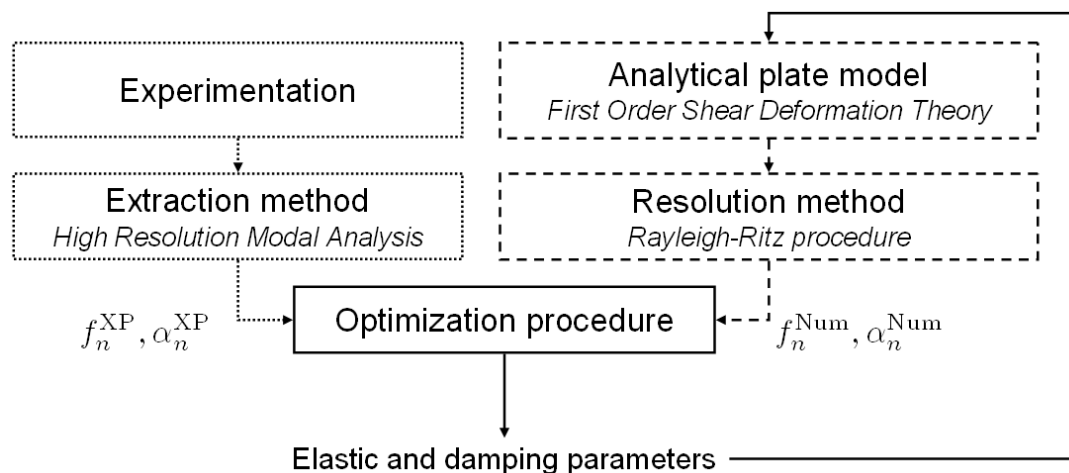


FIGURE 1 – Synoptique de la procédure "numérique/expérimentale" utilisée pour l'identification des propriétés élastiques et d'amortissement de matériaux sandwich.

Références

- [1] T. Lauwagie, H. Sol, and W. Heylen. Handling uncertainties in mixed numerical-experimental techniques for vibration based material identification. *Journal Of Sound And Vibration*, 291(3-5) :723–739, 2006.
- [2] M. E. McIntyre and J. Woodhouse. On measuring the elastic and damping constants of orthotropic sheet materials. *Acta Metallurgica*, 36(6) :1397–1416, 1988.
- [3] J. DeVisscher, H. Sol, W. P. DeWilde, and J. Vantomme. Identification of the damping properties of orthotropic composite materials using a mixed numerical experimental method. *Applied Composite Materials*, 4(1) :13–33, 1997.
- [4] J. P. Talbot and J. Woodhouse. The vibration damping of laminated plates. *Composites Part A-applied Science and Manufacturing*, 28(12) :1007–1012, 1997.
- [5] G. L. Qian, S. V. Hoa, and X. R. Xiao. A vibration method for measuring mechanical properties of composite, theory and experiment. *Composite Structures*, 39(1-2) :31–38, 1997.
- [6] E. Pagnacco, A. Moreau, and D. Lemosse. Inverse strategies for the identification of elastic and viscoelastic material parameters using full-field measurements. *Materials Science and Engineering A-structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 452 :737–745, April 2007.
- [7] M. Matter, T. Gmur, J. Cugnoni, and A. Schorderet. Numerical-experimental identification of the elastic and damping properties in composite plates. *Composite Structures*, 90(2) :180–187, 2009.
- [8] A. Giraudeau, F. Pierron, and B. Q. Guo. An alternative to modal analysis for material stiffness and damping identification from vibrating plates. *Journal of Sound and Vibration*, 329(10) :1653–1672, May 2010.
- [9] S. F. Bastos, L. Borges, and F. A. Rochinha. Numerical and experimental approach for identifying elastic parameters in sandwich plates. *Shock and Vibration*, 9(4-5) :193–201, 2002.
- [10] M. N. Ichchou, O. Bareille, and J. Berthaut. Identification of effective sandwich structural properties via an inverse wave approach. *Engineering Structures*, 30(10) :2591–2604, 2008.
- [11] W. S. Burton and A. K. Noor. Assessment of continuum models for sandwich panel honeycomb cores. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 145(3-4) :341–360, 1997.
- [12] L. Cremer, M. Heckl, and B.A.T. Peterson. *Structure-Borne Sound : Structural Vibrations and Sound Radiation at Audio Frequencies Third Edition*. Springer-Verlag, 2005.
- [13] J. Berthaut, M. N. Ichchou, and L. Jezequel. Piano soundboard : structural behavior, numerical and experimental study in the modal range. *Applied Acoustics*, 64(11) :1113–1136, November 2003.
- [14] K. Ege, X. Boutillon, and B. David. High-resolution modal analysis. *Journal of Sound and Vibration*, 325(4-5) :852–869, 2009.