



HAL
open science

Analyse de sensibilité globale pour la transmission acoustique de structures composites

Jean-Loup Christen, Zakaria Zergoune, Mohamed Ichchou, Bernard Troclet

► **To cite this version:**

Jean-Loup Christen, Zakaria Zergoune, Mohamed Ichchou, Bernard Troclet. Analyse de sensibilité globale pour la transmission acoustique de structures composites. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. <hal-01706200>

HAL Id: hal-01706200

<https://hal.science/hal-01706200v1>

Submitted on 10 Feb 2018

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.



Distributed under a Creative Commons CC0 1.0 - Universal - International License

Analyse de sensibilité globale pour la transmission acoustique de structures composites

J.-L. Christen¹, Z. Zergoune¹, M. Ichchou¹, B. Troclet²

¹ LTDS, École Centrale Lyon, {jean-loup.christen, zakaria.zergoune, mohamed.ichchou}@ec-lyon.fr

² Airbus Defence and Space / ENS Cachan

Résumé

Les matériaux composites sont largement employés dans la construction aéronautique et spatiale, pour leurs rigidité et faible masse. Ces deux caractéristiques tendent en revanche à détériorer leurs performances vibroacoustiques. De plus, de nombreuses sources d'incertitudes existent concernant les paramètres de tels matériaux. Il est donc important de quantifier l'importance des différents paramètres intervenant dans la conception de structures composites. La méthode FAST (Fourier analysis sensitivity test) est ici appliquée à une structure de type sandwich, modélisée analytiquement.

Mots clés — analyse de sensibilité, TL, composite

1. Introduction

L'usage sans cesse croissant de matériaux composites dans la construction aérospatiale conduit à se poser des questions sur les performances acoustiques de ces assemblages. Pour un lanceur, le bruit au décollage est tel qu'il est susceptible d'endommager la charge utile, dont il est nécessaire d'assurer le confort. Le même type de problème se retrouve pour le bruit intérieur des avions de nouvelles générations: la transmission acoustique à travers des matériaux composites peut être très importante. De plus, la complexité inhérente à ce type de matériaux, au niveau de l'assemblage et du choix des matériaux eux-mêmes, engendre un grand nombre d'incertitudes. Il est donc nécessaire de s'assurer que ces incertitudes ne sont pas susceptibles de dégrader les solutions retenues. L'analyse de sensibilité peut apporter une réponse à ces questions, en quantifiant l'effet des paramètres incertains sur un indicateur vibroacoustique pertinent. La méthode FAST [5,4] a été choisie pour son efficacité en temps de calcul et le fait qu'elle permet de tenir compte de larges plages de variations des paramètres incertains.

La deuxième partie de cet article présente le modèle analytique utilisé pour calculer la transmission acoustique. La troisième partie présente la méthode d'analyse de sensibilité FAST. Enfin, les résultats et leurs interprétations sont proposées dans la quatrième partie, la méthode FAST ayant été appliquée à un modèle de transmission à quatre paramètres incertains.

2. Transmission acoustique à travers des plaques sandwich

2.1 Propagation d'ondes de type flexion dans un matériau sandwich

La transmission d'une onde acoustique à travers une plaque dépend des ondes capables de se propager dans son plan. On considère ici une plaque en matériau de type sandwich. Dans cette configuration, un cœur rigide et léger, par exemple en nid d'abeille, est contraint entre deux peaux minces considérées comme des plaques isotropes. Le cœur est supposé orthotrope, suffisamment rigide pour n'avoir d'effet que par ses caractéristiques en cisaillement hors plan. L'ensemble est donc caractérisé par les paramètres de la peau (module de flexion, densité) et les paramètres homogénéisés du cœur (modules de cisaillement G_{xz} et G_{yz} , densité équivalente).

Dans ce type de structure peuvent se propager 3 ondes différentes, mais en basses fréquences, seul un type d'onde, apparenté à la flexion pour une plaque isotrope, est capable de se propager. Erickson [2] propose un modèle pour calculer ces nombres d'onde en fonction de la fréquence, en résolvant une équation polynomiale de degré 6.

2.2 Transmission

La transmission acoustique à travers une plaque sandwich infinie peut être calculée connaissant la courbe de dispersion de l'onde de flexion à travers la plaque. Pour une plaque plane d'extension infinie impactée par une onde acoustique plane d'incidence θ et de direction φ , la transparence acoustique est définie comme le rapport de puissance transmise à travers la plaque à la puissance incidente. Elle peut être calculé comme suit:

$$\tau(\omega, \theta, \varphi) = \left(\left(1 + \frac{\eta \omega m \cos(\theta) k_0^4 \sin^4 \theta}{2Z_0 k(\omega, \varphi)^4} \right)^2 + \left(\frac{\omega m \cos \theta}{2Z_0} \left(1 - \frac{k_0^4 \sin^4 \theta}{k(\omega, \varphi)^4} \right) \right)^2 \right)^{-1}$$

Dans cette équation, η représente l'amortissement hystérétique, m la densité surfacique de la plaque homogénéisée, Z_0 l'impédance acoustique de l'air et k_0 le nombre d'onde acoustique de l'onde plane incidente.

La transparence acoustique en champ diffus est alors calculée en faisant la moyenne de toutes les incidences et directions possibles

$$\tau_d = \frac{1}{\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} \tau(\omega, \theta, \varphi) \cos \theta \sin \theta d\theta d\varphi$$

Enfin, l'indice d'affaiblissement acoustique est donné par: $TL = -10 \log \tau_d$.

3. Analyse de sensibilité: méthode FAST

La méthode FAST (Fourier amplitude sensitivity test) a été développée à partir des années 1970 pour des applications en chimie. Saltelli et al. [5] ont montré que les indices de sensibilité obtenus avec la méthode FAST étaient équivalents aux indices de Sobol du 1er ordre [6].

Soit la fonction $f: (x_1, \dots, x_n) \rightarrow y$ définie dans le domaine $K = [0,1]^n$ et à valeurs réelles. En pratique, cette fonction est représentée par un code informatique, paramétré, et ne peut être calculée explicitement. Dans le cas où les paramètres ne sont pas définies sur K , on s'y ramène au moyen d'une bijection. Le domaine K peut être parcouru efficacement par une courbe paramétrée d'équations définies dans l'équation suivante

$$x_i = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arcsin(\sin(\omega_i s + \varphi_i))$$

où les ω_i sont des fréquences entières propres à chaque paramètre, choisies soigneusement pour éviter les interférences. Les φ_i sont des phases aléatoires, utilisées pour faire des moyennes entre différents tirages. La courbe paramétrée $x(s)$ est 2π -périodique, et la fonction $s \rightarrow f(x(s))$ peut être décomposée en série de Fourier :

$$f(\mathbf{x}(s)) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} c_n \exp(in.s)$$

La somme des carrés des coefficients de la série obtenue est une estimation de la variance de la fonction f sur son espace de définition K , et la somme des multiples des fréquences entières $c_{k\omega_i}^2$ sont des estimations des indices de sensibilité. Ceux-ci sont des nombres réels compris entre 0 et 1. Un indice élevé correspond à un paramètre très influent, et un indice faible à un effet du premier ordre faible, ce qui ne signifie pas que les interactions d'ordre plus élevé avec d'autres paramètres sont négligeables.

4. Résultats

La méthode FAST a été appliquée au calcul de l'indice d'affaiblissement acoustique à travers une plaque sandwich infinie. Seuls 4 paramètres ont été considérés comme variables, le module d'Young des peaux E_{skin} , les deux modules de cisaillement du cœur G_{xz} et G_{yz} et la densité homogénéisée du cœur. Les deux peaux identiques sont supposées en aluminium, d'épaisseur 1mm, de densité 2700 kg.m^{-3} et de coefficient de Poisson 0,34. Les paramètres du cœur s'inspirent d'une structure en nid d'abeille en aluminium, d'épaisseur 2 cm. Enfin, l'amortissement hystérétique global de la structure a été pris égal à 10%. Les plages de variation des paramètres variables sont résumées dans le tableau 1.

Table 1 – Paramètres pour l'analyse de sensibilité

Paramètre	valeur nominale	minimum	maximum
E (GPa)	70	65	75
Gxz (MPa)	370	330	410
Gyz (MPa)	604	550	660
ρ_{eq} (kg.m-3)	78	75	81

La figure 1 représente les indices de sensibilité calculés par la méthode FAST sur le modèle précédemment décrit. Avec des variations uniformes dans les intervalles décrits dans le tableau 1, on remarque trois grandes zones de comportements différents sur la plage de fréquence considérée. Une première plage, entre 100 et 220 Hz est caractérisée par la prépondérance de la densité. Ceci correspond à la loi de masse, bien connue des problèmes de transmission acoustique [Lesueur]. Au-delà, jusqu'à environ 3 kHz, le module d'Young des peaux est le plus influent, puis dans les plus hautes fréquences, l'effet du cisaillement du cœur devient dominant. Ceci s'explique par le fait que le comportement hors plan de la plaque sandwich est dominé par la flexion des peaux en basses fréquences, et par le cisaillement du cœur en hautes fréquences. Le modèle choisi est valable pour des fréquences allant jusqu'à 17 kHz, au-delà de qui d'autre types d'ondes commencent à devenir propagatives.

Un autre phénomène intéressant est le "creux" aux alentours de 450 Hz, correspondant à la fréquence de coïncidence de la plaque. À cette fréquence, l'indice d'affaiblissement acoustique diminue fortement et très localement, et le comportement est contrôlé en partie par la localisation de cette fréquence critique, qui dépend à la fois de la masse et de la raideur de la plaque. On constate donc un petit regain d'influence de la densité du cœur, et la somme des indices de sensibilité est légèrement inférieure à 1, ce qui traduit une interaction entre plusieurs paramètres.

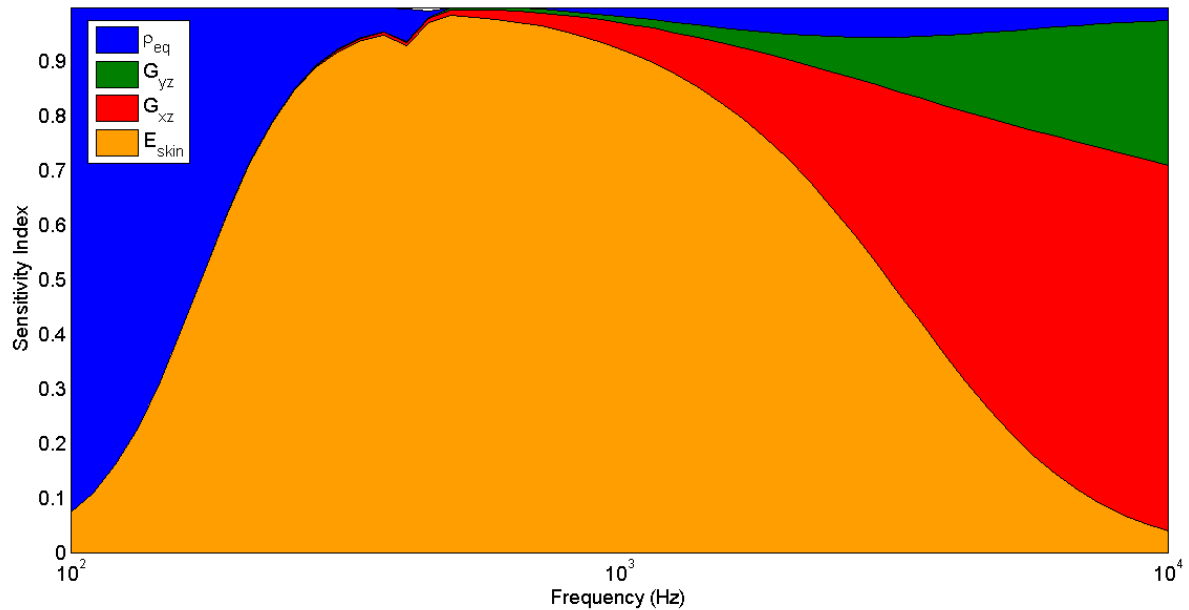


Figure 1 Indices de sensibilité des paramètres de la plaque sandwich

Remerciements

Ce projet est financé par Airbus Defence and Space et s'inscrit dans le cadre d'un projet international CRIAQ.

Références

- [1] J.-L. Christen, M. Ichchou, B. Troclet, M. Ouisse, Global sensitivity analysis of acoustic transmission models through infinite plates, Proceedings of ISMA 2014, Leuven, 2014
- [2] L. L. Erickson, Modal density estimates for sandwich panels: theory and experiment, NASA technical note D-5771, 1970
- [3] C. Lesueur. Rayonnement Acoustique des structures, Eyrolles, 1988
- [4] M. Ouisse, M. Ichchou, S. Chedly, M. Collet. On the sensitivity analysis of porous material models, J. Sound Vib. 331, Elsevier, 5292–5308, 2012 .
- [5] A. Saltelli, S. Tarantola, K.-P.S. Chan, A quantitative mode-independent method for global sensitivity analysis of model output, Technometrics 41, American Statistical association, 39–56, 1999
- [6] I.M. Sobol Sensitivity estimates for non-linear mathematical models, MMCE 1, Wiley, 407–414, 1993