Etude théorique et numérique du comportement vibroacoustique de plaques inhomogènes couplées à une cavité

F. Letourneaux, A. Blaise, C. Lesueur

► To cite this version:

F. Letourneaux, A. Blaise, C. Lesueur. Etude théorique et numérique du comportement vibroacoustique de plaques inhomogènes couplées à une cavité. Journal de Physique IV Proceedings, 1994, 04 (C5), pp.C5-125-C5-128. 10.1051/jp4:1994521 . jpa-00252894

HAL Id: jpa-00252894

<https://hal.science/jpa-00252894>

Submitted on 1 Jan 1994

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.

Etude théorique et numérique du comportement vibroacoustique de plaques inhomogènes couplées à une cavité

F. LETOURNEAUX, A. BLAISE et C. LESUEUR

Laboratoire Vibrations-Acoustique, Bâtiment 303, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 20 avenue Albert Einstein, 69621 Villeurbanne cedex, France

Abstract : Our work is concerned with acoustic transmission from the outside to the inside of high speed train moving in a fluid (such as two storey T.G.V.).

The modelization of this problem leads us to consider a large structure, made of inhomogeneous plates putting together, and excited by an aerodynamic (harmonic) source. In order to take into account the principal phenomena wich govern our system, we study a simplified configuration : An inhomogeneous plate, backed by a closed rectangular cavity.

The theory is based on modal analysis of both plate and cavity uncoupled. The vibrations of the plate is analyzed with a RAYLEIGH-RITZ approximation.

The first numerical results provide some informations about the influence of the perturbation induced by heterogeneities : for instance, we can 't neglect the contribution of heterogeneities on the internal acoustic pressure when the excitation is localised on it (in the studied frequency field).

INTRODUCTION

L'objet de notre étude est la transmission en basses fréquences (0-200 Hz) du bruit à l'intérieur de grandes structures : trains à grande vitesse (type T.G.V. deux niveaux) soumises à des excitations aérodynamiques de type détachement tourbillonnaire généré par l'espace inter-remorque (excitation harmonique). Dans ce cadre, nous sommes confrontés à deux difficultés majeures : l'une relative aux grandes dimensions, la seconde relative à la complexité de la structure qui est définie par une plaque support (indice "s") appuyée sur ses bords munie d'inserts (indices "i"), les deux étant orthotropes. C'est ce second aspect que nous nous proposons de développer ici, les descripteurs retenus étant l'énergie cinétique E_c de la plaque hétérogène ainsi que le niveau de pression acoustique interne L_p calculé ponctuellement, moyenné sur le volume ou sur une surface.

1. APPROCHE THEORIQUE

1.1. Problème vibroacoustique couplé

La configuration étudiée est définie *figure 1*. Le système vibroacoustique (1) qui lui est associé prend la forme classique suivante :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \mathcal{L}\{W(M_s, t)\} = P_E(M_s, t) + P_C(M_s, t) - Pr_1(M_s, t) & M_s \in S_{plq} \quad a) \\ \text{C.L. cinématiques : } W(M_s, t) = 0 & M_s \in \Gamma \quad b) \\ \Delta P_C(M_v, t) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P_C(M_v, t)}{\partial t^2} = 0 & M_v \in V_{cav} \quad c) \\ \frac{\partial P_C(M_s, t)}{\partial n} = 0 & M_s \in S_{cav}, M_s \notin S_{plq} \quad d) \\ \frac{\partial P_C(M_s, t)}{\partial n} = -\rho_0 \frac{\partial^2 W(M_s, t)}{\partial t^2} & M_s \in S_{plq} \quad e) \end{array} \right. \quad (1)$$

P_C : pression interne à la cavité
 Δ : Laplacien
 W : déplacement de la structure
 suivant la normale n

n : normale extérieure à la surface S_{cav}
 $\mathcal{L}$: opérateur des plaques minces
 Γ : contour de la plaque

L'excitation appliquée à la plaque est ponctuelle (F_E) ou répartie (F'_E) sur une surface localisée ΔS de la plaque.

Les fluides contenus dans les milieux 1 et 2 étant légers (air de densité ρ_0 et célérité c), la pression rayonnée vers le milieu 1 (Pr_1) peut être négligée devant l'excitation appliquée à la structure (P_E).

La résolution du système vibroacoustique en terme de pression acoustique interne P_C et de champ de déplacement transverse W est obtenue par une décomposition dans les bases modales de la cavité (vérifiant (1) c) à e) avec $W=0$) et de la plaque (problème homogène associé à (1) a) et b))

1.2. Schéma modal de la plaque hétérogène

Le champ de déplacements transverse W de la plaque appuyée sur ses bords est obtenu par une approximation de type RAYLEIGH-RITZ, les fonctions d'approximation utilisées correspondant dans notre cas aux formes propres d'une plaque homogène de même dimensions.

$$W(M_s, t) = \sum_{i=1}^N a_i(t) \Phi_i(M_s) \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} N \text{ fini} \\ \Phi_i : \text{fonction d'approximation de rang } i \text{ de la plaque} \end{array} \right. \quad (2)$$

L'opérateur d'élasticité $\mathcal{L}$ de la plaque hétérogène résulte de la minimisation de la fonctionnelle d'énergie Ψ associée, en vibrations libres. Cette fonctionnelle, après intégration suivant l'épaisseur et application du principe de superposition proposé *figure 2*, prend la forme:

$$\Psi = \frac{1}{2} \int_t \left[\underbrace{\iint_{S_{plq}} e^s dS_{plq}}_{\xi_s} + \sum_i \underbrace{\iint_{S_i} (e^i - e^s) dS_i}_{\Delta \xi_i} \right] dt \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} e^s : \text{densité d'énergie du support} \\ e^i : \text{densité d'énergie d'un insert} \\ S_s : \text{surface du support} \\ S_i : \text{surface d'un insert} \\ S_{plq} = S_s \cup \sum_i S_i \end{array} \right. \quad (3)$$

Dans cette expression apparaît deux termes principaux :

- un terme correspondant à l'équation d'une plaque homogène dont les caractéristiques sont celles du support ξ_s
- un terme de couplage provenant des perturbations dues à chaque insert $\Delta \xi_i$

Ce dernier terme est caractérisé par des perturbations géométriques et mécaniques (masse et raideur) traduisant l'hétérogénéité de la plaque.

Après avoir substitué (2) dans (3), on aboutit à un problème aux valeurs propres généralisé. Le schéma modal est alors obtenu en transformant, par une décomposition de CHOLESKI, le problème initial en un problème aux valeurs propres classique que l'on traite par la méthode de JACOBI.

2. VALIDATION ET RESULTATS NUMERIQUES

2.1. Validation numérique

Le logiciel créé a été validé :

- pour le cas d'une plaque homogène, sur des configurations issues de la littérature (réf [1], [2], [3]). Une bonne concordance avec ces trois références a été observée compte tenu des diverses approximations réalisées.
- sur des configurations hétérogènes équivalentes générées de différentes façons et pour lesquelles on obtient des résultats rigoureusement identiques en terme de schéma modal, de réponses vibratoire et acoustique.

2.2. Résultats numériques

Nous présentons ici les configurations suivantes :

Une plaque est excitée par une force ponctuelle harmonique $F_E = 1$ N localisée sur l'insert en $(X_E, Y_E) = (0.85m, 0.5m)$ ou sur le support en $(X_E, Y_E) = (0.35m, 0.5m)$. La cavité est définie par $L_{x_c} \cdot L_{y_c} \cdot L_{z_c} = 1.2 \times 1.0 \times 1.4 \text{ m}^3$; $\rho_0 = 1.21 \text{ Kg / m}^3$; $c = 344 \text{ m / s}$; $\eta_{\text{visqueux}} = 0.01$. Deux plaques sont étudiées, l'une homogène, la seconde hétérogène :

		(X,Y) m	Lx . Ly m ²	E (GPa)	ρ Kg/m ³	ν	épaisseur m	η visqueux
plaque (1)	homogène	(0, 0) /repère cavité	1.2 x 1.0	210	7850	0.3	0.003	0.02
plaque	support	(0, 0) /repère cavité	1.2 x 1.0	210	7850	0.3	0.003	0.02
hétérogène (2)	insert	(0.7, 0.35) /repère plaque	0.3 x 0.3	4.2	1118	0.3	0.003	0.02

On observe **figures 3 et 4** deux zones distinctes où les comportements diffèrent :

- ♦ **zone 1 (0-70 Hz):**
pour les deux types d'excitation la réponse acoustique interne semble être gouvernée par les vibrations de la plaque support (*courbes a) à c)* , la perturbation introduite par l'insert influant peu (écart en moyenne de 0 à 2 dB sur les niveaux de pression et 1 à 5 dB sur l'énergie cinétique)
- ♦ **zone 2 (70-500 Hz):**
- lorsque l'excitation est appliquée sur l'insert, on remarque une différence de $\Delta_1 = 18$ dB en moyenne sur les niveaux de pression et de $\Delta_2 = 11$ dB sur l'énergie cinétique entre les *courbes a) et c)*. La perturbation induite par l'insert a donc une influence prépondérante sur la pression interne.
- lorsque l'excitation est appliquée sur le support, cette différence devient faible (écarts de 2 dB sur le niveau de pression et de 1 dB sur l'énergie cinétique), on retrouve donc un niveau moyen de pression interne équivalent pour les plaques homogènes et hétérogènes.
Cette différence de comportement est liée :
 - aux écarts entre les forces généralisées des modes de la plaque hétérogène dont la déformée est :
 - soit proche de celle de la plaque homogène, les perturbations dues à l'insert étant négligeables.
 - soit caractérisée dans la zone de l'insert par des déplacements transverses maximum ; les perturbations dues à l'insert sont localement très importantes.
 - à la modification du couplage spatial entre modes de plaque et de cavité, ce qui explique en partie l'augmentation des écarts de 7 dB observés entre Δ_1 et Δ_2 .

3. CONCLUSION

Les premiers résultats nous permettent de conclure, pour les configurations étudiées, que la présence d'hétérogénéités dans la plaque est susceptible de modifier considérablement la réponse interne sur une large bande de fréquences, dans le cas d'excitations ponctuelles. Des études paramétrées sont actuellement réalisées afin d'extraire des critères simples visant à évaluer l'importance des inserts sur le comportement vibroacoustique global du système.

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une collaboration avec la S.N.C.F -DIRECTION DU MATERIEL-DIVISION CAISSE ET STRUCTURES rue Traversière à PARIS.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CHENG L., Etude vibroacoustique d'une structure couplée à une cavité. Thèse de Docteur en Acoustique INSA LYON, 1989 156p.
- [2] VAICAITIS R and Mc DONALD B.W and MYERS M.K , Noise transmission through plates into an enclosure. NASA 1987, 43p. n°TP -1173.
- [3] GUY R.W , The steady state transmission of sound at normal and oblique incidence through a thin panel backed by a rectangular room -A multi-modal analysis. Acoustica, 1979, volume n°43 , pp.295-304.