

Vibroacoustique hautes fréquences : modèle énergétique local pour le rayonnement

V. Cotoni, A. Le Bot, L. Jezequel

Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (UMR 5513 CNRS)

Ecole Centrale de Lyon - France. e-mail : cotoni@mecasola.ec-lyon.fr

Introduction

Ce papier décrit une nouvelle méthode de modélisation de problèmes vibroacoustiques dans le domaine des moyennes et hautes fréquences. En raison de l'augmentation du nombre de degrés de liberté, le spectre audible qui nous intéresse monte en effet au-delà des limites fréquentielles des codes classiques. Des méthodes alternatives dédiées aux hautes fréquences ont ainsi été développées. Notre approche s'inspire de la plus connue d'entre elles, la SEA [1]. Traitant de variables énergétiques également, elle s'attache cependant à donner une description locale des phénomènes. A cette fin, un formalisme intégral s'appuyant sur des noyaux énergétiques et sur les bilans de puissance locaux, est mis en œuvre.

Des exemples concernant des structures isolées et le rayonnement en milieu infini permettent d'illustrer la méthode à travers des comparaisons calculs / essais.

I- La formulation énergétique intégrale

Les champs d'énergie et de flux de puissance dans les systèmes sont décrits de la façon suivante [2]:

- suivant le principe de Huygens, nous considérons que l'énergie en un point M du système Ω est due aux actions conjuguées des sources primaires de puissance ρ dans le système et des sources secondaires σ correspondant aux puissances diffractées sur les frontières $\delta\Omega$ du système,
- postulant que les ondes propagatives dans le système sont décorrélées, nous appliquons le principe de superposition linéaire aux différentes contributions énergétiques.

Ainsi, partant des noyaux énergétiques G et H décrivant en coordonnée radiale les densités d'énergie et de flux de puissance du système infini excité ponctuellement,

$$G(r) = \frac{e^{-mr}}{c\gamma_0 r^{n-1}} \quad \text{et} \quad \vec{H}(r) = \frac{e^{-mr}}{\gamma_0 r^{n-1}} \vec{u}_r,$$

nous écrivons les champs d'énergie et de flux de puissance,

$$W(M) = \int_{\Omega} \rho(S)G(S,M)dS + \int_{\delta\Omega} \sigma(P, \vec{u}_{PM})G(P,M)dP,$$

$$\vec{I}(M) = \int_{\Omega} \rho(S)\vec{H}(S,M)dS + \int_{\delta\Omega} \sigma(P, \vec{u}_{PM})\vec{H}(P,M)dP.$$

c représente la vitesse de groupe des ondes, γ_0 l'angle solide de l'espace considéré, et m le coefficient d'atténuation. Cette formulation s'applique aux espaces monodimensionnels tels que les poutres [3], bidimensionnels tels que les plaques [4], et tridimensionnels tels que les milieux acoustiques [5].

Les sources de puissance de frontière σ sont les inconnues du problème, qu'il convient de résoudre en exprimant les conditions limites énergétiques. A partir des formulations intégrales des variables énergétiques, nous écrivons donc les bilans de puissance locaux aux frontières. Ainsi, à l'image de la théorie géométrique de la diffraction [6], les amplitudes et directivités des sources de frontière font l'objet d'un calcul canonique préliminaire local. Exploitant ensuite le principe de localité valide en hautes fréquences, les expressions des sources secondaires sont introduites dans le

système global. Nous développons maintenant deux exemples applicatifs que nous validons expérimentalement.

II- Plaque isolée, excitée ponctuellement

Le cas d'une plaque isolée et excitée ponctuellement est résolu en écrivant que le flux de puissance à travers les bords de la plaque est nul. Afin de simplifier l'analyse, la directivité des sources de puissance structurale de frontière est postulée : la directivité diffuse de Lambert est utilisée. En introduisant cette expression dans la forme intégrale du flux de puissance, une équation de Fredholm de deuxième espèce est obtenue sur σ . La résolution de cette équation par collocation donne les amplitudes des sources de frontière.

Une validation expérimentale a été effectuée sur la plaque de la Figure 1, sur l'intervalle de fréquence [200,3200]Hz. Une tête d'impédance et un vélocimètre laser mesurent la puissance injectée et l'énergie structurale.

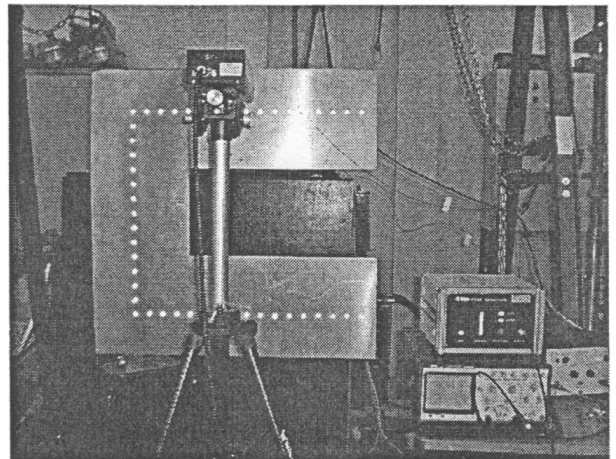


Fig. 1 : Dispositif expérimental.

Sur la Figure 2, le calcul (en gras) est comparé aux données expérimentales moyennées sur un tiers de bande d'octave. L'évolution spatiale de l'énergie autour de 1000 Hz est tracée à gauche. A droite sont représentées les évolutions fréquentielles en trois points de la structure.

III- Rayonnement d'une plaque en milieu acoustique infini

Le problème d'une plaque couplée à un fluide acoustique est résolu de la même manière que précédemment en tenant compte des pertes de puissance par rayonnement. Les échanges ont lieu au niveau des discontinuités structurales où les ondes de flexion sont diffractées dans le milieu acoustique, et tout au long de la propagation des ondes si elles sont supersoniques (au dessus de la fréquence critique). Chaque type de discontinuité (le point d'injection de force et les bords de la structure pour le cas présent) donne donc lieu à un calcul canonique permettant de caractériser la directivité et l'amplitude des sources de puissance diffractée en fonction des flux de puissance structuraux.

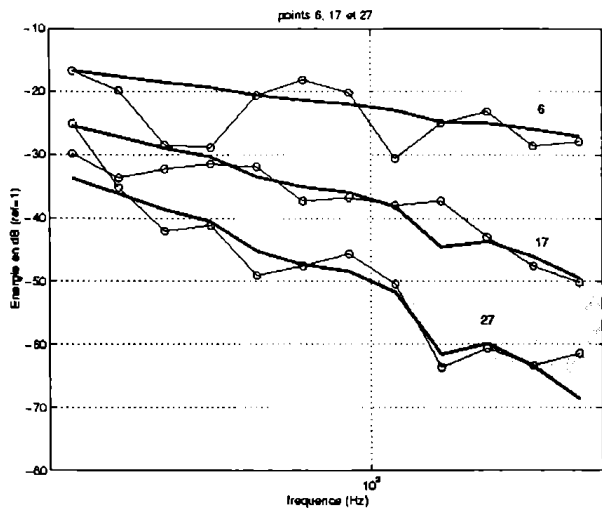
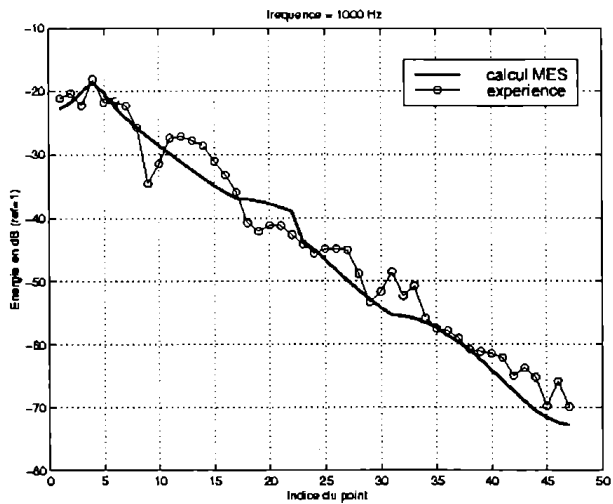


Fig. 2 : Evolutions spatiales et fréquentielles de l'énergie de flexion : comparaison calcul (en gras) / essai.

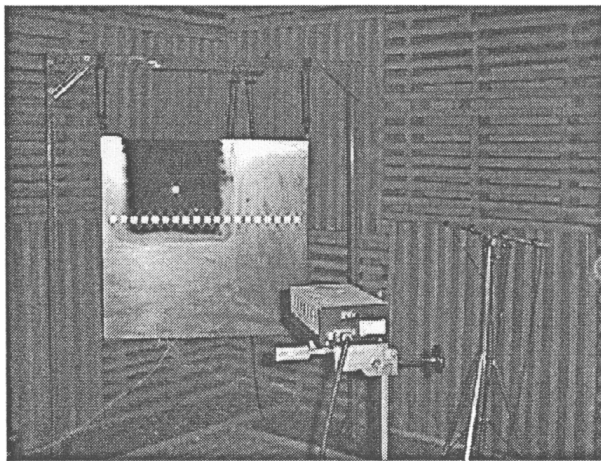


Fig. 3 : Dispositif expérimental pour le rayonnement.

Pour le calcul correspondant à l'expérience de la Figure 3, nous aurons donc des sources localisées sur les bords et au point d'excitation dans le domaine subsonique. Dans le domaine supersonique, nous rajouterons les sources de

surface. L'énergie acoustique a été relevée en 6 points sur l'intervalle [3200,12800]Hz. Les comparaisons des calculs (-o-) aux essais moyennés par tiers de bande d'octave (-*-) sont présentées sur la Figure 4. Le graphique de gauche correspond à trois points sur une antenne orthogonale à la plaque, celui de droite sur une antenne parallèle. Les maxima correspondent au rayonnement supersonique très efficace de toute la surface.

Références

- [1] Lyon and Dejong. *Theory and applications of statistical energy analysis*. Butterworth-Heinemann USA, 1995.
- [2] Le Bot. *A vibroacoustic model for high frequency analysis*. JSV, 211(4), 1998.
- [3] Bocquillet. *Méthode énergétique de caractérisation des réseaux complexes*. Thèse d'université. ECL 2000
- [4] Bouthier and Bernhard. *Simple models of the energetics of transversely vibrating plates*. JSV, 182(1), 1995.
- [5] Kuttruff. *Energetic sound propagation in rooms*. Acustica, 83, 1997.
- [6] Keller. *Geometrical theory of diffraction*. JOSA, 52(2), 1962

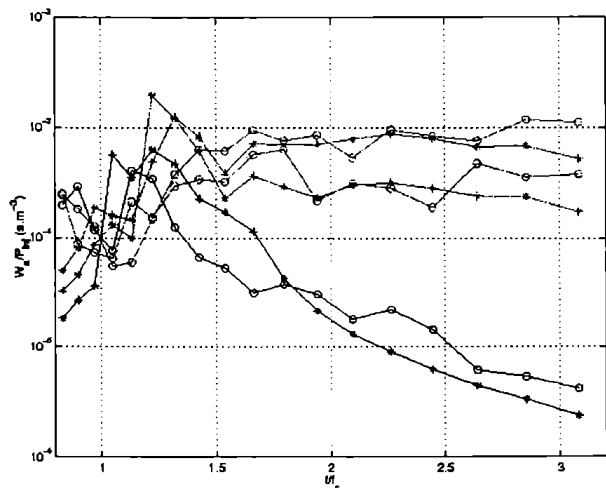
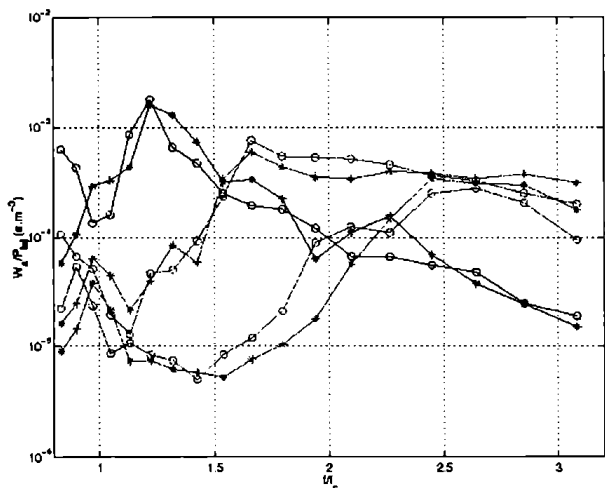


Fig. 4 : Evolutions fréquentielles de l'énergie acoustique en 6 points de l'espace.