

Développement d'une méthode analytique pour la prédiction des mécanismes vibro-acoustique des plaques raidies orthotropes de formes quelconques

Sujet de thèse proposé par Kerem Ege (co-directeur) et Bernard Laulagnet (HDR - directeur de thèse) à l'école doctorale MEGA pour l'attribution d'un contrat doctoral à Benjamin Trévisan.

Encadrants : Kerem Ege et Bernard Laulagnet, Laboratoire Vibrations Acoustique (LVA)
Mail : kerem.ege@insa-lyon.fr

Mots-clés : plaques raidies, vibro-acoustique, géométrie complexe, rayonnement, simulation, résolution temporelle, évaluation sonore, optimisation de structure.

Contexte et état de l'art

La modélisation du comportement vibro-acoustique des plaques raidies est un sujet d'intérêt industriel notoire. Ces structures orthotropes sont très souvent utilisées dans les transports maritimes (coque de sous-marins...), aériens (fuselage des avions...), automobile (panneau arrière de cabines de camion...) et dans le contexte du bâtiment. **Bien que ces structures aient été abondamment étudiées dans la littérature scientifique de ces cinquante dernières années via entre autres les travaux de Maidanik [1], Mead [2], Mace [3], et plus récemment ceux menés au LVA par Laulagnet & Guyader [4-5], les méthodes analytiques ne permettent ni d'introduire des raidisseurs non parallèles aux axes propres de la plaque, ni une complexité géométrique de la structure pour la modélisation de celles-ci. Néanmoins ces approches analytiques restent un outil très performant pour prédire le comportement vibro-acoustique des structures finies en moyennes et hautes fréquences ; à l'inverse des méthodes éléments finis et éléments finis de frontière qui nécessitent des temps de calcul et un nombre de degrés de libertés réductibles, et qui ne sont pas adaptées pour effectuer des études paramétriques à faible coût du rayonnement de structures dans un milieu infini.**

Problématiques scientifiques et avancées escomptées

L'étude proposée dans cette thèse consiste à modéliser analytiquement le comportement vibro-acoustique d'une structure plane raidie orthotrope hétérogène de géométrie complexe¹. On se propose de bâtir un modèle analytique pour la compréhension des mécanismes vibratoires de propagation dans ces structures.

Dans un premier temps, nous considérerons une plaque orthotrope de géométrie rectangulaire dont les axes d'orthotropie sont parallèles aux bords de la plaque (orthotropie dite « spéciale ») raidie suivant un des axes d'orthotropie de la plaque (raidisseurs) ; une ou plusieurs superstructures supplémentaires perpendiculaires au réseau de raidisseurs peuvent y être ajoutées. On veillera à prendre en compte l'effet de moment (torsion) des raidisseurs. Les conditions aux limites seront supposées comme simplement supportées. Basée sur l'approche développée au LVA [4,5] - et appliquée avec succès à quelques structures industrielles périodiquement raidie, comme les coques de sous-marins notamment - la résolution consistera à calculer la réponse modale de la *plaque avec superstructures* sur la base des modes propres de la *plaque non raidie* (projection modale).

Dans un second temps, et pour étendre l'étude faite dans [4,5], l'angle d'orthotropie, l'introduction de raidisseurs non parallèles aux axes principaux, et la géométrie non rectangulaires des structures orthotropes raidies seront pris en compte dans le modèle. Par exemple, pour calculer la vibration d'une paroi non rectangulaire, on calculera celle de la paroi rectangulaire la plus voisine possible dans laquelle la géométrie quelconque s'inscrit. En introduisant des multiplicateurs de Lagrange prescrivant des conditions *ad hoc* (contraintes de déplacement nul), on obtiendra ainsi la vibration limitée au domaine intérieur. Comme précisé plus haut, ce sont là les avancées majeures escomptées dans le cadre de cette thèse.

¹ Cet outil prédictif étendra le travail de master de Benjamin Trévisan réalisé au LVA (entre février et juin 2013) au cours duquel la méthodologie a été mise en place et des premiers résultats (réponse modale en moyennes et hautes fréquences, calcul de mobilité...) ont été obtenus.

Proposition de sujet de thèse – Contrat doctoral 2013-2016 – École Doctorale MEGA

L'outil prédictif ainsi obtenu sera exploité pour calculer les modes de la structure (déformées, densité modale). Le rayonnement acoustique sera calculé suivant les hypothèses d'une plaque bafflée. La mobilité mécanique pourra être prédite, en prenant en compte tous les paramètres, y compris l'influence du rayonnement sur cette mobilité.

Cet outil prédictif permettra alors de répondre à différentes problématiques scientifiques dans plusieurs domaines d'applications.

Applications

- Une première application industrielle consistera en un panneau arrière (ou éventuellement un plancher) de cabine de camion. Ces structures raidies de géométries complexes, d'actualités, sont étudiées par la communauté de la vibro-acoustique à des fins d'allègement de structures notamment. La méthode analytique développée dans cette thèse permettra par exemple de prédire l'influence des dimensions, de la position, du nombre de raidisseurs sur le niveau acoustique dans la cabine de camion (transparence de la paroi, couplage vibro-acoustique...).
- Un second exemple de structure orthotrope finie raidie, de haute complexité structurale car hétérogène en matériaux qui la composent, de géométrie complexe et soumise à des excitations très large bande [27.5Hz – 10kHz] est la table d'harmonie du piano (pièce en bois mise en vibration par les cordes pour permettre un rayonnement efficace du son) [6-7]. Appliquée à cette structure, l'outil prédictif analytique permettra par exemple d'estimer localement la mobilité et pourra mettre en lumière les rôles significatifs des superstructures (raidisseurs et chevalets) pour atteindre le compromis intensité/tenue du son (via l'optimisation dynamique des propriétés de la table).

Plan de travail

1. Étude bibliographique et état de l'art des méthodes analytique de modélisation vibro-acoustique des structures planes raidies.
2. Ecriture d'un modèle analytique de plaque raidie avec prise en compte de la torsion des superstructures poutres.
3. Extension du modèle analytique pour prise en compte de l'angle d'orthotropie et de la forme non rectangulaire de la structure orthotrope complexe.
4. Exploitation de l'outil analytique a) calcul des modes propres de la structure (déformées, densité modale) b) calcul de la mobilité mécanique en différents points de la structure c) calcul du niveau vibratoire et de la puissance rayonnée pour une excitation ponctuelle (plage fréquentielle [20 Hz – 10 kHz]).

Bibliographie

- [1] G. Maidanik, Response of ribbed panels to reverberant acoustic fields, *J. Acoust. Soc. Am.* 34(6): 809-826, 1962.
- [2] D. J. Mead, Wave propagation in continuous periodic structures: Research contributions from Southampton, 1964-1995. *Journal of Sound and Vibration*, 190(3), 495-524, 1996.
- [3] B. R. Mace, Periodically stiffened fluid-loaded plates, I: Response to convected harmonic pressure and free wave propagation, *Journal of Sound and Vibration*, 73(4), 473-486, 1980.
- [4] B. Laulagnet and J.-L. Guyader, Sound radiation by finite cylindrical ring stiffened shells. *Journal of Sound and Vibration*, 138(2): 173-191, 1990.
- [5] B. Laulagnet, *Acoustique du contact et des machines*, Habilitation à diriger des recherches, INSA de Lyon, 2008.
- [6] K. Ege., X. Boutillon and M. Rébillat, Vibroacoustics of the piano soundboard: (Non)linearity and modal properties in the low- and mid-frequency ranges. *Journal of Sound and Vibration*, 332(5): 1288-1305, 2013.
- [7] X. Boutillon and K. Ege, Vibroacoustics of the piano soundboard: Reduced models, mobility synthesis, and acoustical radiation regime. *Journal of Sound and Vibration*, 332(18): 4261-4279, 2013.