

Titre de la thèse : Étude et conception d'architectures à trous noirs munies d'amortisseurs pour l'atténuation vibro-acoustiques des vibrations dans des structures de transport

Laboratoire d'accueil : DRIVE UR 1859, Equipe VAT

Spécialité du doctorat préparé : Sciences pour l'ingénieur

Mots-clés : Trou Noir Vibro-Acoustique (TNVA/TNA), Ondes de flexion, Résonateurs locaux, Bandes interdites (bandgaps), MEF, Structures de transport.

Descriptif détaillé de la thèse

L'industrie automobile fait face à des exigences croissantes en matière de confort vibro-acoustique et de réduction de masse structurale. Les structures de carrosserie sont par nature des plaques courbes (panneaux de toit, portes, plancher), souvent multicouches (tôle, couche viscoélastique, peau interne). Les méthodes actuelles de traitement (bitume, massif viscoélastique) sont efficaces mais significativement pénalisantes en masse.

Les structures minces utilisées dans le secteur du transport, panneaux de carrosserie automobile, parois de fuselage aéronautique, planchers de wagons ferroviaires et caisses de bus sont soumises à des excitations vibratoires à large bande générées par les sources mécaniques embarquées. Ces vibrations se propagent principalement sous forme d'ondes de flexion et rayonnent acoustiquement, constituant la principale source de gêne sonore dans les véhicules modernes. Les approches conventionnelles de traitement par des matériaux visco-élastiques massifs, doublures acoustiques et amortisseurs pilotés permettent de réduire efficacement ces nuisances, mais au prix d'une pénalité de masse significative, incompatible avec les objectifs d'allègement structurel imposés par les réglementations environnementales actuelles. Une alternative, explorée par Claeys [8], consiste à exploiter les propriétés de bandes interdites des résonateurs périodiques pour bloquer la propagation des ondes. Si prometteuse aux basses fréquences, cette approche reste limitée en bande passante et sensible au calibrage.

Le concept de *Trou Noir Vibro-Acoustique* (TNVA) offre une alternative passive et légère. Le phénomène *Trou Noir Acoustique* (TNA) se développe dans le domaine de la dynamique structurale et ce sont des ondes élastiques de flexion qui sont piégées (Pelat et al. [1]). Le principe fondateur du TNA a été énoncé par Mironov [2] en 1988 où la vitesse de phase locale de l'onde de flexion décroît continuellement. Par conséquent, le temps de parcours de l'onde vers la pointe tend vers l'infini et l'onde est piégée sans jamais être réfléchi. Ce résultat, purement réactif, constitue le fondement théorique du TNA. Pelat et al. [1] rappellent qu'une épaisseur résiduelle égale à 0,1 % de l'épaisseur uniforme peut engendrer une réflexion de l'ordre de 70 % de l'onde incidente. L'ajout d'une couche visco-élastique, modélisée par Ross, Ungar et Kerwin [3], permet de dissiper l'énergie piégée avant qu'elle ne soit réfléchi en pointe, restaurant ainsi de très faibles coefficients de réflexion.

Les structures de transport sont rarement planes. Un panneau de carrosserie automobile, une paroi de fuselage, ou un plancher de wagon sont par nature des plaques courbes, dont la géométrie est décrite par la théorie des coques minces de Leissa [7]. Or, la courbure modifie profondément la physique de la propagation des ondes de flexion par rapport au cas plan : elle introduit un couplage flexion-membrane qui modifie la relation de dispersion, la vitesse de phase des ondes, et par conséquent l'expression de la fréquence de coupure du TNA. Pelat et al. [1] couvrent exhaustivement les TNA dans des structures planes (poutres droites, plaques plates), mais **la configuration de plaque courbe constitue un verrou scientifique explicitement non traité**. Cette lacune est d'autant plus significative que les structures de transport représentent précisément l'application industrielle la plus demandée pour les architectures TNA.

L'analyse de la bibliographie disponible révèle deux lacunes systématiques et récurrentes. Premièrement, dans l'intégralité des travaux de TNA recensés par Pelat et al. [1], la couche

visco-élastique est invariablement traitée comme un milieu isotrope : le facteur de perte est un scalaire, identique dans toutes les directions, basé sur le modèle de Ross-Ungar-Kerwin [3]. Deuxièmement, toutes les études de TNVA portent sur des configurations planes, sans tenir compte des effets de courbure décrits par Leissa [7], pourtant essentiels pour les structures de transport réelles. Ces deux aspects sont scientifiquement liés. La courbure d'une structure induit une directionnalité du champ d'ondes de flexion qui rend l'hypothèse de couche isotrope particulièrement sous-optimale : en ignorant la direction privilégiée de propagation, la couche isotrope dissipe l'énergie de manière uniformément répartie alors qu'une couche anisotrope orientée permettrait de concentrer la dissipation là où l'énergie est effectivement présente.

L'objectif de la thèse est de traiter les aspects scientifiques suivants :

- Dans quelle mesure la courbure de la structure modifie l'effet TNVA ?
- La substitution de la couche visco-élastique isotrope par une couche visco-élastique anisotrope, permet-elle d'améliorer significativement la dissipation vibratoire dans des structures de transport courbes ?

Les points suivants seront abordés

- Analyse du couplage flexion-membrane induit par la courbure et incidence sur la relation de dispersion des ondes de flexion dans un TNVA.
- Choix optimal du modèle de Ross-Ungar-Kerwin [3] pour une couche visco-élastique anisotrope orientée.
- Formulation de la condition optimale de couplage critique de Leng et al. [5] en présence d'une couche anisotrope.
- Validation expérimentale de l'architecture TNVA à amortisseurs sur plaque courbe et comparaison avec les traitements conventionnels. Un panneau représentatif de structure de transport (carrosserie automobile, paroi de wagon, ou plancher de fuselage, selon le partenariat disponible) intégrant l'architecture TNVA optimisée sera caractérisé en termes d'atténuation vibro-acoustique.

Bibliographie

1. Pelat A., Gautier F., Conlon S.C., Semperlotti F. The acoustic black hole: A review of theory and applications. *Journal of Sound and Vibration*, 476, 115316, 2020.
2. Mironov M.A. Propagation of a flexural wave in a plate whose thickness decreases smoothly to zero. *Sov. Phys. Acoust.*, 34(3), 318-319, 1988.
3. Ross D., Ungar E., Kerwin E. Damping of plate flexural vibrations by means of viscoelastic laminae. *Structural Damping*, 49-88, 1959.
4. Denis V., Gautier F., Pelat A., Poittevin J. Measurement and modelling of the reflection coefficient of an ABH termination. *J. Sound Vib.*, 349, 67-79, 2015.
5. Leng J., Romero-García V., Pelat A., Picó R., Groby J.-P., Gautier F. Interpretation of the ABH effect based on critical coupling. *J. Sound Vib.*, 471, 115199, 2020.
6. Shepherd M.R., Feurtado P.A., Conlon S.C. Multi-objective optimization of acoustic black hole vibration absorbers. *J. Acoust. Soc. Am.*, 140(3), EL227, 2016.
7. Leissa A.W. *Vibration of shells*. NASA SP-288. (référence fondamentale pour la mécanique des coques minces), 1969.
8. Claeys C.C., Vergote K., Sas P., Desmet W. On the potential of tuned resonators to obtain low-frequency vibrational stop bands in periodic panels. *J. Sound Vib.*, 332, 1418-1436, 2013.

Profil demandé

Le(la) candidat(e) doit être titulaire d'un Master (ou d'un diplôme d'ingénieur équivalent) en mécanique, mécanique des structures, vibrations, physique ou mathématiques appliquées.

Critères de sélection :

Un classement figurant parmi les cinq premiers de la promotion est attendu. De solides connaissances en mécanique, en dynamique des structures, en modélisation numérique, en vibrations et en propagation des ondes sont requises. Des connaissances en théorie des plaques et des coques minces, ainsi que des compétences expérimentales, sont idéalement attendues.

Caractéristiques personnelles :

Le(la) candidat(e) doit combiner la rigueur dans les calculs analytiques, l'intuition dans l'interprétation des résultats physiques et le pragmatisme de l'ingénieur, avec les compétences de communication d'un(e) scientifique qui comprend qu'un résultat non publié est un résultat inachevé.

Financement acquis : MESRI (Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation)

Etablissement : Université Bourgogne Europe, ISAT Nevers

Dossier à envoyer **avant le 15 mai (inclus)**

Début du contrat : **1^{er} Octobre 2026**

Salaire mensuel brut : 2200€ (à partir du 1^{er} janvier 2026 : 2300€ brut)

Direction de la thèse :

BEJI Lotfi / e-mail: Lotfi.Beji@ube.fr

Encadrement de la thèse : co-directeur(s) et co-encadrant(s)

Andrianarison Orlando, co-encadrant (MCF) : Orlando.Andrianarison@ube.fr

Moussavi Said, co-encadrant (MCF) : Said.Moussavi@ube.fr

Les candidats sont invités à soumettre leur candidature au directeur de thèse, en copie aux encadrants.

Dossier de candidature :

- CV
- Lettre de motivation
- Au moins une lettre de recommandation
- Relevés de notes de Master 1 et 2 (ou équivalent), classement en Master 1 et 2.