

Proposition de thèse : Comportements acoustiques non-linéaires en conduit traité sous écoulement

Laboratoire de Mécanique des Fluides et Acoustique, UMR 5509, Ecole Centrale de Lyon
Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR 5513, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat

Direction de Thèse :

Marie-Annick Galland, LMFA, ECL, marie-annick.galland@ec-lyon.fr

Didier Dragna, LMFA, ECL, didier.dragna@ec-lyon.fr

Emmanuel Gourdon, LTDS, ENTPE, emmanuel.gourdon@entpe.fr

Contexte :

Réduire le bruit rayonné par un conduit en présence d'un écoulement est un problème rencontré dans de nombreuses applications industrielles. C'est par exemple le cas des nacelles de turboréacteur, de conduite d'échappement, de système de ventilation, ... Dans certains cas le niveau sonore généré dans le conduit peut être très intense (jusqu'à 170 dB dans les nacelles). L'objectif principal de ce sujet de recherche est de définir des stratégies de contrôle efficaces pour la réduction du bruit dans ce contexte. Des revêtements métalliques (tôles perforées sur nid d'abeille par exemple) sont généralement installés en paroi, mais d'autres types d'absorbants sont à l'étude, tels que des milieux périodiques, des métamatériaux capables de bloquer la transmission dans une gamme de fréquences spécifique. Ces structures passives peuvent également être combinées avec des moyens actifs pour augmenter leur efficacité.

Afin de concevoir ces revêtements, la propagation acoustique dans un tel conduit doit être décrite avec précision. Cependant, les études les plus récentes supposent que la propagation reste linéaire et que le comportement du revêtement est également linéaire. En réalité, il existe différentes sources de non-linéarités :

- Pour des niveaux de pression acoustique élevés, la propagation n'est pas linéaire et les fronts d'onde ont tendance à s'accroître au cours de leur propagation. Pour les fréquences d'intérêt entre 500 et 3500 Hz, la distance de formation du choc est d'environ un mètre et donc comparable à la taille des installations. On s'attend alors à ce que les effets non linéaires soient importants.

- Le comportement acoustique des revêtements dépend de l'amplitude de la pression acoustique, pour des niveaux de pression acoustique (SPL) de 110-120 dB, même si la propagation est essentiellement linéaire pour de tels niveaux. Le comportement (impédance, absorption...) non linéaire de ces revêtements peut conduire à des réponses acoustiques non classiques (non périodiques par exemple) avec des effets importants dans le transitoire menant à des effets indésirables ou au contraire permettant d'augmenter la dissipation comme montré dans [4] pour des résonateurs d'Helmholtz soumis à des forts niveaux.

Thèse :

L'étude des effets non-linéaires rencontrés dans la propagation des ondes acoustiques dans un conduit traité en présence d'écoulement est donc un sujet de recherche pertinent pour une thèse. Celle-ci donnera lieu à des études numériques et expérimentales.

D'un point de vue expérimental, on utilisera le banc CAIMAN du LMFA à l'Ecole Centrale de Lyon. Celui-ci est un conduit droit de section rectangulaire, développé afin de caractériser en laboratoire les traitements acoustiques en présence d'écoulement. On peut ainsi atteindre des vitesses de l'ordre de 100 m/s. A l'heure actuelle, les techniques expérimentales employées sur le banc pour qualifier un traitement acoustique sont basées sur des hypothèses de propagation linéaire dans le conduit. Dans le cadre de la thèse, une étude bibliographique sera réalisée afin d'analyser les méthodes développées dans la littérature pour caractériser un traitement absorbant sous fort niveau acoustique.

On implémentera sur le banc CAIMAN la méthode jugée la plus pertinente avant de caractériser pour différents types de traitement et pour différentes vitesses l'effet d'un fort niveau acoustique sur leur efficacité. Les absorbants ayant un comportement non linéaire pour de forts niveaux, il conviendra d'appliquer et de développer des méthodes prenant en compte la génération d'harmoniques dues aux non linéarités

D'un point de vue numérique, on résoudra les équations d'Euler dans le domaine temporel par des méthodes de type différences finies. Lors de projets précédents, le LMFA a développé des outils numériques similaires pour prédire la propagation acoustique en conduit traité sous écoulement dans l'approximation linéaire [1] ainsi que la propagation acoustique en milieu extérieur avec de forts niveaux [2]. Un travail préliminaire a permis de développer une condition limite d'impédance non-linéaire dans le domaine temporel. Il s'agit dans la thèse d'étendre cette étude au cas d'un conduit avec écoulement, et au cas de propagation acoustique non-linéaire. Le la doctorant.e pourra également profiter des nouveaux outils analytiques développés au sein du LTDS pour l'analyse transitoire dynamique de résonateurs non linéaires [4] et appliquer les méthodes temporelles principalement développées en mécanique à l'heure actuelle. Des comparaisons seront faites avec des résultats de la littérature récente sur le sujet [3], ainsi que par l'utilisation d'autres codes numériques et des approches fréquentielles tels que le logiciel commercial COMSOL. Les résultats des simulations numériques pourront donc être comparés entre eux et également aux résultats expérimentaux. Des études paramétriques seront réalisées afin d'étudier finement la propagation non-linéaire en conduit traité sous écoulement.

Références :

- [1] Troian R., Dragna D., Bailly C., Galland M.A., 2017, Broadband liner impedance reduction for multimodal acoustic propagation in the presence of a mean flow, *J. Sound Vib.*, 392, 200-216.
- [2] Karzova M.M., Lechat T., Ollivier S., Dragna D., Yuldashev P.V., Khokhlova V.A., Blanc-Benon P., 2019, Effect of surface roughness on nonlinear reflection of weak shock waves, *J. Acoust. Soc. Am.*, 146(5), EL438-433.
- [3] Monteghetti, F., Matignon, D., Piot, E., 2018, Energy analysis and discretization of nonlinear impedance boundary conditions for the time-domain linearized Euler equations, *J. Comp. Phys.*, 375, 393-426.
- [4] Gourdon, E., Ture Savadkoohi, A., Alamo Vargas, V. Targeted energy transfer from one acoustical mode to an Helmholtz resonator with nonlinear behavior (2018). *Journal of Vibration and Acoustics, Transaction of the ASME*, 140 (6), art. No. 061005.