

Modélisation et optimisation du rayonnement de pavillons de forme complexe

Co-encadrement :	Simon FÉLIX Chercheur, CNRS LAUM, Le Mans simon.felix@univ-lemans.fr +33 (0)2 43 83 32 13	Jean-Baptiste DOC Maître de Conférence Cnam, Paris jean-baptiste.doc@lecnam.net +33 (0)1 40 27 27 41
Laboratoire d'accueil :	<u>LAUM, CNRS UMR 6613, Le Mans Université</u> <u>Équipe Guides & Structures</u>	
Début de la thèse :	septembre 2018	
Financement :	Contrat doctoral	

Contexte La forme donnée à l'extrémité d'un guide d'onde peut aussi bien favoriser que limiter le rayonnement acoustique. Des dispositifs tels que les pavillons, les sourdines d'instruments à vent, les pièces de phase dans le domaine de l'audio ou même la bouche et les lèvres lors de la production de parole, agissent comme des moyens de contrôle passif du rayonnement d'une source acoustique. Longtemps obtenu de manière empirique, le dimensionnement de la géométrie de sortie d'un guide est donc une question importante, aux applications nombreuses [1-6], et nécessitant donc des moyens de modélisation adaptés. S'il est aujourd'hui possible de décrire et de quantifier précisément la propagation dans des guides d'ondes et conduits de complexité croissante [7-9], la modélisation du rayonnement à l'extrémité reste en revanche une question encore ouverte. La plupart des solutions proposées reposent sur des approximations fortes (grande longueur d'onde [10]), des situations largement idéalisées (conduit cylindrique infini, d'épaisseur nulle [11] ou débouchant dans un écran infini [12,13]), ou des résolutions numériques directes par éléments finis ou de frontière, peu propices à l'analyse physique ou à la mise en place de méthodes d'optimisation. Or, que le rayonnement soit souhaité (musique, audio, parole) ou non (turboréacteurs, circuits de ventilation, ...), un enjeu scientifique et technologique majeur commun à toutes ces problématiques est le contrôle de ce rayonnement, pour limiter les nuisances sonores ou favoriser l'émission de sons dans des directions privilégiées.

Travail proposé Le premier axe de travail de la thèse concernera la modélisation du rayonnement, suivant une approche adaptée au cadre de la formulation multimodale de la propagation dans un guide d'onde. Ce modèle s'appuiera sur un travail préliminaire déjà réalisé pour un guide d'onde cylindrique. Il s'agira d'étendre cette solution à des configurations où le guide n'est pas uniforme, soit parce que sa section ou sa courbure varie, soit parce que la géométrie de son extrémité ouverte est de forme complexe. Le deuxième axe de la thèse concernera l'optimisation de la géométrie de la terminaison (pavillon, pièces de phase, ...) pour le contrôle passif du rayonnement. Une étude sur les méthodes numériques d'optimisation les plus adaptées sera d'abord conduite, avant de mettre en oeuvre ces méthodes pour, par exemple, trouver la géométrie optimale d'un pavillon pour obtenir une impédance d'entrée ou un diagramme de directivité donnés. Conjointement à ces travaux sur la modélisation et l'optimisation du rayonnement seront menés des travaux expérimentaux de caractérisation et de validation, notamment au moyen de techniques d'antennerie acoustique.

Références [1] S. Sinayoko *et coll.*, J. Acoust. Soc. Am. **127**, 2159 (2010). [2] W. Duan, R. Kirby, J. Acoust. Soc. Am. **131**, 3638 (2012). [3] B. Kolbrek, U. P. Svensson, Acta Acust. united Ac. **101**, 760 (2015). [4] P. Eveno *et coll.* Acta Acust. united Ac. **98**, 158 (2012). [5] R. Blandin *et coll.*, Acta Acust. united Ac. **102**, 918 (2016). [6] T. Yoshinaga *et coll.*, J. Sound Vib. **411**, 247 (2017). [7] S. Félix *et coll.*, J. Acoust. Soc. Am. **137**, 1274 (2015). [8] S. Félix *et coll.*, Wave Motion **54**, 1 (2015). [9] J.-B. Doc *et coll.*, Wave Motion **67**, 55 (2016). [10] F. Silva *et coll.*, J. Sound Vib. **322**, 255 (2009) et ref citées. [11] A. Snakowska *et coll.*, J. Sound Vib. **396**, 325 (2017). [12] W. E. Zorumski, J. Acoust. Soc. Am. **54**, 1667 (1973). [13] J. Kemp *et coll.*, Acta Acust. united Ac. **87**, 11 (2001).

Modeling and optimization of the radiation from complex-shaped horns

Supervisors:	Simon FÉLIX Research scientist, CNRS LAUM, Le Mans simon.felix@univ-lemans.fr +33 (0)2 43 83 32 13	Jean-Baptiste DOC Assistant Professor Cnam, Paris jean-baptiste.doc@lecnam.net +33 (0)1 40 27 27 41
Laboratory:	<u>LAUM, CNRS UMR 6613, Le Mans Université</u> Team <u>Guides & Structures</u>	
Beginning:	September 2018	
Funding:	Doctoral School	

Context: The shape of the open end of a waveguide can either enhance or reduce the acoustic radiation from this waveguide. Devices such as horns, wind instrument mutes, phase plugs or even the mouth and lips in speech production, act as passive means for controlling the radiation from an acoustic source. The design of the output geometry of a waveguide is therefore an important question, with many different applications [1-6], and thus requiring an adapted and accurate modeling. Nowadays, accurate solutions exist to solve the wave propagation problem in waveguides with complex geometry, boundary conditions or filling medium [7-9]. However, despite its practical importance, the modeling of the radiation from an open-ended waveguide remains largely an open question. Most of the proposed solutions are based on strong assumptions (long wavelength [10]) or strongly idealized situations, such as a zero thickness duct wall [11] or an infinite flange [12,13]. Direct numerical simulations with, *e.g.*, finite or boundary elements or finites differences, can of course be used, but they are not very conducive to physical insight or to the implementation of optimization methods. Whether the sound radiation is wanted (music, audio systems, speech production) or not (engines, HVAC), a major scientific and technological issue is the control of the radiation, to reduce noise or to enhance the acoustic emission of sources in chosen and privileged directions.

Description: The first objective will concern the modeling of the radiation, adapted to the framework of the multimodal formulation of the guided wave propagation. In a first attempt to solve this problem, a solution has been proposed for the case of a cylindrical waveguide, without restrictive assumption on the wavelength or on the width of the waveguide wall, contrary to many of the former works on the subject. This approach will be extended to cases where the waveguide is no longer uniform, either because its cross-section or curvature is varying, or because its open end is complex-shaped. This theoretical work, joint with experimental investigations and validations, will aim at providing a relevant numerical tool to analyze realistic configurations and to perform a control or optimization of the geometry. A second part of the PhD thesis will concern the optimization of the open-end geometry (horn, phase plug, ...) for a passive control of the radiation. A study of the most adapted optimization methods will be conducted, and these methods will be implemented to study selected practical problems as, *e.g.*, the design of an optimal horn shape from a given input impedance or directivity pattern.

References [1] S. Sinayoko *et al.*, J. Acoust. Soc. Am. **127**, 2159 (2010). [2] W. Duan, R. Kirby, J. Acoust. Soc. Am. **131**, 3638 (2012). [3] B. Kolbrek, U. P. Svensson, Acta Acust. united Ac. **101**, 760 (2015). [4] P. Eveno *et al.* Acta Acust. united Ac. **98**, 158 (2012). [5] R. Blandin *et al.*, Acta Acust. united Ac. **102**, 918 (2016). [6] T. Yoshinaga *et al.*, J. Sound Vib. **411**, 247 (2017). [7] S. Félix *et al.*, J. Acoust. Soc. Am. **137**, 1274 (2015). [8] S. Félix *et al.*, Wave Motion **54**, 1 (2015). [9] J.-B. Doc *et al.*, Wave Motion **67**, 55 (2016). [10] F. Silva *et al.*, J. Sound Vib. **322**, 255 (2009) and cited refs. [11] A. Snakowska *et al.*, J. Sound Vib. **396**, 325 (2017). [12] W. E. Zorumski, J. Acoust. Soc. Am. **54**, 1667 (1973). [13] J. Kemp *et al.*, Acta Acust. united Ac. **87**, 11 (2001).