

## Descriptif du sujet de thèse et des enjeux scientifiques

Le sujet concerne l'*identification par méthode inverse en régime temporel de l'impédance acoustique de parois*. Plus précisément, la condition d'impédance de paroi permet de modéliser la réponse d'une paroi vis-à-vis de la propagation d'ondes, avec comme application les matériaux utilisés pour absorber les ondes acoustiques ("liners" acoustiques, utilisés notamment sur les parois des turboréacteurs d'avion). Des recherches récentes (thèse ONERA/DGA de Florian MONTEGHETTI, prix du doctorant Mécanique des Fluides et Energétique de l'ONERA en 2018, codirigée par D. Matignon et E. Piot, voir notamment [1], [2], [3], [4]) ont montré que les modèles acoustiques d'impédance dans le domaine temporel nécessitent l'utilisation de dérivées fractionnaires d'une part, et de retard d'autre part. Pour représenter efficacement puis simuler numériquement le champ acoustique solution du problème, il est pertinent de passer par des Equations aux Dérivées Partielles de type parabolique pour la partie en dérivées fractionnaires, et de type hyperbolique pour le système à retard : on obtient ainsi un système d'EDP couplées à étudier, certes plus volumineux en apparence, mais beaucoup plus simple à résoudre que celui de départ, posé avec la condition aux limites d'impédance. Ainsi il devient possible de traiter des problèmes d'optimisation de bruit émis ou des problèmes inverses pour modéliser les impédances acoustiques.

Les travaux menés jusqu'à maintenant se sont basés sur des lois d'impédance dont on connaissait la formulation analytique dans le domaine fréquentiel, à partir des paramètres géométriques des matériaux constituant la paroi (épaisseur, diamètre des perforations etc...). Or pour certains types de paroi (matériaux poreux, conditions d'injection des chambres de combustion...) cette connaissance a priori n'est pas disponible. On se propose donc dans cette thèse de trouver les caractéristiques intrinsèques à la loi d'impédance de la paroi en résolvant un problème inverse dans le domaine temporel, visant à minimiser l'écart entre les résultats de la simulation numérique et un jeu de données expérimentales. Ce processus d'identification devra permettre la quantification des incertitudes (UQ), afin de pouvoir tenir compte des incertitudes inhérentes aux données expérimentales. On s'appuiera sur le savoir-faire développé à l'ONERA depuis plusieurs années pour l'identification de lois d'impédance et des incertitudes associées, en régime fréquentiel (thèse de Rémi Roncen en 2018, au sein du Département Multiphysique pour l'Energétique - DMPE, voir [5], [6], [7], [8]). L'extension de ces méthodes au régime temporel permettra d'élargir leur champ d'application et d'obtenir des conditions aux limites directement utilisables dans les codes de simulations numériques avancés qui fonctionnent en domaine temporel. Dans la littérature il y a de très nombreuses équipes qui développent des techniques d'identification d'impédance acoustique en régime fréquentiel, mais à notre connaissance une seule équipe a récemment mis en place une méthode en temporel. C'est l'équipe autour de Didier Dragna à l'ECL, qui a publié ses premiers résultats sur ce sujet, appliqués aux liners acoustiques standards, en 2017 [9]. Pour les matériaux poreux, même les travaux d'identification les plus récents sur le sujet (voir [10]) travaillent dans le domaine fréquentiel. Les travaux menés au cours de la thèse, à l'interface entre les thématiques acoustique et mathématiques appliquées, s'appuieront fortement sur les différents savoir-faire développés au sein de l'équipe Mathématiques Appliquées (MA) au Département d'Ingénierie des Systèmes Complexes (DISC) de l'ISAE-Supaéro : en Contrôle, Analyse et Simulation des systèmes d'Equations aux Dérivées Partielles d'une part, et en

Problèmes Inverses, Identification et Propagation d'Incertitudes d'autre part (voir [11] [12]); ces deux volets complémentaires apparaissent tant en enseignement par des cours avancés du domaine de troisième année Systèmes complexes et Simulation (SXS) qu'en recherche avec des contributions de nature à la fois théoriques et applicatives (projet ANR, contrats industriels).

## Direction de thèse et laboratoire d'accueil

La thèse se déroulera au sein du département DISC de l'ISAE-Supaéro. Elle sera codirigée par **Denis Matignon** (ISAE/DISC, HDR en mathématiques appliquées) et **Estelle Piot** (ONERA/DMPE, HDR en acoustique et mécanique des fluides). La collaboration entre l'ONERA et l'ISAE-Supaéro sur la modélisation et la simulation des modèles d'impédance dans les liners acoustiques, initiée en 2015 avec le lancement de la thèse de Florian Monteghetti, est fructueuse, avec des applications aéronautiques ciblées. La première thèse codirigée a déjà donné lieu à 3 articles de revue publiés, 4 articles de conférences internationales parus et un nouvel article de revue, actuellement en révision. Ce nouveau sujet de thèse permettra de continuer à progresser sur la problématique des Conditions aux Limites de type Impédance exprimées dans le Domaine Temporel (TDIBC) et leur identification à partir de jeux de données expérimentales acquises dans les domaines fréquentiel ou bien temporel. L'application envisagée vise l'identification des paramètres physiques de liners acoustiques dont l'impédance réaliste peut être représentée par des modèles comportant des dérivées fractionnaires (et plus généralement, des EDP de diffusion) et des retards (vus au travers d'EDP de transport) ; ce processus d'identification devra permettre la quantification des incertitudes (UQ). Cette approche s'insère tout naturellement dans la thématique Contrôle, Analyse et Simulation des systèmes d'Equations aux Dérivées Partielles développée par le groupe de Mathématiques Appliquées (MA) du Département DISC de l'ISAE-Supaéro.

## Bibliographie

- [1] F. Monteghetti, Analysis and Discretization of Time-Domain Impedance Boundary Conditions in Aeroacoustics, Université de Toulouse: ISAE-Supaero, PhD., 2018.
- [2] F. Monteghetti, D. Matignon, E. Piot and L. Pascal, "Design of broadband time-domain impedance boundary conditions using the oscillatory-diffusive representation of acoustical models," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 140, no. 3, p. 1663–1674, 2016.
- [3] F. Monteghetti, G. Haine and D. Matignon, "Stability of linear fractional differential equations with delays: a coupled parabolic-hyperbolic PDEs formulation," *IFAC PapersOnline*, vol. 50, no. 1, pp. 13282-13288, July 2017.
- [4] F. Monteghetti, D. Matignon and E. Piot, "Energy analysis and discretization of nonlinear impedance boundary conditions for the time-domain linearized Euler equations," *Journal*

*of Computational Physics*, vol. 375, pp. 393-426, 2018.

- [5] R. Roncen, *Modélisation et Identification par Inférence Bayésienne de Matériaux Poreux Acoustiques en Aéronautique*, Université de Toulouse: ISAE-Supaero, PhD., 2018.
- [6] R. Roncen, Z. E. A. Fellah, F. Simon, E. Piot, M. Fellah, E. Ogam and C. Depollier, "Bayesian inference for the ultrasonic characterization of rigid porous materials using reflected waves by the first interface," *the Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 144, no. 4, pp. 210-221, 2018.
- [7] R. Roncen, Z. E. A. Fellah, D. Lafarge, E. Piot, F. Simon, E. Ogam, M. Fellah and C. Depollier, "Acoustical modeling and Bayesian inference for rigid porous media in the low-mid frequency regime," *the Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 144, no. 6, pp. 3084-3101, 2018.
- [8] R. Roncen, Z. E. A. Fellah, E. Piot, F. Simon, E. Ogam, M. Fellah and C. Depollier, "Inverse identification of a higher order viscous parameter of rigid porous media in the high frequency domain," *the Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 145, no. 3, pp. 1629-1639, 2019.
- [9] R. Troian, D. Dagna, C. Bailly and M. A. Galland, "Broadband liner impedance reduction for multimodal acoustic propagation in the presence of a mean flow," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 392, pp. 200-216, 2017.
- [10] M. Niskanen, O. Dazel, J.-P. Groby, A. Duclos and T. Lähivaara, "Characterising poroelastic materials in the ultrasonic range - A Bayesian approach," *arXiv:1810.01646v1*, 4 Octobre 2018.
- [11] T. Hélie and D. Matignon, "Diffusive representations for the analysis and simulation of flared acoustic pipes with visco-thermal losses," *Mathematical models and methods in Applied Sciences*, vol. 16, no. 4, pp. 503-536, 2006.
- [12] G. Garcia and J. Bernussou, "Identification of the dynamics of a lead acid battery by a diffusive model," *ESAIM Proceedings*, vol. 5, pp. 87-98, 1998.