

Thèse LMFA/LTDS:

Linéaires Adaptatifs à base d'un réseau de résonateurs non linéaires réalisés par le contrôle de l'impédance de membranes de HP

Sujet:

Avec des exigences de plus en plus grandes en matière de confort vibratoire et acoustique, la lutte contre la gêne occasionnée par les nuisances sonores et vibratoires dans le génie civil, le bâtiment, les transports et l'industrie, correspond à une demande très forte de la part des différents acteurs socio-économiques. En effet, avec l'augmentation des nuisances sonores liées à l'activité humaine (transports, machines, sonorisations....) et l'élévation des exigences de confort et de santé, la réduction du bruit est un enjeu majeur. Le traitement à la source étant souvent impossible, il est important de pouvoir atténuer le son sur le chemin de propagation ou à la réception. Dans ce contexte, l'amélioration des dispositifs absorbants acoustiques est un enjeu important. Les systèmes passifs dissipatifs classiques tels que les matériaux poreux courants (laines, mousses) ou écrans acoustiques, qui consistent à placer un matériau absorbant sur le trajet de l'onde à absorber, sont efficaces pour réduire le bruit aux hautes fréquences mais ces dispositifs restent généralement relativement volumineux. De plus, ils sont généralement très peu performants à basses fréquences, là où l'énergie émise par les sources peut être relativement importante. En effet, de nombreux spectres de bruit rencontrés dans la pratique, comme par exemple le trafic routier, ou bien encore le bruit solidien induit par des organes moteurs d'un véhicule, présentent une énergie importante dans les basses fréquences. Celles-ci induisent également une gêne importante chez l'homme. Aux basses fréquences, les solutions sont rares.

Pour répondre à cette problématique, l'une des meilleures solutions actuelles pour couper les résonances consiste à coupler le lieu traité avec un autre système résonant linéaire qui sert d'absorbeur (Absorbeurs Dynamiques Accordés [ADA] dits de Frahm, résonateurs de Helmholtz). L'inconvénient est que ces systèmes ne traitent qu'une seule fréquence précise. C'est un premier verrou à lever.

Des stratégies non-linéaires ont été récemment proposées par le LTDS pour améliorer les performances des ADAs. Ainsi, le phénomène de localisation non linéaire peut constituer une alternative intéressante car il peut également permettre d'absorber les vibrations ou le son de manière plus efficace sur une plus large bande fréquentielle à très basses fréquences. En effet, il a déjà été montré en mécanique (par exemple [1]) qu'ajouter un système non linéaire à un système primaire que l'on voulait contrôler, pouvait donner naissance à des comportements nouveaux que l'on peut exploiter pour la réduction des vibrations. On peut faire apparaître un mode localisé dans cette petite structure attachée non linéaire où l'énergie est ensuite atténuée. Grâce à la nonlinéarité, le transfert de l'énergie vibratoire peut être irréversible. On parle alors de «pompage d'énergie». Nous nous proposons d'appliquer ce concept de transfert non linéaire pour absorber efficacement l'énergie acoustique sur une large gamme fréquentielle en réalisant la nonlinéarité requise de façon purement acoustique qui va s'accorder avec autonomie sur n'importe quel système linéaire auquel il serait couplé.

En acoustique, les absorbeurs dynamiques découlent essentiellement du principe du résonateur de Helmholtz et sont donc principalement linéaires. De plus, la nonlinéarité est la plupart du temps réalisée sous forme mécanique : ressorts, membranes qui vibrent. Par exemple, [2] au LMA ont développé une fine membrane circulaire visco-élastique (équipée d'un système de contrôle de rayon et de la précontrainte) comme oscillateur non-linéaire cubique pour contrôler un mode acoustique. Le phénomène peut donc être appliqué en acoustique avec succès. Il faut cependant souligner que les modes acoustiques atténués sont à très basses fréquences (proches de 100Hz) car l'absorbeur non linéaire est réalisé de façon mécanique. Un absorbeur non linéaire purement acoustique permettrait d'appliquer le même phénomène en basses fréquences mais pour des fréquences plus courantes (100-2000Hz) du domaine audible en acoustique.

Pour lever ce verrou scientifique, il peut s'avérer pertinent de détourner des haut-parleurs de leur qualité première de diffuseur du son, et de les transformant en « absorbeurs électroacoustiques », comme solution technique pour réaliser le comportement non linéaire acoustique souhaité. Ce

concept peut par exemple mettre en œuvre un haut-parleur en enceinte close connecté à une charge électrique dédiée, qui permet d'adapter l'impédance acoustique. **L'idée générale de ce concept est de contrôler l'impédance acoustique d'une membrane et a fait l'objet de nombreux développements au LMFA.** Ces absorbeurs électroacoustiques sont simplement des haut-parleurs en enceinte close, dont la dynamique mécanique peut être altérée en leur connectant une charge électrique appropriée. Cette charge peut soit être un simple dipôle électrique passif (au lieu des systèmes RLC classique on pourrait créer un système avec multiplicateurs pour recréer électroniquement la dissipation électronique sous forme non linéaire comme effectué en électronique par [3]), ou bien un dispositif de contrôle actif d'impédance acoustique utilisant des contre-réactions sur des grandeurs acoustiques mesurées devant la membrane. La nature résonante de la membrane du haut-parleur est alors artificiellement modifiée pour devenir un résonateur acoustique actif, où ses propriétés d'absorption acoustique sont contrôlées. Ainsi, la faculté du haut-parleur à absorber l'énergie acoustique peut être significativement améliorée en modifiant le facteur de qualité de sa résonance naturelle autour de sa résonance mécanique, où la membrane est essentiellement résistive. Le contrôle consiste donc principalement à ajouter des pertes électriques par le biais de techniques passives (shunt résistif utilisé par exemple à l'heure actuelle) ou semi-actives (contrôle direct d'impédance acoustique). En outre, le choix du transducteur se porte naturellement vers des haut-parleurs électrodynamiques à bobine mobile pour plusieurs raisons : sa disponibilité immédiate, son coût relativement faible, et ses propriétés électromécaniques qui favorisent le contrôle par des résistances autour de la résonance mécanique, permettant de modifier la dynamique du transducteur de manière relativement simple.

On se propose ainsi dans cette thèse d'adapter numériquement l'impédance de la membrane du haut-parleur en fonction de la vitesse de l'onde acoustique incidente : l'objectif étant de contrôler l'impédance électrique pour recréer la nonlinéarité acoustique voulue (système durcissant quand la vitesse de l'onde incidente croît). On essaiera ainsi de créer un réseau de résonateurs non linéaires grâce à des liners de haut-parleurs dont on contrôle l'impédance de la membrane à l'image de ce qui a été fait dans [5] mais cette fois-ci avec un comportement non linéaire durcissant de la membrane. On utilisera une nouvelle technologie permettant d'appliquer une impédance synthétique en tête de haut-parleur pour contrôler numériquement l'opérateur d'impédance électrique [7][8]. Cette implémentation numérique du contrôle semi-actif permet une plus grande adaptabilité et la possibilité d'appliquer des stratégies de contrôle non-linéaire très variées.

Dans cette thèse, l'étudiant se focalisera ainsi sur l'étude d'un réseau de résonateurs non linéaires réalisés par le contrôle de l'impédance de membranes de HP pour la réduction des sons indésirables. Après une étude bibliographique sur la localisation non linéaire, sur les absorbeurs non linéaires et sur les absorbeurs électroacoustiques, la thèse consistera dans un premier temps à montrer la faisabilité de ce transfert d'énergie grâce à un contrôle de l'impédance d'une membrane de HP. Des études théoriques (utilisant notamment la théorie des modes normaux non linéaires) et simulations numériques (méthode de continuation) seront menées afin de montrer le déclenchement possible du transfert irréversible en acoustique avec un résonateur non linéaire purement acoustique et de trouver les conditions optimales de fonctionnement dans un deuxième temps. Des outils de la dynamique non linéaire (modes normaux non linéaires, décomposition...) seront utilisés et développés spécialement pour le cas acoustique où les équations sont différentes des cas classiques déjà étudiés en mécanique. Afin de pouvoir envisager des applications, la robustesse sera également étudiée.

En parallèle, l'étudiant réalisera un banc de test pour les dispositifs projetés et étudiera ces dispositifs avec des modèles théoriques, des simulations numériques à réalisme croissant jusqu'à l'expérimentation sur des prototypes à créer. Les développements expérimentaux s'appuieront sur les bancs d'essais (tubes de Kundt...) dédiés à la mesure de l'efficacité d'absorbeurs de bruit présents au LMFA et au LTDS.

- | |
|---|
| <p>[1] Gourdon, E., Taylor, C., Alexander, N., Lamarque, C., et Pernot, S. Nonlinear energy pumping under transient forcing with strongly nonlinear coupling : Theoretical and experimental results. <i>Journal of Sound and Vibration</i>, 300 :522–551.</p> <p>[2] Bellet, R., Cochelin, B., Herzog, P., et Mattei, P. Experimental study of targeted energy transfer from an acoustic system to a nonlinear membrane absorber, <i>Journal of Sound and Vibration</i>, 329 (14), p 2768-2791.</p> <p>[3] Gendelman, O., Gourdon, E., et Lamarque, C.-H. (2006). Quasiperiodic Energy Pumping in Coupled Oscillators under Periodic Forcing. <i>Journal of Sound and Vibration</i>, 294 : 651–662.</p> |
|---|

- [4] Dupont, J.B., Galland, M.A. Active absorption to reduce the noise transmitted out of an enclosure. *Appl. Acoust* 70, 142-152.
- [5] Betgen, B., Galland, M.A. A new hybrid active/passive sound absorber with variable surface impedance. *Mechanical Systems and Signal Processing* 25, 1715-1726.
- [6] Collet, M., David, P., et Berthillier, M. (2009). Active acoustical impedance using distributed electrodynamical transducers. *J Acoust Soc Am*, 125(2):882-94.
- [7] M. Collet, S. Karkar, H. Lissek, M. Ouisse, M. Versaevel, Comparison of two active impedance strategies for a distributed active acoustic skin, ASME 2015 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, SMASIS2015. September 21-23, 2015, Colorado Spring, Colorado, USA.
- [8] S. Karkar, M. Collet, H. Lissek, M. Ouisse, M. Versaevel, Control strategies for a distributed active acoustic skin, InterNoise 2015, San Francisco, 9-12 August, 2015