

Projet de thèse en cotutelle 2020
Université de Sherbrooke – INSA Lyon – Naval Group

**SIMILITUDE VIBROACOUSTIQUE POUR PANNEAUX RAIDIS EXCITÉS PAR
UNE COUCHE LIMITE TURBULENTE**

Laboratoires d'accueil :

Groupe d'Acoustique de l'Université de Sherbrooke, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, J1K 2R1, Canada (<http://www.gaus.ca/>)

Laboratoire Vibrations-Acoustique, INSA Lyon, Univ Lyon

25 bis av. Jean Capelle, 69621 Villeurbanne cedex, France (<https://lva.insa-lyon.fr/>)

Encadrements et contacts :

A. Berry, Professeur, Groupe d'Acoustique de l'Université de Sherbrooke, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, J1K 2R1, Canada, +01 819 821-8000 poste 62148, alain.berry@usherbrooke.ca

L. Maxit, Maître de conférences HDR, Laboratoire Vibrations-Acoustique, INSA Lyon +33 4 72 43 62 15, laurent.maxit@insa-lyon.fr

V. Meyer, Ingénieur de recherche, NAVAL-Group Research (DCNS), Ollioules +33 4 94 11 66 27, valentin.meyer@naval-group.com

Contexte de la thèse :

Les théories de la **similitude** fournissent les conditions selon lesquelles l'état d'un système A peut être prédit par mise à l'échelle de l'état d'un système B dont les propriétés (par exemple taille, matériaux, conditions de chargement) sont distinctes de A. Un intérêt possible en vibro-acoustique est la similitude géométrique, c'est-à-dire la mise à l'échelle du comportement vibro-acoustique de grandes structures, par la mesure (plus commode) sur des structures plus petites. Ici, les relations d'échelle entre épaisseur, longueur et largeur de la structure sont éventuellement différentes. Le défi est d'assurer la mise à l'échelle simultanée des différentes échelles spatiales vibratoires et acoustiques du problème.

L'obtention de lois de similitude est directement liée à la possibilité d'écrire les équations constitutives du problème à l'aide de variables adimensionnelles. L'émergence de variables adimensionnelles pour un problème donné est régie par le théorème des Pi de Buckingham [Buckingham, 1914]. Dans la plupart des situations les lois de mise à l'échelle recherchées sont linéaires. Des lois de similitude existent depuis longtemps en mécanique des fluides, et dans une moindre mesure en **structures** (comportement statique et dynamique, résistance à l'impact, rupture). Plusieurs volumes de référence existent sur la similitude structurale, par ex. [Goodier, 1950]. Même dans la littérature récente, les structures traitées restent simples - poutres ainsi que plaques et coques éventuellement raidies. [Soedel, 1971] est l'une des premières études sur la similitude pour les vibrations de coques. [Casaburo,

2019] fournit une revue très complète des travaux récents sur la similitude structurale.

Les lois de similitude sont utilisées depuis longtemps en **acoustique** des salles, par l'utilisation de mesures sur des maquettes à échelle réduite (technique rendue aujourd'hui désuète par la simulation numérique). La difficulté principale de la similitude en acoustique des salles est la mise à l'échelle correcte des phénomènes d'absorption [Jeon, 2009].

Dans le domaine de la **vibro-acoustique**, l'essentiel des travaux sont issus de l'université Federico II de Naples et ont donné lieu à l'approche SAMSARA (Similitude and Asymptotic Models for Structural-Acoustic Research Applications) [De Rosa et al, 2011, 2012, 2015a; Petrone et al, 2017]. Alors que les phénomènes vibratoires peuvent être mis à l'échelle de façon relativement simple, les phénomènes vibro-acoustiques sont plus complexes. Dans le cas de coques ou de plaques couplées à une cavité interne, la similitude exacte est possible seulement si les modes acoustiques et structuraux se mettent à l'échelle de façon identique [De Rosa et al, 2012]; donc, épaisseur et dimensions de la structure doivent être mises à l'échelle de façon identique. Selon les auteurs, "This point needs to be better investigated".

En outre, quelques difficultés sont à considérer pour la similitude vibratoire: les conditions aux limites de la structure sont identiques, ainsi que l'amortissement. Par ailleurs le cas de structures raidies reste à étudier de façon plus complète; une prise en compte des raidisseurs par une approche d'homogénéisation permet une similitude exacte mais ceci reste une approximation [De Rosa, 2015b]. La réponse vibratoire de plaques simples sous excitation couche limite turbulente a été récemment étudiée conjointement par les chercheurs de Sherbrooke et de Naples [Franco, 2019]: la mise à l'échelle des autospectres ou des interspectres spatiaux de réponse vibratoire est possible pour une excitation spatialement corrélée à condition de mettre à l'échelle la vitesse de l'écoulement. Enfin, les chercheurs du GAUS ont établi récemment les conditions rigoureuses pour la mise à l'échelle de l'ensemble des indicateurs vibratoires et acoustiques dans le cas d'une plaque orthotrope rayonnant en fluide léger [Berry, 2019]. Ceci constitue la première étape pour explorer la similitude de structures rayonnant en fluide lourd.

Sujet de la thèse :

La thèse proposée sera menée en co-tutelle entre le Laboratoire Vibrations Acoustique de l'INSA Lyon (encadrant : Laurent Maxit) et le Groupe d'Acoustique de l'Université de Sherbrooke (encadrant : Alain Berry) et en collaboration avec Naval Group. Le projet de doctorat étudiera la possibilité d'appliquer des lois de similitude pour le rayonnement acoustique de panneaux plans raidis excités par une couche limite et couplés à un fluide lourd. Les quantités d'intérêt seront la réponse vibratoire locale ou moyennée spatialement, la directivité du rayonnement et la puissance acoustique rayonnée. La réponse vibratoire de panneaux raidis et la prise en compte du couplage fluide – structure seront étudiés séparément, par des approches de

simulation analytique ou numérique, pour faire émerger des lois de similitude exactes ou approchées. Des expériences seront menées dans la soufflerie anéchoïque à Sherbrooke pour vérifier les lois de similitude géométrique sur quelques panneaux rayonnant dans l'air.

Profil du candidat recherché

Le candidat (titulaire d'un Master Recherche ou d'un diplôme d'Ingénieur) devra avoir un **goût prononcé pour la modélisation de phénomènes physiques et l'expérimentation** et posséder des **compétences en acoustique et/ou en mécanique des milieux continus** (mécanique des solides, dynamique des structures, vibrations).

Références

- Berry, A. et al, 2019, "Similitude for sound radiation of panels", document interne.
- Buckingham, E., 1914. "On physically similar systems, illustrations of the use of dimensional equations". *Physical review*, 4(4), pp. 345-376.
- Casaburo, A. et al, 2019. "A review of similitude methods for structural engineering". *Applied Mechanics Review*, 71(3): 030802 (32 pages)
- De Rosa, S. et al, 2011. "Structural similitudes for the dynamic response of plates and assemblies of plates". *Mechanical Systems and Signal Processing*, 25, pp. 969-980.
- De Rosa, S. et al, 2012. "A similitude for structural acoustic enclosures". *Mechanical Systems and Signal Processing*, 30, pp. 330-342.
- De Rosa, S. et al, 2015a. "Similitudes for structural response of flexural plates". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C, Journal of Mechanical Engineering Science*, 230(3).
- De Rosa, S. et al, 2015b. "Analytical similitudes applied to thin cylindrical shells". *Advances in aircraft and spacecraft science*, 2(4), pp. 403-425.
- Franco F. et al., 2019. "Similitude laws for the structural response of flat plates under a turbulent boundary layer excitation", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 129, pp. 590-613.
- Goodier, J. N., 1950. *Dimensional analysis*. John Wiley and Sons, New York.
- Jeon, J.Y. et al, 2009, « Influence of absorption properties of materials on the accuracy of simulated acoustical measures in 1:10 scale model test », *Applied Acoustics*, 70(4), 615-625.
- Petrone, G. et al, 2017. "Structural similitudes of stiffened cylinders". *Mathematics and Mechanics of Solids*. <https://doi.org/10.1177/1081286517745722>.
- Soedel, W., 1971. "Similitude approximations for vibrating thin shells". *The Journal of Acoustical Society of America*, 49(5 (Part 2)).