



## Proposition de thèse de doctorat 2014-2017 en Acoustique et Vibrations

### « Synthèse d'excitations aléatoires par antenne synthétique pour la caractérisation vibro-acoustique de parois complexes »

#### Encadrement et Contacts

L. Maxit, Laboratoire Vibrations-Acoustique (LVA) de l'INSA de Lyon, FRANCE  
+33 4 72 43 62 15, laurent.maxit@insa-lyon.fr

A. Berry, Groupe Acoustique de l'Université de Sherbrooke (GAUS), CANADA  
+01 819 821-8000 poste 6214, Alain.Berry@USherbrooke.ca

#### Financement

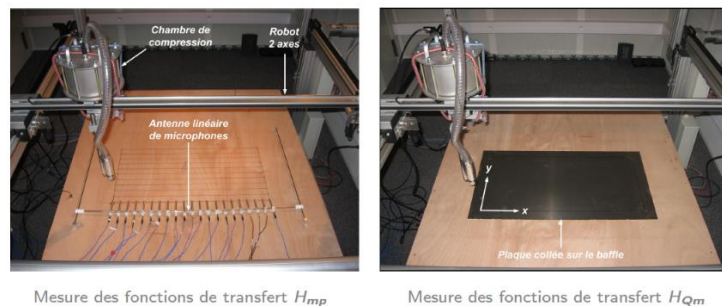
Bourse du laboratoire d'excellence CeLyA en cotutelle entre l'INSA de Lyon et l'université de Sherbrooke. La thèse se déroulera sur Lyon avec un séjour d'environ 1 an à Sherbrooke (canada).

#### Contexte et sujet de la thèse

La caractérisation expérimentale de la réponse vibro-acoustique de structures excitées par des champs de pression aléatoires est d'un grand intérêt pour les industriels. Dans le domaine des transports (automobile, aéronautique, ferroviaire, etc), ce type d'excitations aléatoires se rencontre par exemple lorsqu'un écoulement turbulent se développe en paroi du véhicule en mouvement [1]. Dans le domaine du bâtiment, il correspond à l'excitation normative qu'est le champ acoustique diffus. La caractérisation de structures industrielles vis-à-vis de ce type d'excitations nécessite des moyens expérimentaux qui peuvent être très coûteux (i.e. tunnel aérodynamique, essais en vol, chambre réverbérante) dont il est difficile de maîtriser tous les paramètres physiques (i. e. bruit de fond, température, homogénéité du champ, etc). La reproductibilité des mesures peut alors être remise en cause, ce qui rend difficile la comparaison de différentes solutions technologiques. Il est donc d'un intérêt considérable de disposer d'un outil de laboratoire permettant de reproduire des excitations aléatoires dans un environnement qui peut être contrôlé. Dans ce contexte, il s'est développé depuis ces dernières décennies des techniques permettant de générer en temps réel des champs synthétisés à partir de réseaux de sources (haut-parleurs). La difficulté majeure qui apparaît dans ces techniques est le nombre de sources à contrôler qui devient vite prohibitif lorsque l'on souhaite synthétiser des excitations avec de très faibles longueurs de corrélation [2]. Pour contourner cet obstacle, le principe de l'antenne synthétique utilisée notamment dans la chasse aux mines en acoustique sous-marin a été appliqué à la synthèse de champs. A partir d'une seule source acoustique et d'opérations de post-traitements des informations mesurées, le principe permet de reconstituer la réponse du système

sollicité. L'excitation aléatoire n'est alors plus représentée en temps réel mais une « grande » résolution de l'excitation peut être obtenue à partir d'une seule source. Trois approches différentes basées sur ce principe ont été développées ces 5 dernières années :

- La première (SST, Source Scanning Technique, [3-5]) repose sur une formulation du problème vibro-acoustique dans les nombres d'onde. Le champ exciteur est alors décomposé en ondes planes pariétales qui sont générées par l'antenne synthétique ;
- La seconde (WFS, Wave Field Synthesis, [6,8]) repose sur la synthèse de champs directement à partir des fonctions de corrélation dans le domaine spatial ;
- La dernière (P-NAH, Planar Nearfield Acoustical Holography, [7,8]) consiste à rétropropager le champ exciteur pour en déduire le champ à générer suivant le principe de l'holographie champ proche.



*Illustration de la mise en œuvre de l'antenne synthétique [3]*

Ces méthodes ont été développées par deux équipes différentes, l'une au LVA (Laboratoire Vibrations-Acoustique) de l'INSA de Lyon, l'autre au GAUS (Groupe d'Acoustique de l'Université de Sherbrooke) au Canada. Elles ont été validées en laboratoire par des confrontations avec des simulations numériques sur des panneaux tests. Les résultats sont très prometteurs mais il reste des points à étudier/développer pour que ce type de technique, avec le moyen d'essais associé, devienne un standard de la communauté scientifique et des industriels. Ces travaux font l'objet de la thèse proposée.

Après une phase d'appropriation des méthodes qui permettra de faire le point sur les avantages et inconvénients de chacune d'entre elles, on pourra envisager de travailler sur différents aspects de ces techniques :

- Lors du développement d'une couche limite turbulente ou en présence d'un gradient de pression statique, les caractéristiques statistiques des fluctuations de pression de la couche limite varient spatialement [9]. Ce cas de figure se rencontre fréquemment dans le contexte industriel ; Or les méthodes actuelles de synthèse de champs ne permettent pas de décrire ces variations. Un travail théorique est à mener pour faire le lien entre ces excitations « inhomogènes » et la synthèse de champ par antenne synthétique. On pourra notamment s'appuyer sur les travaux de la thèse de Marion Berton qui doit être soutenue à la fin de l'année [10, 11] ;

- La synthèse de champs repose sur la connaissance des fonctions de transfert entre la source acoustique et les points d'observation sur la surface excitée. Soit ces fonctions sont préalablement mesurées, soit une hypothèse de rayonnement dans un demi-espace bafflé d'une source monopolaire peut être considérée. La mesure des fonctions de transfert permet de s'affranchir de conditions particulières sur l'environnement acoustique de l'antenne mais elle est coûteuse à réaliser. L'hypothèse de rayonnement dans un demi-espace bafflé permet de s'affranchir de ce coût de mesures mais elle peut conduire à des erreurs de biais, notamment en basse fréquence. Elle impose aussi de

travailler dans une chambre anéchoïque qui est un moyen d'essais relativement coûteux. Cet aspect lié à la mise en œuvre pratique de l'antenne synthétique doit être étudié plus en profondeur car il est crucial (i.e. lié à la fiabilité et au coût de la méthode). Les limites doivent être étudiées. Un compromis peut probablement être trouvé entre les deux alternatives (hypothèses / mesures) afin de limiter les coûts tout en conservant une bonne fiabilité. On pourra également s'intéresser à différents types d'excitation acoustique afin de proposer une antenne ayant une haute résolution spatiale, qui permettrait d'aller vers les moyennes-hautes fréquences ou se rapprocher du domaine convectif pour les excitations par couche limite turbulente. Pour acquérir les fonctions de transfert propres au principe de l'antenne synthétique, on pourra étudier l'intérêt de mesures optiques par déflectométrie ;

- Dans son application, la synthèse de champs présente un véritable intérêt pour caractériser des structures complexes de type industriel afin de tester à moindre coût différentes solutions technologiques. Elle fournit également un moyen d'analyse de la capacité de filtrage de l'excitation par la structure (notamment par la fonction de sensibilité dans l'espace des nombres d'onde). Ces atouts n'ont pas encore été mis en évidence. Ceci pourrait être fait lors d'une validation expérimentale qui consisterait à comparer les réponses de différentes structures complexes obtenues à partir de l'antenne synthèse avec celles obtenues en chambre réverbérante ou tunnel aérodynamique. Les structures complexes considérées pourront par exemple être des structures raidies telles qu'on les rencontre dans l'aéronautique. L'influence du raidissage sur la fonction de filtrage de l'excitation pourrait alors être mise en évidence. On pourrait également s'orienter vers des structures novatrices telles que les arrangements périodiques de résonateurs locaux [12] ou l'utilisation de trous noirs acoustiques [13]. Dans cette veine, on peut envisager aussi d'utiliser l'orthotropie de panneaux composites pour optimiser la filtration de l'excitation CLT (elle aussi orthotrope) par la structure.

[1] J. F. Wilby, F. L. Gloyna, Vibration measurements of an airplane fuselage structure: I. turbulent boundary layer excitation, *JSV* 23, 443 - 466 (1972)

[2] S. J. Elliott, C. Maury, P. Gardonio, The synthesis of spatially correlated random pressure fields, *JASA* 117, 1186-1201 (2005).

[3] M. Aucejo, *Vibro-acoustique des structures immergées sous écoulement turbulent*, Thèse INSA Lyon, ISAL-0077, 2010.

[4] M. Aucejo, L. Maxit, J.L. Guyader - Utilisation d'une antenne synthétique pour simuler l'effet d'une couche limite turbulente. Actes CFA 2010, Lyon, France, 2010.

[5] M. Aucejo, L. Maxit, J.L. Guyader - Experimental simulation of turbulent boundary layer induced vibrations by using a synthetic array, *Journal of Sound and Vibration*, 331 (2012) 3824–3843.

[6] A. Berry, R. Dia, O. Robin - A wave field synthesis approach to reproduction of spatially correlated sound fields, *JASA* 131, 1226 (2012)

[7] O. Robin, A. Berry, S. Moreau, Reproduction of random pressure fields based on planar nearfield acoustic holography, *JASA* 133, 3885, 2013.

[8] O. Robin, A. Berry, S. Moreau, Experimental vibroacoustic testing of plane panels using synthesized random pressure fields, *JASA* 135, 434–3445 (2014)

[9] Y. Rozenberg, G. Robert, and S. Moreau, Wall-Pressure Spectral Model Including the Adverse Pressure Gradient Effects, *AIAA Journal*, Vol. 50, No.10, pp. 2168-2179, 2012.

[10] M. Berton, D. Juvé, L. Maxit, C. Audoly - Modélisation des spectres de pression pariétale en vue de déterminer la réponse vibro-acoustique d'une structure soumise à une couche limite turbulente, Actes du 21<sup>ème</sup> Congrès Français de Mécanique, Bordeaux, France, Aout 2013

[11] M. Berton, L. Maxit, D. Juvé, C. Audoly - Réponse vibro-acoustique d'une structure excitée par une Couche Limite Turbulente : Vers la prise en compte des variations spatiales des paramètres de CLT, Actes du Congrès Français d'Acoustique, Poitiers, Avril 2014.

[12] C. C. Claeys, P. Sas, W. Desmet, On the acoustic radiation efficiency of local resonance based stop band materials, *JSV* 333 (4), 2014

[13] A. Climente, D. Torrent, J. Sánchez-Dehesa, Omnidirectional broadband acoustic absorber based on metamaterials, *Appl. Phys. Lett.* 100, 144103, 2012