

UTILISATION DE TECHNIQUES DE REPRODUCTION DE CHAMPS SONORES POUR LA SYNTHÈSE DE CHAMPS SPATIALEMENT CORRÉLÉS

Olivier ROBIN¹, Rokhiya DIA¹, Alain BERRY¹ et Stéphane MOREAU¹

¹GAUS, Université de Sherbrooke, 2500, Bd de l'Université, Sherbrooke, QC, J1H1K3, CANADA

1. INTRODUCTION

De nombreuses structures peuvent être soumises à des fluctuations de pression pariétale, souvent conséquences de leur vitesse de déplacement dans un fluide (fuselage d'avion, coque de sous-marin) et pouvant contribuer au rayonnement acoustique de la structure (bruit intérieur). Ces fluctuations sont aléatoires, de structure complexe et comportent une composante acoustique et une composante fonction de la vitesse de convection.

Quel que soit le champ aléatoire considéré, sa reproduction expérimentale et donc le test vibroacoustique de pièces mécaniques reste une tâche ardue. Celle d'un Champ Acoustique Diffus (CAD) en chambres couplées montre souvent des imperfections. La synthèse d'une Couche Limite Turbulente (CLT) parfaitement développée demande des mises en œuvre complexes et coûteuses en souffleries, qui comportent souvent des environnements acoustiques et vibratoires difficiles à maîtriser. La distinction des composantes acoustiques et convectives est également une problématique encore largement explorée, que ce soit en termes d'instrumentation ou de traitement des données de mesure [Arguillat, 2010]. La reproduction sur une surface d'une CLT dans des conditions maîtrisées a été envisagée à l'aide d'un réseau de haut-parleurs en champ proche [Bravo, 2011], ou d'une antenne synthétique [Aucejo, 2010].

Nous proposons ici deux méthodes pour la reproduction de la partie acoustique de ces champs aléatoires. Les Densités Interspectrales de Puissance (DIP) les décrivant sont utilisées pour simuler la synthèse de champs sur un plan grâce à un réseau plan de monopôles. On suppose que les champs d'intérêt peuvent être décrits par une superposition d'ondes planes. Les résultats sont analysés dans le domaine fréquence - nombre d'onde.

2. MÉTHODES DE REPRODUCTION DE CHAMPS

2.1 Wave Field Synthesis

La « Wave Field Synthesis » (WFS) est une méthode de reproduction spatiale de champs sonores qui utilise un ensemble de haut-parleurs. Cette technique est basée sur le principe de Huygens qui a comme idée de remplacer par des sources secondaires un front d'onde rayonné par une source primaire [Berkhout, 1993]. L'approche théorique consiste à utiliser l'intégrale de Kirchhoff-Helmholtz afin de définir un champ de pression sur une surface ② où les sources de reproduction sont placées à partir d'un champ de pression cible sur une surface parallèle ① (voir figure 1). Le champ

de vitesse des sources est ensuite déduit grâce à l'équation d'Euler, ce qui permet finalement de déterminer le champ de pression reconstruit avec l'intégrale de Rayleigh.

2.2 Holographie acoustique

L'holographie acoustique est une technique très répandue pour la prédiction de la pression acoustique ou de la vitesse particulière par l'intermédiaire d'une mesure de ces mêmes quantités sur une surface [Williams, 1999]. Elle est plus rarement envisagée comme une technique de reproduction, pour par exemple imposer des vitesses particulières dans un plan afin de synthétiser un champ de pression dans un autre plan. Les relations de l'holographie sont ici utilisées pour propager un champ de pression à synthétiser sur une surface de reproduction ① vers un réseau plan de sources ②, et pour définir les vitesses particulières à imposer à ces mêmes sources (voir figure 1).

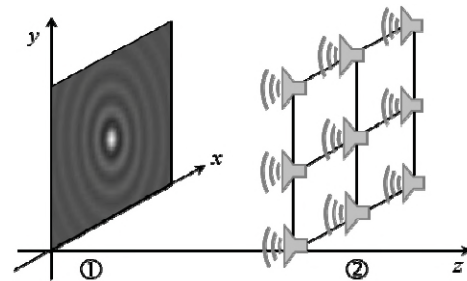


Figure 1. Schéma de principe des deux méthodes; la DIP spatiale à reproduire, sur le plan 1, est celle d'un CAD

3. CHAMPS SPATIALEMENT CORRÉLÉS

Le CAD théorique correspond à une superposition aléatoire d'ondes planes se propageant à la célérité des ondes acoustiques c_0 (nombre d'onde $k_0 = \omega/c_0$), et réparties de façon isotrope en espace (champ défini à une fréquence donnée). L'expression analytique de sa DIP spatiale et en nombre d'onde peut être trouvée dans [Arguillat, 2010].

La CLT peut être également théoriquement décrite par une superposition d'ondes planes décorréliées. Par contre, son spectre en nombre d'onde n'est pas limité au seul cercle acoustique de rayon k_0 , est fortement anisotrope et dicté par la vitesse de convection U_c . Elle définit le maximum de l'énergie d'une CLT (le pic convectif) situé en un nombre d'onde $k = k_c (= \omega/U_c)$ selon la direction de l'écoulement, ici k_x (le spectre selon k_y , direction transverse à l'écoulement, est symétrique autour de 0). Le modèle de Corcos [Corcos, 1963] est utilisé ici, dont l'expression de la DIP spatiale et en nombre d'onde sont données dans [Aucejo, 2010].

4. RÉSULTATS

Toutes les simulations sont effectuées pour une fréquence de 1000 Hz ($\lambda=0,34\text{m}$). Deux surfaces planes espacées de $\lambda/2$ sont considérées. Leurs dimensions sont égales ($[-3\lambda;3\lambda]$), et la discrétisation du plan de sources est de $\lambda/2$. La DIP de pression S_{pp} générée sur le plan de reproduction, par l'imposition de la DIP de vitesse au réseau de sources, est calculée à l'aide de l'intégrale de Rayleigh. Les figures 2 et 3 illustrent des résultats de simulation obtenus pour un CAD et une CLT (seule la direction k_x est considérée ici). La propagation est supposée se dérouler dans des conditions de champ libre.

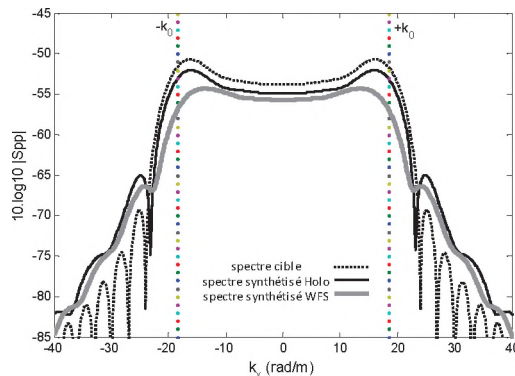


Figure 2. Reproduction d'un CAD – Comparaisons entre spectre à reproduire et spectre reproduit

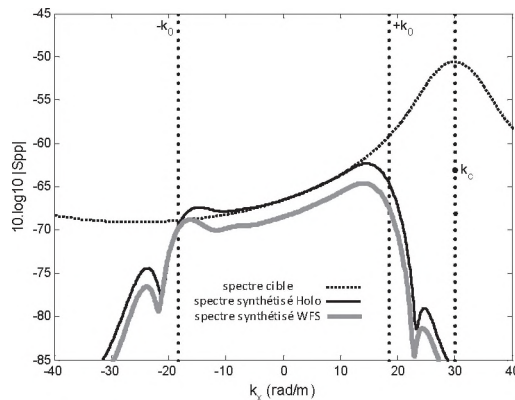


Figure 3. Reproduction d'une CLT subsonique (basée sur un modèle de Corcos – $U_c=210\text{ m/s}$)

Que ce soit pour un CAD ou une CLT subsonique, l'allure de la partie acoustique en nombre d'onde est correctement reproduite. Le cas d'une CLT supersonique a également été exploré, et fournit de bons résultats. Un point important à souligner est la reproduction des phénomènes 'souhaités' : pour le CAD, un phénomène isotrope, sans direction de propagation privilégiée; pour la CLT, un phénomène effectivement propagatif dans la direction de l'écoulement est synthétisé.

L'erreur de reproduction en amplitude est définie comme la moyenne quadratique de l'écart en valeur absolue entre

spectre à reproduire et spectre reproduit (normalisée par la valeur absolue du spectre cible). Elle est calculée dans le domaine des nombres d'onde acoustiques ($k \leq |k_0|$). Pour la reproduction d'un CAD, l'erreur de reproduction pour la WFS (holographie) est de 28,6 % (11,8 %). Dans le cas de la CLT, l'erreur de reproduction est de 30 % (10,1 %).

5. DISCUSSION ET CONCLUSION

Les résultats de simulation obtenus montrent que la reproduction dans le domaine acoustique d'un CAD ou d'une CLT fournit de bons résultats. L'allure des spectres en nombre d'onde est correctement reconstruite, et les erreurs en amplitude sont globalement comprises entre 10 et 30 % pour le cas considéré. L'holographie acoustique fournit ici des résultats sensiblement meilleurs que la WFS. Mais comparativement, l'approche WFS peut être étendue facilement à des géométries plus complexes, et demande également moins de traitements des signaux (opérations dans le domaine spatial uniquement, aucune transformée de Fourier). Nous estimons donc que les deux approches présentent un intérêt pour cette reproduction.

Un des points qui peut paraître restrictif est la limitation au domaine acoustique. Néanmoins, cela convient naturellement pour un CAD, et pourrait permettre d'éviter d'utilisation de chambre réverbérante par l'utilisation de réseau de sources face à des panneaux à tester. De plus, la possibilité de reproduire la partie acoustique dans des conditions maîtrisées permet de comparer la réponse de structures sous excitation isotrope et anisotrope, ce qui est déjà un point d'importance. D'autre part, on peut envisager de mieux analyser les contributions respectives des composantes acoustiques et convectives dans le cas d'une CLT.

RÉFÉRENCES

- Arguillat, B., Ricot, D., Bailly, C., Robert, G. (2010). "Measured wavenumber: Frequency spectrum associated with acoustic and aerodynamic wall pressure fluctuations," *J. Acoust. Soc. Am.* **128(4)**, 1647-1655.
- Aucejo, M., Maxit, L., Guyader, J.-L. (2010). "Utilisation d'une antenne synthétique pour simuler l'effet d'une couche limite turbulente," in *Proceedings 10^{ème} Congrès Français d'Acoustique* (Lyon, 12-16 avril 2010).
- Berkhout A. J., De Vries D., Vogel P., (1993). "Acoustic control by wave field synthesis," *J. Acoust. Soc. Am.* **93(5)**, 2764-2778.
- Bravo, T., Maury, C., (2011). "A synthesis approach for reproducing the response of aircraft panels to a turbulent boundary layer excitation," *J. Acoust. Soc. Am.* **129(1)**, 143-153.
- Corcos, G.M. (1963). "Resolution of pressure in turbulence," *J. Acoust. Soc. Am.* **35(2)**, 192-199.
- Williams, E.G. (1999). *Fourier Acoustics : Sound Radiation and Nearfield Acoustic Holography* (Academic Press).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le CRSNG et Bombardier Aéronautique, au travers de la chaire d'acoustique appliquée à l'aviation.