

Offre de post-doc (24 mois)

Titre : Propagation du bruit avion au niveau du sol

Encadrement : D. Dragna (MCF), didier.dragna@ec-lyon.fr

P. Blanc-Benon (DR CNRS), philippe.blanc-benon@ec-lyon.fr

Lieu : Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, UMR CNRS 5509,
Ecole Centrale de Lyon, 69134 Ecully Cedex

Début envisagé : fin année 2021 – début 2022

Ce post-doc se déroule dans le cadre du projet MAMBO et se fera en collaboration avec AIRBUS et l'UMRAE.

Présentation du contexte :

Les avions civils doivent satisfaire les normes de certification acoustique de l'OACI. Pour cela, le bruit généré par le passage d'un avion dans différentes conditions est mesuré à l'aide d'un microphone de référence placé à une hauteur de 1.2 m par rapport au sol. Le microphone reçoit donc le champ direct émis par l'avion et le champ réfléchi par le sol ; les spectres présentent alors des interférences constructives et destructives typiques. La mesure est ainsi sensible aux caractéristiques d'absorption du sol, qui peuvent varier suivant le site de certification. Afin de réduire cette variabilité, les avionneurs envisagent une mesure au sol, avec un microphone monté sur une plaque parfaitement réfléchissante. L'idée serait d'avoir une mesure indépendante du sol environnant afin d'imiter une mesure en champ libre ou tout du moins de reconstruire à partir du signal mesuré au sol le signal à 1.2 m pour un site normalisé. Des travaux récents [1,2] se sont notamment intéressés à déterminer une géométrie de la plaque permettant d'obtenir une réponse fréquentielle de la plaque la plus proche de celle d'un sol parfaitement réfléchissant.

Bien que la réponse de la plaque soit indépendante de la nature du sol environnant pour les moyennes et hautes fréquences et pour des angles d'incidence modérés, l'effet du sol demeure prépondérant en basse fréquence et pour les angles rasants. Il reste alors nécessaire de caractériser le sol ainsi que de prendre en compte celui-ci pour reconstruire le signal au microphone de référence.

Des comparaisons entre spectre mesuré à 1.2 m et reconstruit à partir de la mesure au sol et d'un modèle analytique ont montré la faisabilité de la méthode. Néanmoins, un décalage léger en fréquence des interférences prédites par le modèle peut avoir un impact important pour des sources tonales basses fréquences. L'écart observé semble dû au modèle analytique utilisé pour prendre en compte la réflexion du sol. Celui-ci est basé sur la formule Weyl-van der Pol, qui a été développée pour une source fixe dans une atmosphère homogène et au repos et qui est une approximation longue distance en incidente rasante et pour des sols relativement réfléchissants. L'utilisation de cette formule pour des sources en mouvement apparaît donc limitée. De plus, il n'est pas possible de prendre en compte des sols à réaction étendue. Enfin, les effets météorologiques (vent, gradient de température, turbulence) ne sont pas du tout modélisés.

Etat de l'art :

Le rayonnement de sources en mouvement a été largement étudiée, notamment pour des applications en bruit des transports (par exemple [3]). La prise en compte de l'effet de sol est néanmoins plus récente. On peut ainsi citer les solutions analytiques développées dans les années 1970 par Norum et Liu [4] et Oie et Takeuchi [5] pour déterminer la fonction de Green pour une source se déplaçant à hauteur et vitesse constante au-dessus d'un sol à réaction locale. L'onde de sol, qui est une contribution importante à basse fréquence, est néanmoins négligée. Une solution analytique développée par Attenborough et al. [6] corrige ce défaut ; cependant, les auteurs considèrent une impédance du sol indépendante de la fréquence. Plus récemment, Dragna et Blanc-Benon [7] ont montré l'importance de prendre en compte la variation avec la fréquence de l'impédance, notamment pour des sources se déplaçant à des nombres de Mach supérieurs à 0.3. De plus, il a été montré que la solution analytique pouvait s'écrire sous la forme d'une formule type Weyl-van der Pol, où l'impédance est évaluée à la fréquence Doppler liée à la source image. Cette étude a été poursuivie [8,9] en prenant en compte un sol à réaction non-locale.

L'utilisation de la simulation numérique pour la prédiction du rayonnement de sources mobiles à visée applicative reste pour l'instant limitée, notamment à cause du temps de calcul qui reste important pour une géométrie 3D et pour des sources moyennes-hautes fréquences. Les approches temporelles semblent pertinentes pour de tels problèmes. Des premiers calculs en résolvant les équations d'Euler linéarisées par méthodes différences finies [10] ont montré l'intérêt de l'approche et ont aussi été utilisées pour valider des solutions analytiques [7,8].

Pour des applications en ingénierie, la plupart des modèles font l'hypothèse de sources quasi-stationnaires ; le champ de pression est ainsi calculé à chaque instant à partir de la solution analytique pour une source fixe en considérant la position du couple source-récepteur au temps d'émission. Cette hypothèse s'avère suffisamment exacte pour le bruit routier (nombre de Mach proche de 0.1) mais reste limitée pour des vitesses plus importantes [6] (trains à grande vitesse ou avions à proximité des aéroports où le nombre de Mach est supérieur à 0.3). Un modèle semi-analytique est proposé dans Attenborough et al. [6] pour une trajectoire quelconque de la source. Ce modèle prend en compte l'effet Doppler sur la fréquence reçue ainsi que l'admittance effective vue par l'onde réfléchi et l'amplification convective. Un modèle similaire a été utilisé récemment par Arntzen et Simons [11] pour la synthèse sonore du bruit d'avion à proximité des aéroports mais n'a cependant pas été validé avec des comparaisons à des approches directes.

Programme de travail

Afin d'améliorer la reconstruction du signal au microphone de référence à partir du signal mesuré au sol, un modèle semi-analytique sera développé pour prédire le rayonnement acoustique d'une source harmonique le long d'une trajectoire quelconque. Ce modèle sera basé sur celui proposé par Attenborough et al. [6]. Une attention particulière sera apportée à la modélisation de l'effet de sol. On aura ainsi pour but d'étendre le modèle actuel qui ne considère qu'un sol à réaction locale pour un sol à réaction étendue, ce qui peut avoir un effet notable pour les angles rasants. On prendra soin de choisir un modèle d'impédance de la littérature pertinent. Par ailleurs, l'effet de la turbulence sur la décorrélation entre onde directe et onde réfléchi sera pris en compte. On effectuera tout d'abord un état de l'art sur les modélisations proposées dans la littérature avant d'implémenter/développer une modélisation de l'effet de la turbulence. Des cas-tests seront définis afin de valider le modèle développé et des comparaisons avec une solution numérique des équations d'Euler linéarisées par méthodes différences finies seront réalisées. On effectuera ensuite différentes simulations avec l'outil développé afin d'identifier la/les

paramètres physiques qui sont indispensables à caractériser afin d'avoir une reconstruction précise du signal à 1.2 m à partir du signal au sol.

Références

- [1] Blandeau, V., Bousquet, P., Régnier, V., 2018, Acoustic behaviour of ground plates for aircraft noise flight tests, AIAA Aviation 2018, *24th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*, 25-29 June, Atlanta, GA, USA, AIAA Paper 2018-3295, 1-18
- [2] Nesbitt, E.H., Lan, J., Hunklet, S., 2020, Microphone acoustic characteristics for aircraft flyover testing, AIAA Aviation 2020, virtual event, 15-19 June, AIAA Paper 2020-2613, 1-24.
- [3] Morse, P.M. Ingard, K.U. *Theoretical Acoustics*, McGraw-Hill, New York, 1968.
- [4] Norum, T.D., Liu, C.H., 1978, Point source moving above a finite impedance reflecting plane - experiment and theory, *J. Acoust. Soc. Am.*, 63, 1069-1073.
- [5] Oie, S., Takeuchi, R., 1981 Sound radiation from a point source moving in parallel to a plane surface of porous material, *Acustica*, 48, 123-129.
- [6] K. Attenborough, K.M. Li, K. Horoshenkov, 2007, *Predicting Outdoor Sound*, Taylor & Francis.
- [7] Dragna, D. & Blanc-Benon, P., 2015, Sound radiation by a moving line source above an impedance plane with frequency-dependent properties, *J. Sound Vib.*, 349, 259-275.
- [8] Wang, Y., Li, K.M., Dragna, D., Blanc-Benon, P., 2020, On the sound field from a source moving above non-locally reacting grounds, *J. Sound Vib.*, 464, 114975, 1-20.
- [9] Li, K.M., Wang, Y., 2020, On the three-dimensional sound fields from a moving monopole source above a non-locally reacting ground, *J. Acoust. Soc. Am.*, 147, 2581-2596.
- [10] Dragna, D., Blanc-Benon, P., 2014, Towards realistic simulations of sound radiation by moving sources in outdoor environments, *Int. J. Aeroacoustics*, 13(5-6), 405-426.
- [11] M. Arntzen, D.G. Simons, 2014, Modeling and synthesis of aircraft flyover noise, *Applied Acoustics*, 84, 99-106.