IMSIA, ENSTA Paris
828, boulevard des Maréchaux
91120 Palaiseau

Offre de stage : Caractérisation expérimentale du bruit de décrochage dynamique d'un profil d'aile en oscillation

Contexte

Le bruit rayonné par les éoliennes peut être être l'origine d'une gêne, notamment à cause des modulations d'amplitude de ce bruit. Une des causes de ces modulations d'amplitude est le décrochage dynamique sur les pales d'éolienne [1], qui s'accompagne de décollements et recollements successifs de la couche limite. Cela a été étudié récemment lors d'essais dans la soufflerie anéchoïque du LMFA dans le cadre du projet ANR PIBE (Prévoir l'Impact du Bruit des Éoliennes - `https://www.anr-pibe.com`). Des mesures ont été réalisées pour un profil d'aile symétrique (NACA 0012) et un profil d'aile cambré (NACA 63_3418) en oscillations de tangage (variations cycliques de l'angle d'attaque), ainsi qu'à différentes incidences entre 0 et 30° (conditions statiques). Dans un premier temps, des mesures de pression ont été réalisées en paroi et en champ lointain [2, 3], comme le montre la figure 1(a). En complément, des mesures synchronisées d'écoulement par PIV et de bruit ont été réalisées afin d'identifier les structures turbulentes à l'origine du bruit [4], voir figure 1(b).

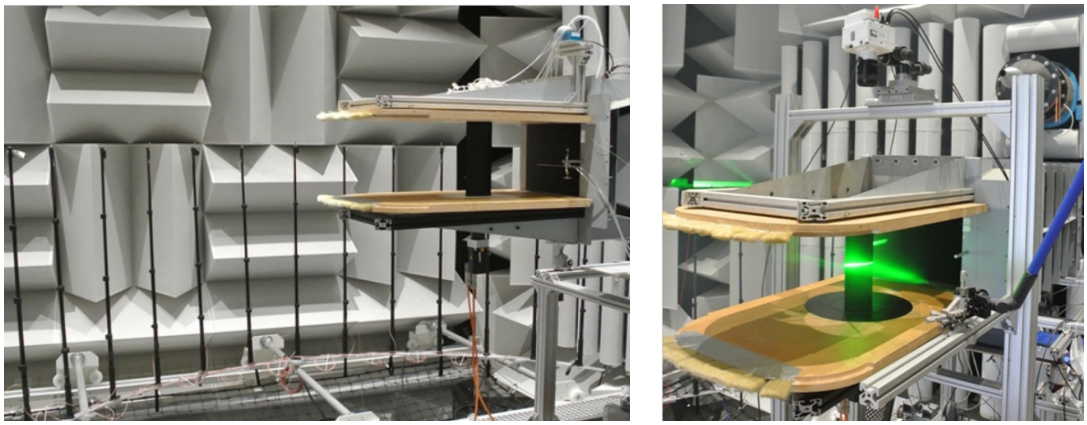


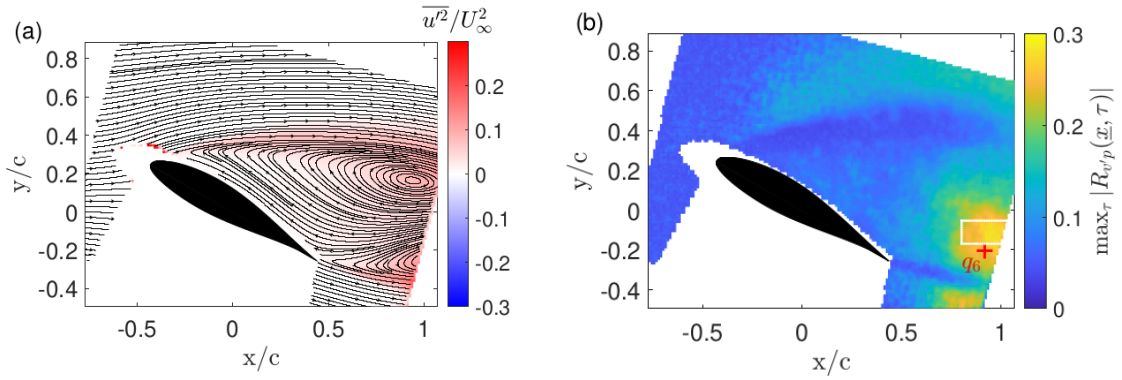
FIGURE 1 – Vue de l'expérience de décrochage dynamique dans la soufflerie anéchoïque du LMFA (a) avec le profil instrumenté de prises de pression pariétale, et (b) avec le profil non instrumenté pendant les mesures PIV.

En conditions statiques, nous avons identifié les structures turbulentes à l'origine du bruit à grand angle d'attaque à l'aide de techniques de détection de tourbillons (critère Γ_2), de corrélation entre les fluctuations de vitesse et la pression acoustique, et d'une décomposition modale de l'écoulement (SPOD). Voir figure 2 pour un angle d'attaque géométrique $\alpha_g = 30°$. En conditions dynamiques, l'analyse est plus complexe car le spectre de bruit rayonné varie rapidement lorsque l'angle d'attaque change, et dépend de la fréquence d'oscillation du profil, comme le montre la figure 3. Certaines techniques utilisées en statique sont toujours applicables si on découpe les cycles d'oscillation en un nombre de segments suffisant.

Objectifs

L'objectif de ce stage est d'approfondir la caractérisation du bruit de décrochage dynamique d'un profil d'aile en réalisant les analyses suivantes :

— étudier la directivité du bruit à l'aide de l'antenne de 13 microphones ;
— réaliser une étude statistique de la localisation des structures tourbillonnaires pendant les différentes phases du cycle (avec le critère Γ_2 par exemple) ;



(a) (b)

FIGURE 2 – (a) Lignes de courant et composante $\overline{u'^2}$ du tenseur de Reynolds et (b) carte du maximum de corrélation entre les fluctuations de vitesse verticale v' et la pression acoustique p pour $\alpha_g = 30°$.

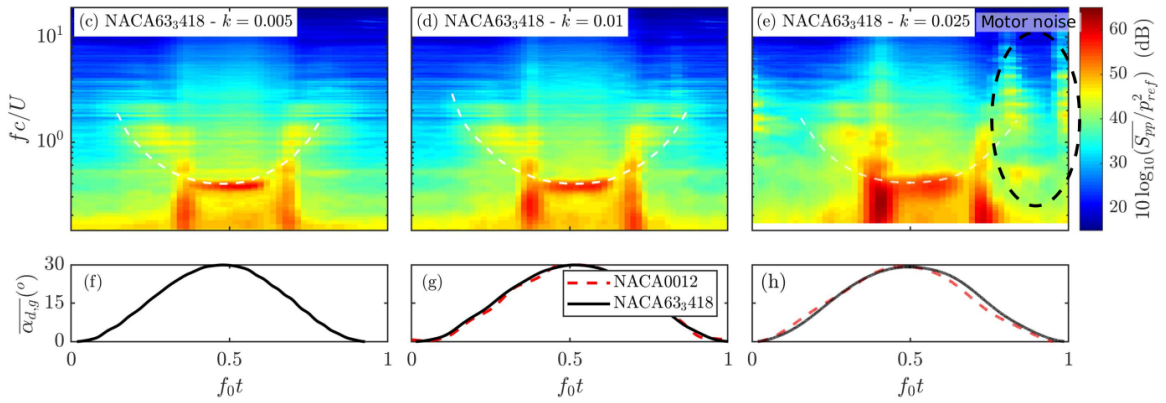


FIGURE 3 – Spectrogrammes moyennés en phase pour différentes fréquences réduites $k = \pi f_0 c/U$, avec f_0 la fréquence d'oscillation du profil, c sa corde et U la vitesse de l'écoulement amont.

— réaliser des études de corrélation entre les fluctuations de vitesse et les pressions acoustiques mesurées par les 13 microphones afin de localiser les structures à l'origine du bruit en conditions dynamiques.

Modalités pratiques

— **Profil souhaité** : 3ème année d'école d'ingénieurs et/ou M2 recherche (durée de 4 à 6 mois), avec une bonne formation en mécanique des fluides, acoustique et traitement de signal.

— **Encadrement** : Benjamin Cotté et Romain Monchaux (enseignants-chercheurs à l'ENSTA Paris)

— **Pour candidater** : envoyer CV, lettre de motivation et relevé de notes à benjamin.cotte@ensta-paris.fr et romain.monchaux@ensta-paris.fr.

Références

[1] S. Oerlemans, Aerodynamic Noise Effect of Wind Shear on Amplitude Modulation of Wind Turbine Noise, *International Journal of Aeroacoustics*, vol. 14, pp. 715–728, 2015.

[2] D. Raus, L. Sicard, B. Cotté, R. Monchaux, E. Jondeau, P. Souchotte, M. Roger, Experimental characterization of the noise generated by an airfoil oscillating above stall, AIAA Aviation Forum 2021, paper 2021-2291.

[3] D. Raus, B. Cotté, R. Monchaux, E. Jondeau, P. Souchotte, M. Roger, Experimental study of the dynamic stall noise on an oscillating airfoil, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 537, no. 117144, 2022.

[4] L. Sicard, R. Monchaux, B. Cotté, E. Jondeau, Experimental Characterization of the Airfoil Stall Noise at High Angles of Attack, soumis au *Journal of Fluid Mechanics*, 2023.