IMSIA, ENSTA
828, boulevard des Maréchaux
91120 Palaiseau

Institut des Sciences de la Mécanique et Applications Industrielles

Proposition de thèse 2026 : Modélisation et simulation du bruit de décrochage statique et dynamique d'un profil d'aile

Contexte

Dans le contexte des machines tournantes, l'angle d'attaque d'une section de pale peut varier pendant la rotation lorsque l'écoulement amont est inhomogène. Cela a été démontré par exemple par des chercheurs danois sur une pale d'éolienne à axe horizontal instrumentée, et le même type de phénomènes peut se produire sur des éoliennes à axe vertical ou sur des drones. Lorsque l'angle d'attaque atteint des valeurs suffisamment élevées, la couche limite peut décoller et un phénomène de décrochage peut se produire, ce qui se traduit par une forte modification du spectre du bruit rayonné par le profil.

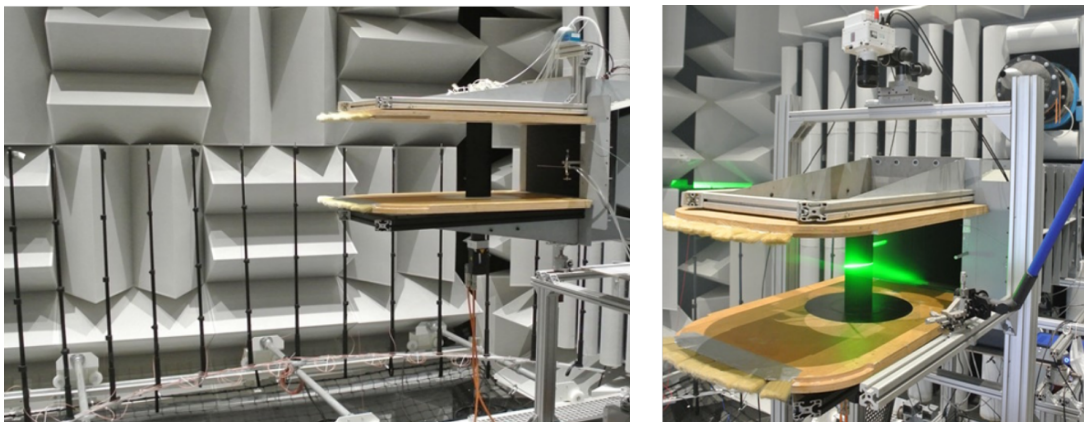
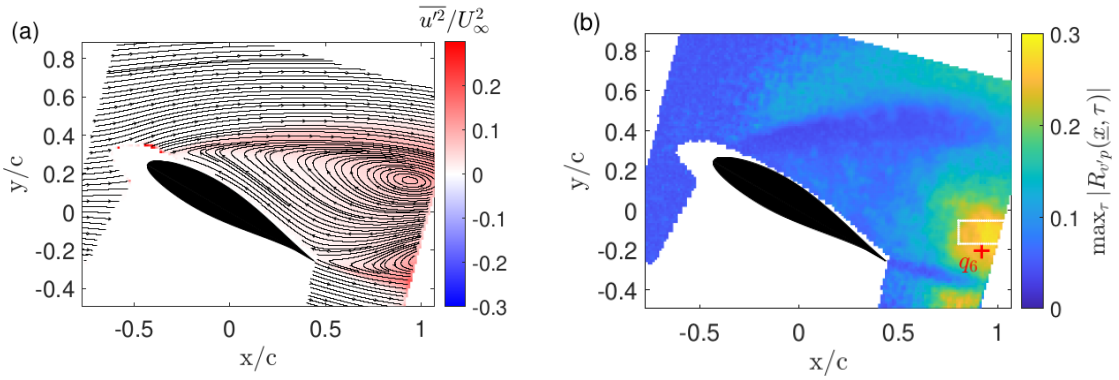


FIGURE 1 – Vue de l'expérience de décrochage dynamique dans la soufflerie anéchoïque du LMFA (a) avec le profil instrumenté de prises de pression pariétale, et (b) avec le profil non instrumenté pendant les mesures PIV.

Durant le projet ANR PIBE (Prévoir l'Impact du Bruit des Eoliennes – 2019-2023 – `https://www.anr-pibe.com`), des mesures synchronisées d'écoulement à mi-envergure du profil et de bruit ont été réalisées dans la soufflerie anéchoïque du LMFA pendant la thèse de Lisa Sicard [1] ; voir figure 1. 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.



(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 $\alpha_g = 30°$.

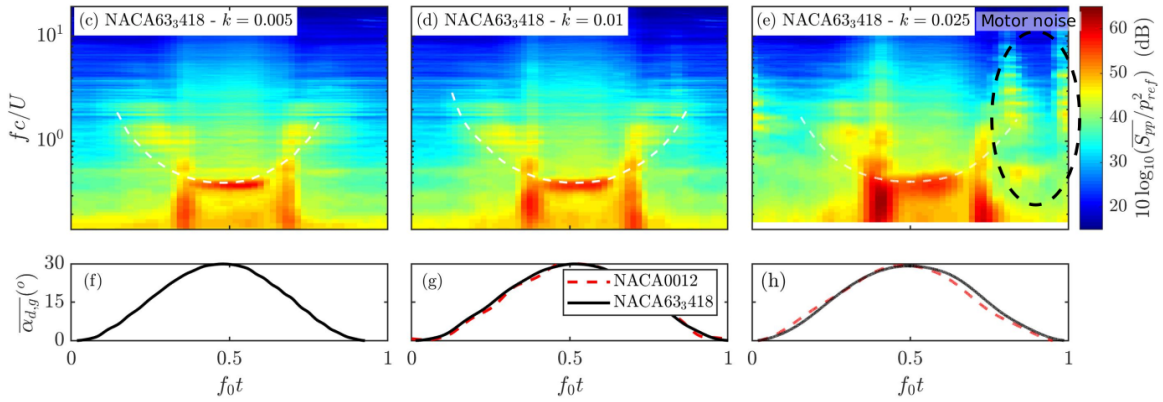


FIGURE 3 – Spectrogrammes moyennés en phase pour différentes fréquences réduites $k = \pi f_0 c/U$, avec f_0 la fréquence d'oscillation du profil, c sa corde et U la vitesse de l'écoulement amont.

Objectifs et programme de travail

L'objectif de cette thèse est d'identifier les structures de l'écoulement à l'origine du bruit de décrochage pour un profil d'aile statique ou en oscillation de tangage, et de proposer une modélisation de ce mécanisme de génération de bruit. Le programme de travail s'articule autour de 3 axes :

1. Réaliser des simulations des grandes échelles (LES) sur des profils d'aile statiques et en oscillation de tangage afin de caractériser les structures turbulentes de l'écoulement et le rayonnement acoustique associé ;
2. Identifier les structures turbulentes associées au bruit de décrochage à l'aide des bases de données expérimentales et numériques à disposition ;
3. Modéliser le bruit de décrochage à l'aide de méthodes semi-analytiques (modèle d'Amiet par exemple) ou de solutions intégrales de l'équation de Lighthill.

Modalités pratiques

— **Profil souhaité** : titulaire d'un M2 recherche ou d'un diplôme d'ingénieurs, avec une solide formation en mécanique des fluides et/ou acoustique.
— **Encadrement** : Benjamin Cotté, enseignant-chercheur à l'ENSTA Paris (IMSIA).
— **Lieu de la thèse** : la thèse se déroulera à l'ENSTA sur le campus de Palaiseau. Des collaborations sont envisageables, par exemple avec le LMFA à L'Ecole Centrale de Lyon.

— **Pour candidater** : envoyer CV, lettre de motivation et une liste de référents à benjamin.cotte@ensta.fr.

Références

[1] L. Sicard, 2023, dentification expérimentale des sources acoustiques à l'origine du bruit de décrochage d'un profil de pale d'éolienne, thèse de doctorat de l'Institut Polytechnique de Paris.

[2] N. Trafny, G. Serre, B. Cotté, J.-F. Mercier, 2023, A stochastic volume approach based on tailored Green ?s functions for airfoil noise prediction at low Mach number, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 551, no. 117603, 2022, https://doi.org/10.1016/j.jsv.2023.117603.

[3] B. Cotté, S. Roy, D. Raus, 2022, Towards a semi-empirical trailing edge noise model valid for attached and separated turbulent boundary layers, 28th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, paper 2022-3103.

[4] D. Raus, B. Cotté, R. Monchaux, E. Jondeau, P. Souchotte, M. Roger, 2022, Experimental study of the dynamic stall noise on an oscillating airfoil, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 537, no. 117144, 2022, https://doi.org/10.1016/j.jsv.2022.117144.

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