

Assimilation de données pour le couplage calcul-expérience appliquée aux sillages à proximité de la surface libre

Institut P', CNRS-Université de Poitiers - ENSMA, UPR 3346
Département Fluide, Thermique, Combustion

Durée : 5–6 mois
Début de stage : Printemps 2026

Superviseurs : **Ludovic CHATELLIER** **Nassim RAZAALY**
Professeur à l'ISAE-ENSMA Maître de Conférences à l'ISAE-ENSMA
ludovic.chatellier@ensma.fr nassim.razaaly@ensma.fr

Compétences requises	Appréciées
• Programmation scientifique • Mécanique des fluides	• Simulation numérique (OpenFOAM)

Sujet

Contexte

La compréhension et la prédiction des écoulements autour de structures fixes ou mobiles sont des enjeux essentiels dans de nombreuses applications défense. En aérodynamique comme en hydrodynamique, les voilures fixes ou tournantes, les gouvernes, les propulseurs sont soumis à des efforts fluides provoqués par des phénomènes physiques instationnaires complexes difficiles à prédire et à mesurer avec précision. Dans la plupart des applications, ces phénomènes conditionnent les interactions entre le fluide et les structures et leur compréhension nécessite à la fois la connaissance de la dynamique instationnaire de l'écoulement, du sillage et des efforts fluides correspondants. En particulier, les écoulements turbulents génèrent des structures à de multiples échelles qui influencent fortement les forces de pression et de frottement (donc les performances hydrodynamiques), les sillages, ainsi que l'aération ou encore la cavitation qui influent elles-mêmes sur les sillages.

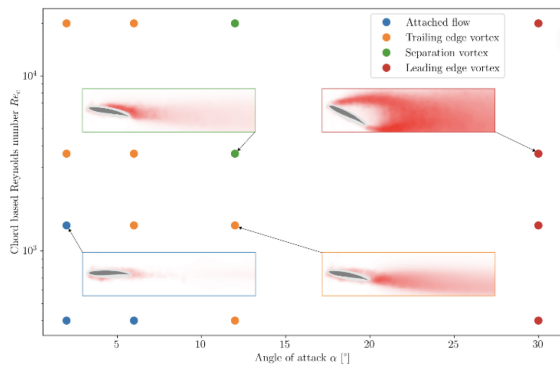
Dans ce contexte, les outils théoriques et numériques destinés à prédire les écoulements sont généralement confrontés aux données expérimentales disponibles à l'aide de quantités statistiques, modales ou spectrales. Il est cependant difficile de confronter directement les résultats de simulation aux résultats expérimentaux car ces deux approches sont à la fois conditionnées indépendamment l'une de l'autre et obtenues sur des bases de temps différentes. De plus, le calcul numérique permet une description fine des écoulements à proximité des parois et dans des zones non accessibles à la mesure, et ne peut donc être directement comparé à l'expérience. Le constat peut alors être fait qu'au delà de la confrontation, calcul et mesure doivent pouvoir s'enrichir mutuellement de façon à fournir des prédictions étendues aux zones les plus inaccessibles tout en partageant un même conditionnement.

Dans ce sujet de thèse nous proposons ainsi de développer une méthodologie de couplage entre simulation et expérience destinée à fournir des prédictions d'écoulements autour d'un profil Eppler à proximité de la surface libre, dont la représentativité sera quantifiée à partir de calculs d'incertitudes appliqués aux deux approches. Ce sujet fait suite à la thèse d'Hervé Bonnard (2024) qui a, au cours de son doctorat, initié ce travail en établissant une large base de données expérimentales et numériques de grande qualité.

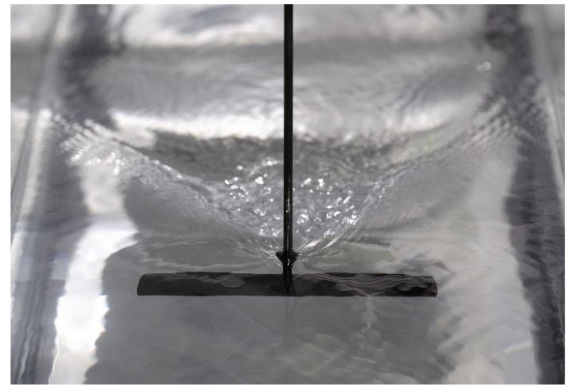
Plan envisagé

Le sujet de stage proposé a pour objectif le développement, la validation et l'application d'une méthodologie opérationnelle d'assimilation de données pour les écoulement instationnaires et turbulents. Une première approche consistera à identifier dans quelle mesure l'hybridation – couplage

direct avec pondérations arbitraires (Suzuki et al. 2018) – de données numériques et expérimentales peut constituer une solution acceptable. Cette première phase sera complétée par une approche de type estimation stochastique, dans laquelle les niveaux d'incertitude de chaque jeu de données seront pris en compte pour le couplage. Enfin, une approche stochastique (Suzuki et al, 2020) sera développée, dans laquelle un modèle d'évolution basé sur les équations de Navier-Stokes sera combiné à un modèle d'observation des données expérimentales. Les niveaux d'incertitude des calculs expérimentaux et numériques seront intégrés à cette approche afin de fournir le meilleur estimateur possible de l'état de l'écoulement. Les performances de ces méthodologies seront quantifiées par la confrontation entre résultats issus de l'assimilation de données et ceux issus de l'expérience sur des bases de données d'apprentissage et de validation indépendantes. Un travail complémentaire sera mené pour déterminer les jeux de données minimaux permettant une assimilation effective, dans la perspective de réduire les volumes de données expérimentales.



Régimes d'écoulement en fonction du nombre de Reynolds et de l'angle d'attaque



Visualisation du sillage pour un foil à proximité de surface libre

Des applications aux écoulements laminaires et turbulents autour de profils d'ailes (section Eppler) seront menées. Une attention particulière sera portée à la reconstruction des structures tridimensionnelles à partir de données de vitesse bi- ou tri-composantes obtenues sur des domaines de mesure bi- ou tri-dimensionnels. L'estimation des champs de pression et des efforts fluides sera confrontée aux mesures effectuées à l'aide de capteurs et aux résultats issus des méthodes de post-traitement conventionnelles.

Références

1. Suzuki, T., Chatellier, L., Jeon, Y. J., & David, L. Unsteady Pressure Estimation and Compensation Capabilities of the Hybrid Simulation Combining PIV and DNS, *Measurement Science and Technology*, 29(2), 2018 <https://doi.org/10.1088/1361-6501/aae6b7>
2. Suzuki, T., Chatellier, L., Jeon, Y. J., & David, L. A few techniques to improve data-driven reduced-order simulations for unsteady flows, *Computers & Fluids*, 201:104455, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2020.104455>
3. Bonnard, H. Études numérique et expérimentale d'hydrofoils 2D et 3D pour différentes configurations d'écoulement à surface libre, Thèse de doctorat de l'Université de Poitiers, 2024