

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Modélisation des effets aéro-optiques en champ proche d'un avion de combat

Référence : **MFE-DAAA-2022-22** (à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : octobre 2022 ou avant

Date limite de candidature : mars 2022

Mots clés

Modélisation de la turbulence, aéro-optique, machine learning.

Profil et compétences recherchées

Master Recherche en mécanique des fluides et/ou mathématiques appliquées/machine learning.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Contexte : Dans le contexte stratégique du développement du Système de Combat Aérien Futur (SCAF – voir figure 1b), de nouveaux outils de prédiction aérodynamique sont nécessaires pour la phase de conception préliminaire. Les contraintes opérationnelles sur l'appareil sont multiples : manœuvrabilité, furtivité ou encore vélocité. Une contrainte moins connue mais pourtant cruciale est celle de la prise en compte des effets aéro-optiques pour les équipements optroniques. En effet, les effets de compressibilité (chocs, décollements, ondes acoustiques, turbulence) en régime transsonique créent d'importantes fluctuations d'indice de réfraction au voisinage de l'avion susceptibles de « brouiller la vue » des dispositifs optiques [1]. Pour concevoir la nouvelle génération de systèmes de désignation laser et de reconnaissance (voir figure 1a&b), il est indispensable de disposer d'un outil capable de prédire à bas coût la distorsion de phase d'une onde plane incidente sur la pupille. Si l'inhomogénéité du champ de densité moyen est facilement prévisible par des calculs RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) standards, la prédiction des effets instationnaires est aujourd'hui hors de portée de l'industriel du fait de l'inexistence de modèles empiriques valables pour les écoulements décollés et du coût prohibitif de la simulation numérique directe (DNS) donnant accès aux fluctuations d'indice.

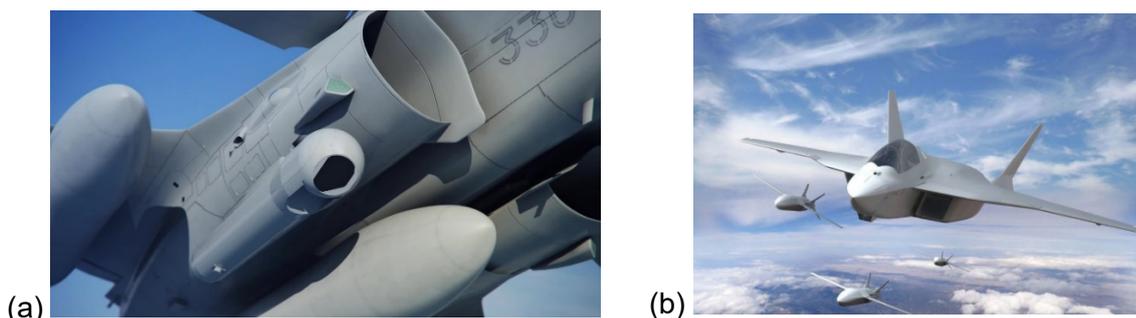


Figure 1: Applications militaires de la modélisation des effets aéro-optiques en champ proche: (a) pod de désignation laser Talios (Thales) sous Rafale, (b) maquette du SCAF équipée de son EOTRS. L'écoulement au voisinage de la pupille est fortement perturbé (décollement en aval d'une arête vive, oscillations de la couche de mélange au-dessus d'une cavité, chocs, turbulence, etc.) et dévie les rayons lumineux.

Objectif : L'objectif de la thèse est donc de développer un outil de prédiction des effets aéro-optiques instationnaires en champ proche, applicable par l'industriel (Thales LAS France) à des fins de design préliminaire de nouvelles géométries de système de désignation laser et de reconnaissance. Face à cet objectif très pratique se trouvent des problématiques scientifiques très riches. Il faut d'une part comprendre la nature des phénomènes aérodynamiques à l'origine de la distorsion optique, puis prédire fidèlement ces derniers à partir d'un simple calcul RANS. Ainsi, le sujet de thèse ambitionne de marier des aspects fondamentaux de modélisation de la turbulence avec une application très concrète. La thèse comprend 2 volets : analyse & synthèse.

Dans l'étape d'analyse, des DNS seront réalisées afin d'étudier les structures cohérentes responsables de la distorsion optique (calcul de modes POD/SPOD [2]). Ces calculs serviront en outre à générer des bases de données pour la partie modélisation. Le volet analyse inclue également des calculs haute-fidélité au coût plus abordable, par des méthodes modernes de modélisation des grandes échelles adaptées aux écoulements décollés (Zonal Detached Eddy Simulation [3]). L'objectif est de confirmer la validité de ces approches pour l'aéro-optique, par comparaison avec la DNS. L'étude portera dans un premier temps sur un cas de couche limite en développement spatial puis sur un écoulement bidimensionnel bien documenté dans la littérature, représentatif des effets aéro-optiques à travers les décollements (voir figure 2). Sur ce dernier cas, on quantifiera en particulier la contribution des fluctuations acoustiques à la variation de la phase. La partie analyse de la thèse permettra d'acquérir une très bonne maîtrise des outils de simulation haute-fidélité et des méthodes avancées d'analyse statistique de la turbulence.

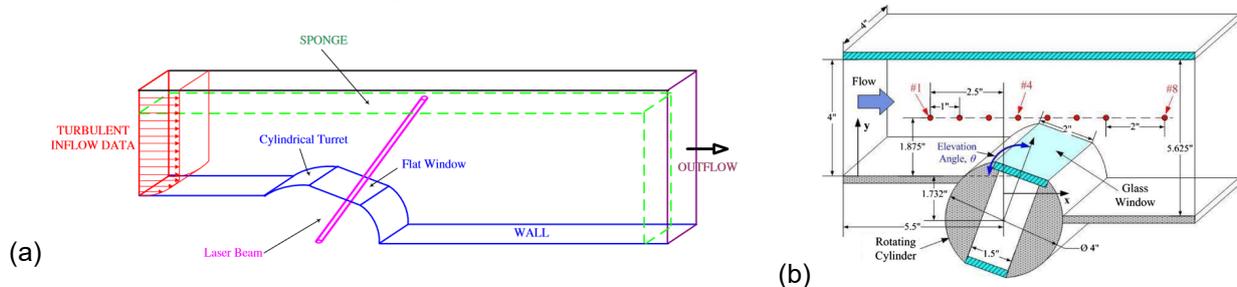


Figure 2: Écoulement bidimensionnel modèle pour l'étude des effets aéro-optiques à travers un décollement (a) configuration numérique [4], (b) configuration expérimentale [5].

La partie synthèse vise à produire une série de modèles par différentes approches : empirique, « physics-based » et « data-based ». Des calculs préliminaires suggèrent l'existence de profils auto-similaires des fluctuations de densité et des longueurs de corrélation au sein d'un décollement. Une étude paramétrique permettra de confirmer cette hypothèse et de calibrer un modèle analytique liant grandeurs moyennes et fluctuantes. Une seconde approche dite « physics-based » visera à prédire les structures cohérentes responsables de la distorsion optique à partir d'outils modernes d'analyse de stabilité linéaire [6] du champ moyen RANS. Enfin, la piste « data-based » sera investiguée : on utilisera des méthodes d'apprentissage automatique (deep learning [7]) pour inférer la distorsion optique à partir des grandeurs moyennes de l'écoulement. La partie synthèse requerra de la créativité de la part du doctorant afin d'établir, à partir de l'étape d'analyse, des stratégies de prédiction à la fois précises et peu coûteuses en temps de calcul.

L'encadrement de cette thèse CIFRE s'effectuera en partenariat entre l'ONERA et Thales LAS France. Par sa double vocation académique/industrielle, ce sujet de thèse s'adresse aussi bien aux étudiants désireux de poursuivre une carrière de chercheur en mécanique des fluides qu'aux étudiants souhaitant rejoindre le secteur de l'industrie aérospatiale.

Références :

- [1] Wang, M., Mani, A., & Gordeyev, S. (2012). Physics and computation of aero-optics. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 44, 299-321.
- [2] Towne, A., Schmidt, O. T., & Colonius, T. (2018). Spectral proper orthogonal decomposition and its relationship to dynamic mode decomposition and resolvent analysis. *J. Fluid Mech.*, 847, 821-867.
- [3] Deck, S. (2012). Recent improvements in the zonal detached eddy simulation (ZDES) formulation. *Theo. Comput. Fluid Dyn.*, 26(6), 523-550.
- [4] Wang, K., & Wang, M. (2016). Computational analysis of aero-optical distortions by flow over a cylindrical turret. *AIAA J.*, 54(5), 1461-1471.
- [5] Gordeyev, S., Cress, J. A., Jumper, E. J., & Cain, A. B. (2011). Aero-optical environment around a cylindrical turret with a flat window. *AIAA J.*, 49(2), 308-315.
- [6] Beneddine, S., Yegavian, R., Sipp, D., & Leclaire, B. (2017). Unsteady flow dynamics reconstruction from mean flow and point sensors: an experimental study. *J. Fluid Mech.*, 824, 174-201.
- [7] Ling, J., Kurzawski, A., & Templeton, J. (2016). Reynolds averaged turbulence modelling using deep neural networks with embedded invariance. *J. Fluid Mech.*, 807, 155-166.

Collaborations envisagées

Thalès LAS France

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique

Lieu (centre ONERA) : Meudon

Contact : Colin Leclercq

Tél. : 0146235111 Email : colin.leclercq@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Eric Garnier

Laboratoire : ONERA DAAA

Tél. : 0320496942

Email : eric.garnier@onera.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>