

PhD in Aerospace Engineering
“Aero-structure models for preliminary design of high aspect ratio – laminar wing”
CS2 U-HARWARD/FONISEN funding

1. Sujet de thèse

- **Titre :** Modèles aéro-structuraux à haute fidélité pour la conception d’avions à voilure laminaire à grand allongement
- **Description**

Un défi majeur de la conception de configurations d’avion eco-innovantes est dans la prise en compte rapide de résultats obtenus par des simulations à haute fidélité dans le processus d’OAD. Pour certaines avenues de progrès technologiques, absolument nécessaires pour proposer des architectures d’avions de transport significativement moins polluantes, il est essentiel d’invoquer des informations détaillées du design, par exemple dans le domaine de l’aérodynamique et des structures. Un axe traditionnel d’optimisation aéro-structurel est l’utilisation d’ailes à grand allongement [1] [2], mais dont la pénalité de masse doit être étudiée avec grand soin. Le comportement aéroélastique peut être ainsi modifié, plus particulièrement si l’aile est haubannée [3] [4]. Ce type de configuration amène d’autre part à reconsidérer – par le biais d’un nombre de Reynolds plus faible – la laminarité de la voilure, comme déjà proposé par Pfenninger dès l’après-guerre. Les premières études sur la réduction de la traînée de frottement (ou consommation) en augmentant la laminarité datent des années 40. Mais même s’il existe des technologies pour le contrôle naturel ou hybride de la laminarité, elles ne sont pas encore suffisamment matures pour s’apparaitre sur les ailes des aéronefs transsoniques conventionnels. L’implémentation de ces technologies est freinée par l’architecture des aéronefs actuels qui ont été optimisés pour le vol de croisière à vitesse transsonique, par exemple. Ainsi, comme challenge typique de cette problématique, on se propose d’étudier la méthodologie d’incorporation d’ailes à grand allongement, et de la recherche de laminarité des écoulements au stage avant-projet, afin d’évaluer le plus systématiquement et rapidement possible les gains potentiels offerts par ces technologies.

Les cas applicatifs envisagés couvriront deux types d’avion et mission : l’avion pour les vols interurbains et le moyen-courrier, cas tous deux étudiés dans le cadre des chaires de recherche CEDAR (Airbus) et ISAAR (Daher), par exemple. **La thèse contribuera directement au projet CS2 U-HARWARD «Ultra High Aspect Ratio Wing Advanced Research and Designs» (WP2.4).**

[1] Pfenninger, W., & Vemuru, C. S. (1992). Design philosophy of long range lfc transports with advanced supercritical lfc airfoils. In *Natural laminar flow and laminar flow control* (pp. 177-221). Springer, New York, NY

[2] Gern, F., Ko, A., Grossman, B., Haftka, R., Kapania, R., Mason, W., & Schetz, J. (2005, June). Transport weight reduction through MDO: the strut-braced wing transonic transport. In *35th AIAA fluid dynamics conference and exhibit* (p. 4667).

[3] Carrier, G., Atinault, O., Dequand, S., Hantrais-Gervois, J. L., Liauzun, C., Paluch, B., ... & Toussaint, C. (2012, September). Investigation of a strut-braced wing configuration for future commercial transport. In *28th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences* (pp. 2012-1). Bonn: ICAS.

[4] MK Bradley et al. Subsonic Ultra Green Aircraft Research – Phase ii. v i. Truss braced wing design exploration. NASA TR CR-2015-218704. 2015

2. Contexte scientifique, situation par rapport à l’état de l’art

La question de faire remonter du détail physique – s’il semble pertinent en terme de performance globale - dans le processus de conception n’est pas totalement nouveau mais reste une pratique assez isolée quand des géométries réalistes sont considérées. En aérodynamique, bien des approches sont maintenant proposées pour traiter l’optimisation multi-fidélité de profils bidimensionnels [1] mais la prise en compte d’effets tri-dimensionnels et

complexes – lié à la transition laminaire-turbulent, et aux effets de compressibilité [2] – reste un challenge en vue de son évaluation dans un cadre de conception préliminaire classique [4], même si des rares tentatives se sont attaquées à ce type de problème [5]. En ce qui concerne les études sur les structures aéronautiques, les ailes à grand allongement posent des problèmes aéroélastiques à considérer le plus tôt possible dans une évaluation globale. Les grandes déflexions structurales résultantes sont à prendre en compte de manière spécifique [6]. Les méthodes à mettre en œuvre sont aussi à replacer dans le cadre de l'optimisation multidisciplinaire, comme déjà explorées pour l'aile haubannée [7], et parfois combinées avec une approche de conception avion [8]. Ainsi, dans le cadre de ce projet, on se propose de développer les briques essentielles pour établir un lien explicite entre conception avion et considérations détaillées, en se focalisant sur la prise en compte, d'une part d'effets aéroélastiques d'ailes à grand allongement, et d'autre part de la transition laminaire-turbulent, les deux approches faisant appel à des simulations à haute fidélité. Ceci devrait étendre des travaux précédents [9], effectués sur la même plateforme de conception OAD que celle qui sera utilisée dans ce projet, FAST-OAD partagé entre l'ONERA et l'ISAE-SUPAERO.

[1] Bartoli, N., Meliani, M., Morlier, J., Lefebvre, T., Bouhlef, M. A., & Martins, J. (2019). Multi-fidelity efficient global optimization: Methodology and application to airfoil shape design. In AIAA Aviation 2019 Forum (p. 3236).

[2] Arnal, D., & Vermeersch, O. (2011). Compressibility effects on laminar-turbulent boundary layer transition. *International Journal of Engineering Systems Modelling and Simulation*, 3(1-2), 26-35.

[3] Xu, H., Mughal, S. M., Gowree, E. R., Atkin, C. J., & Sherwin, S. J. (2017). Destabilisation and modification of Tollmien–Schlichting disturbances by a three-dimensional surface indentation. *Journal of Fluid Mechanics*, 819, 592-620.

[4] Sgueglia, A., Schmollgruber, P., Bartoli, N., Atinault, O., Benard, E., & Morlier, J. (2018). Exploration and Sizing of a Large Passenger Aircraft with Distributed Ducted Electric Fans. In 2018 AIAA Aerospace Sciences Meeting (p. 1745).

[5] Schueltke, F., & Stumpf, E. (2017). Cross-flow effects regarding laminar flow control within conceptual aircraft design. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 89(4), 620-631.

[6] D E Calderon et al. Sizing High-Aspect-Ratio Wings with a Geometrically Nonlinear Beam Model. *J.Aircraft*, 2019

[7] O. Gur et al. Development of Framework for Truss-Braced Wing Conceptual MDO. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 44(2):277-298 · August 2011

[8] Cavagna, L.; Ricci, S.; Travaglini, L., NeoCASS: An integrated tool for structural sizing, aeroelastic analysis and MDO at Conceptual Design Level, *Progress in Aerospace Sciences*, Vol. 47, N. 8, 2011, DOI: 10.1016/j.paerosci.2011.08.006

[9] S. Defoort, M. Méheut, B. Paluch, et Al., "Conceptual design of disruptive aircraft configurations based on High-Fidelity OAD process", AIAA 2018-3663, 24 Jun 2018, <https://doi.org/10.2514/6.2018-36>

3. Originalité visée et organisation de la thèse

L'aspect novateur de la thèse sera de proposer une approche bijective entre une boucle de conception avion et la prise en compte d'approches à haute-fidélité, relevant de deux physiques distinctes – mais ici apparaissant sur le même type de configuration à grand allongement - : les comportements aéroélastiques et la transition laminaire-turbulent. De manière suffisamment précise, le potentiel de réduction de traînée par mise en œuvre d'aile à grand allongement et optimisation des fronts de transition devra être pris en compte dans le processus de conception préliminaire – via une **évaluation multidisciplinaire** donc – mais les modèles structural et aérodynamique devront pouvoir répondre à des changements des paramètres clé du design (allongement, vrillage, géométrie de hauban, paramètres de vol).

Pour atteindre ces objectifs de haut niveau, il est envisagé de structurer le travail de la manière suivante:

- WP1: Etude bibliographique (a) des approches d'aéroélasticité en régimes basse vitesse et transsonique, (b) des processus physiques de la transition, et des modèles associés (multi-fidélité), en parallèle avec la prise en main des processus de conception préliminaire – en particulier l'identification des paramètres d'interface entre la conception et les modèles structuraux/aérodynamiques. A ce stade, l'étudiant pourra bénéficier d'un fort accompagnement de par la longue expérience de l'équipe, faite d'expertise très complémentaires;

- WP2: On s'intéressera d'abord aux aspects de méthodologie clé: paramétrisation de la géométrie et co-gestion des maillages FEM/CFD, simulations tridimensionnelles - à fidélité modérée, sans prise en compte des effets visqueux- afin d'alimenter des modèles surrogate afin de permettre une interface performante (temps de calcul) avec la procédure de conception préliminaire FAST-OAD. En particulier le process devra contribuer au bilan de masse et à l'évaluation de la performance en conception avion. Cette étape constitue un livrable important de la contribution de la thèse dans le cadre du projet CS2 U-HARWARD ;
- WP3 : simulations de couche limite (code ONERA 3C3D), analyse de stabilité et prédiction de la transition (code ONERA Castet)– dont une étape de benchmarking avec d'autres modèles de transition [1] [2] [3] -. Cette partie n'est pas un livrable explicite d'U-HARWARD mais représente une originalité de la thèse;
- WP4 : Exploration de la performance de la méthodologie dans le cadre de l'optimisation globale d'aile transsonique, à voilures à grand allongement et à laminarité étendue. Ici, le défi réside dans l'identification des conditions géométriques et de vol qui pourraient permettre une diminution sensible de la signature carbone de l'appareil pour des missions variables, typiquement semblables à celles d'un avion de type A320/A321. Cependant, le projet pourra explorer la viabilité de voler à plus bas nombre de Mach, par exemple. Cette étape est un autre livrable important de la contribution de la thèse dans le cadre du projet CS2 U-HARWARD;
- WP5: Au vue de la sensibilité (a) aux détails structuraux, et (b) de la transition aux conditions de vol (turbulence naturelle, vibration [6], phénomènes météorologiques [4] ...), ou aux détériorations des surfaces, il est essentiel de mener des études de sensibilité afin d'évaluer les gains potentiels dans des conditions de vol réalistes [5] ;

[1] Shi, Y., Gross, R., Mader, C. A., & Martins, J. (2018). Transition Prediction in a RANS Solver based on Linear Stability Theory for Complex Three-Dimensional Configurations. In 2018 AIAA Aerospace Sciences Meeting (p. 0819).

[2] Lin, Y., Robinson, T., Early, J., Riordan, D., Tweedie, J., & Magee, L. (2011). Implementation of Menter's transition model on an isolated natural laminar flow nacelle. *AIAA journal*, 49(4), 824-835.

[3] Xu, J. K., Bai, J. Q., Qiao, L., & Zhang, Y. (2016). Correlation-Based Transition Transport Modeling for Simulating Crossflow Instabilities. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 9(5).

[4] Schmidt, C., Young, T. M., & Benard, E. P. (2010). The effect of a particle travelling through a laminar boundary layer on transition. In *Seventh IUTAM Symposium on Laminar-Turbulent Transition* (pp. 561-564). Springer, Dordrecht.

[5] Liem, R. P., Martins, J. R., & Kenway, G. K. (2017). Expected drag minimization for aerodynamic design optimization based on aircraft operational data. *Aerospace Science and Technology*, 63, 344-362.

[6] E. Gowree and C. J. Atkin. [On the excitation of Tollmien-Schlichting waves due to surface vibration](#). International Symposium of Applied Aerodynamics, 2017.

Si concluante, cette approche pourra être généralisée à d'autres formes de contrôle d'écoulements [7], de prise compte de contrôle de charge (« aeroelastic tailoring » par matériaux [8], surfaces de contrôle [9]...) et leur évaluation au niveau OAD. Ainsi la démarche pourrait constituer à terme une passerelle manquante entre les études d'aérodynamique et les travaux lancés au niveau OAD. Evidemment ceci ne peut être réalisé que par un effort de dissémination sur une base d'outil ouvert : l'implémentation de la stratégie sera proposée au travers d'une variante de la plateforme open source FAST-OAD.

[7] Chapin, V. G., & Bénard, E. (2015). Active control of a stalled airfoil through steady or unsteady actuation jets. *Journal of Fluids Engineering*, 137(9), 091103.

[8] O. Stodieck, J. E. Cooper, P. M. Weaver and P. Kealy. "Aeroelastic Tailoring of a Representative Wingbox Using Tow-Steered Composites" *AIAA Journal*, Vol. 55, No. 4 (2017), pp. 1425-1439.

[9] RCM Cheung et al. Testing of a Hinged Wing tip Device for Gust Loads Alleviation. *J.Aircraft* v55 n5 2050-2067 2018.

4. Ambition et équipe d'encadrement

Le sujet s'appuie sur l'expertise commune et partagée développée dans le cadre de la collaboration des laboratoires ISAE-SUPAERO et ONERA, depuis plusieurs années. Ce travail commun et multidisciplinaire s'est traduit sous de multiples formes : plateforme de conception avion – culminant dans la publication de sa version open source FAST-OAD, début 2020 -, des co-encadrements de thèse réguliers (A. Sgueglia, B. Coyle, J. Mas Colomer, V. Palladino), et un flux régulier

de projets de recherche ONERA dans les dispositifs de l'ISAE. L'ensemble de ces actions produit un flux régulier de participations partagées à des conférences internationales (AIAA, EASN, CEAS...) et des publications ou projets d'articles à forte visibilité (JoA, AST...).

Ainsi, ce projet vise à capitaliser le savoir-faire commun et à l'étendre vers la prise en compte de simulations à fidélité medium et haute – dans le domaine des structures et de l'aérodynamique, ici – afin d'enrichir significativement le processus de conception d'avions. Le but ultime est d'évaluer rapidement les domaines d'utilisation et l'architecture globale d'avions démontrant des performances supérieures, en capacité de diminuer sensiblement la signature environnementale des futurs avions.

Ce projet sera encadré par l'équipe suivante :

ISAE-SUPAERO-DCAS:

emmanuel.benard@isae-supero.fr

ISAE-SUPAERO-DMSM / ICA:

joseph.morlier@isae-supero.fr

ONERA :

Sebastien.Defoort@onera.fr

Ecole doctorale de rattachement envisagée : ED-AA

5. Profil du Candidat

- Ingénieur/Master/Master Spécialisé en Aéronautique
- Connaissances essentielles : structures aéronautiques, aérodynamique haute et basse vitesse, avec une bonne connaissance de la conception préliminaire avion, très bonne capacité à coder en Python, être très à l'aise dans la rédaction en Anglais
- Connaissances fortement souhaitables: solides connaissances en aéroelasticité, et en optimisation (openMDA, par exemple), première expérience de publication scientifique

6. Contact

Pour tous renseignements:

emmanuel.benard@isae-supero.fr