ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

www.onera.fr

PROPOSITION DE SUJET DE THÈSE

Intitulé : Analyse d'écoulements aérodynamiques instationnaires sur la base d'un bilan d'exergie

Référence : **MFE-DAAA-2024-01**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 1er octobre 2024	**Date limite de candidature :** 30 avril 2024

Mots clés

Exergie; Traînée; Analyse de performance; Aérodynamique; Aérothermique; Aéroacoustique; Écoulements instationnaires; Bilan d'exergie; Analyse champ-lointain; FFX; CFD

Profil et compétences recherchées

École d'ingénieur ou Universitaire (M2).

Bonnes connaissances en mécanique des fluides et en aérodynamique, capacité de programmation (principalement Python, et ensuite préférence pour Fortran ou C++), bon niveau d'anglais oral/écrit.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

La conception des aéronefs repose fortement sur l'analyse fine de la performance aérodynamique d'une configuration donnée. Cette analyse donne des informations aux concepteurs concernant les origines phénoménologiques de dégradation de cette performance (ex. ondes de choc, frottement sur la paroi, décollements et tourbillons de sillage entre autres), et concernant les modifications qui peuvent être apportées afin que cette performance puisse être améliorée. Pour les configurations d'avions civils, cette conception se base traditionnellement sur l'analyse de la traînée, un domaine qui constitue une spécialité de l'ONERA depuis de nombreuses années [1].

Plus récemment, l'émergence de concepts de rupture avec des fortes interactions entre le moteur et la cellule avion (notamment l'ingestion de couche limite, « Boundary-Layer Ingestion » ou BLI en anglais) rendent difficile la décomposition entre la poussée du moteur et la traînée de la cellule avion. Ceci a motivé le développement d'autres méthodes d'analyse de performance, dont une par bilan d'exergie (travail mécanique théoriquement récupérable au sein d'un système) développée à l'ONERA [2]. Les avantages de cette approche sont : son applicabilité aux configurations de rupture, la prise en compte des effets à la fois mécaniques et thermiques dans le bilan global de performance, et enfin la décomposition phénoménologique fine des effets présents dans l'écoulement. La méthodologie a été validée pour des configurations d'avions classiques et ensuite appliquée à l'analyse d'autres concepts comme la BLI ou des échangeurs de chaleur [2]. Aujourd'hui, la méthode continue d'être en développement sur différents aspects : l'adaptation de la définition de l'exergie en aérodynamique appliquée [3], l'extension aux repères tournants pour les écoulements de turbomachines [4] et l'analyse des effets numériques [5].

Dans le domaine de l'aéronautique civile, ces méthodes sont appliquées au sein de projets de recherche nationaux ou internationaux visant au développement d'avions plus performants, tout en réduisant l'impact climatique du secteur aéronautique. L'objectif est de rendre l'approche assez mature afin d'élargir son domaine d'application à l'analyse fine des configurations de complexité réaliste au sein de la recherche et de l'industrie aéronautique.

La méthode du bilan d'exergie pour l'analyse des écoulements aérodynamiques a été validée et appliquée pour les écoulements stationnaires. L'objectif de cette thèse est le développement du bilan d'exergie pour les écoulements instationnaires. Ces travaux s'appuieront sur l'adaptation

corrigée de la définition de l'exergie en aérodynamique appliquée [3]. Le bilan sera dans un premier temps examiné dans un repère inertiel et on s'appliquera à mettre en évidence les différents termes en lien avec le caractère instationnaire de l'écoulement, comme l'acoustique ou l'effet des parois mobiles (ex. l'élasticité). Dans un second temps, le bilan sera examiné dans un repère non-inertiel (repère tournant) avec les mêmes exigences. Ces travaux théoriques seront validés sur des écoulements instationnaires de complexité croissante. Des comparaisons avec d'autres approches d'analyse des écoulements instationnaires feront également partie de ce travail, comme notamment la décomposition de traînée instationnaire [6] ou le bilan d'exergie instationnaire récemment proposé dans la littérature [7]. Le bilan développé sera intégré dans le module de post-traitement FFX (Far-Field eXergy) de l'ONERA, afin qu'il puisse être appliqué à l'analyse des calculs CFD effectués.

Dans un premier temps, les travaux seront menés sur la base de cas tests d'aérodynamique simples (ex. profils oscillants, lâché tourbillonnaire) afin que certains phénomènes particuliers puissent être isolés et étudiés. Des adaptations du bilan instationnaire (ou différents niveaux de décomposition des effets physiques) seront étudiés selon les résultats obtenus. La formulation développée sera ensuite appliquée à des cas tests de démonstration plus complexes (ex. tremblement transsonique ou ''buffet'', jet moteur, écoulements de turbine de moteur d'avion, futurs concepts de moteur d'avion ''Open Fan'' comme le CFM RISE).

Le travail sera complémenté par l'étude bibliographique des différentes approches au sein de la thématique d'analyse de performance en aérodynamique, l'étude des liens théoriques plus approfondis entre les termes du bilan d'exergie et d'autres disciplines (notamment l'acoustique), et enfin l'analyse de la précision numérique des résultats obtenus.

Via les études théoriques, la mise en place de calculs instationnaires, l'analyse physique des résultats et enfin le développement dans un module de post-traitement de référence, cette thèse nécessitera le développement et la mise en œuvre de précieuses compétences pour les candidat(e)s visant à s'intégrer dans la recherche ou dans l'industrie aéronautique.

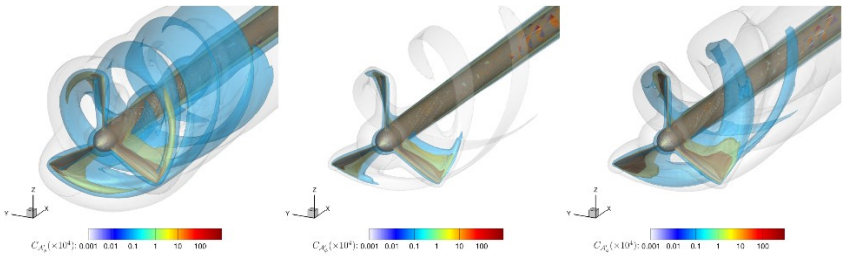

Figure 1: Iso-surfaces de génération de perte d'exergie par effets visqueux (hélice ONERA HAD-1). Résultats pour trois points de fonctionnement correspondant à différents facteurs d'avancement (augmentant de gauche à droite). Le premier et le troisième point sont caractérisés par une augmentation des pertes d'exergie à cause des effets visqueux. [3]

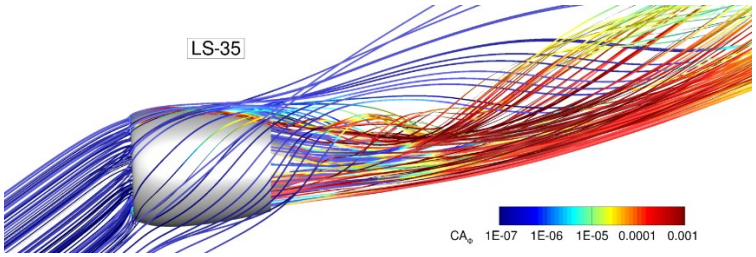

Figure 2: Lignes de courant colorées par la perte d'exergie à cause des effets visqueux dans le cas d'un moteur à des conditions "off-design" (turbofan à très haut taux de dilution, basse vitesse et incidence de 35°). Des pertes élevées sont identifiées à cause d'un décollement à l'entrée d'air, des couches de mélange des flux primaire/secondaire et d'un décollement générant une paire de tourbillons contra-rotatifs à l'extérieur de la nacelle. [8]

Références :

1. Bailly D., Petropoulos I., Wervaecke C., Méheut M., Atinault O. and Fournis C., “An overview of ONERA research activities related to drag analysis and breakdown”, AIAA Aviation Forum 2021, AIAA Paper 2021-2551, Virtual Event. https://doi.org/10.2514/6.2021-2551 & https://hal.science/hal-03449322
2. Arntz A., “Civil aircraft aero-thermo-propulsive performance assessment by an exergy analysis of high-fidelity CFD-RANS flow solutions”, Ph.D. Thesis, Lille 1 Université, Lille, France, 2014. https://onera.hal.science/tel-01113135
3. Berhouni I., Bailly D. and Petropoulos I., “On the definition of exergy in the field of aerodynamics”, AIAA Journal, Vol. 61, No. 10, 2023, pp. 4356-4366. https://doi.org/10.2514/1.J062833 & https://hal.science/hal-04199417
4. Berhouni I., Bailly D. and Petropoulos I., “Exergy Balance Extension to Rotating Reference Frames: Application to a Propeller Configuration”, AIAA Journal, Vol. 61, No. 4, 2023, pp. 1790-1806. https://doi.org/10.2514/1.J062216 & https://hal.science/hal-03945738
5. Petropoulos I., Bailly D. and Berhouni I., “Development of numerical accuracy indicators for the far-field exergy balance method”, AIAA Aviation Forum 2023, AIAA Paper 2023-3389, San Diego, CA, USA & Virtual Event. https://doi.org/10.2514/6.2023-3389 & https://hal.science/hal-04133796
6. Toubin H., “Prediction and phenomenological breakdown of drag for unsteady flows”, Ph.D. Thesis, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, France, 2015. https://theses.hal.science/tel-01343976
7. Ruscio J. P., Duplaa S. and Binder N, “Wake energy recovery potential determination for unsteady flows by exergy analysis”, AIAA Aviation Forum 2023, San Diego CA & Online, June 2023. https://doi.org/10.2514/6.2023-3374
8. Petropoulos I. and Sartor F., “Aerodynamic performance analysis of an isolated UHBR engine using a far-field exergy balance method”, Paper AERO2023-20, 57th 3AF International Conference on Applied Aerodynamics, Bordeaux, France, March 2023. https://hal.science/hal-04065787

Collaborations envisagées

Échanges avec les principaux acteurs de l’industrie aéronautique civile en France dans le cadre des activités de recherche communes.

Laboratoire d’accueil à l’ONERA

Département : Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique

Lieu (centre ONERA) : Meudon

Contact : I. Petropoulos / D. Bailly / I. Berhouni

Tél. : +33 1 46 73 41 83 / + 33 1 46 73 41 96 / + 33 1 46 73 42 07

Email : ilias.petropoulos@onera.fr / didier.bailly@onera.fr / ilyes.berhouni@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : J. Marty

Laboratoire : ONERA Meudon

Tél. : +33 1 46 73 43 55

Email : julien.marty@onera.fr

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

-