

Soutenance de thèse

Luis LOPEZ DE VEGA soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA EDyF et intitulée « *Modélisation par termes source des turbomachines de systèmes propulsifs pour intégration motrice sur avion* »

Le 29 juin 2020 à 14h00, salle Cazalbou ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

M. Guillaume DUFOUR	Professeur ISAE-SUPAERO	Directeur de thèse
M. Vassilos PACHIDIS	Professeur Cranfield University	Rapporteur
M. Duraisamy KARTHIK	Professeur University of Michigan	Rapporteur
M. Rainer SCHNELL	Ingénieur de recherche DLR Cologne	
M. Thierry POINSOT	Directeur de Recherche IMFT	
M. Georges GEROLYMOS	Professeur Université Pierre et Marie Curie	

Résumé : Les objectifs de faible émissions et les contraintes d'exploitation rentables imposées aux futurs avions commerciaux nécessitent de développer des architectures propulsives innovantes capables d'offrir des réductions de la consommation de carburant qui ne sont pas atteignables à travers des configurations conventionnelles. L'ingestion de couche limite (BLI) est un concept prometteur pour atteindre cet objectif, bien que les fortes interactions aérodynamiques entre la cellule et les propulseurs posent de nouveaux défis auxquels les constructeurs d'avions et de moteurs doivent faire face. En particulier, il est essentiel de prévoir de telles interactions pendant les phases de conception de manière rapide et précise pour atteindre les niveaux de performances exigés aux futurs avions. Dans ce cadre, il a été démontré que l'approche de modélisation dite body force offre un compromis approprié entre la précision et le coût de calcul pour simuler les interactions aérodynamiques entre la soufflante et le fuselage rencontrées dans les configurations BLI et des moteurs à fort taux de dilution (UHBR). Cependant, de nouveaux développements sont jugés nécessaires pour améliorer la stratégie de développement des modèles body force et pour tenir compte du couplage entre les performances du moteur et les interactions entre la soufflante et la cellule de l'avion. Cette thèse aborde ces objectifs à travers deux axes de recherche différents. Premièrement, une nouvelle approche s'appuyant sur des algorithmes d'apprentissage automatique est proposée pour remplacer la formulation analytique des modèles body force. Cette méthodologie utilise un réseau de neurones pour prédire le champ de forces produit par la soufflante, qui est ensuite intégré dans un environnement de calcul scientifique afin d'évaluer des configurations propulsives complexes à travers de simulations CFD. Le principal atout d'une telle méthodologie est l'absence des informations géométriques des pales ainsi que l'élimination des hypothèses a priori lors de la génération du modèle. La nouvelle approche de modélisation est appliquée au calcul aérodynamique d'une soufflante en configuration d'ingestion de couche limite et comparée aux solutions fournis par des modèles body force de la littérature et les calculs URANS, montrant que les performances de la soufflante et les mécanismes d'interaction avec la distorsion d'entrée sont bien capturés. Le deuxième axe de recherche est lié à la modélisation couplée des performances du moteur et de l'aérodynamique de la soufflante. Dans cette approche, les champs de force sont appliqués à la fois à la soufflante et à une représentation conceptuelle du générateur de gaz. Les distributions de force sont calculées à partir d'un modèle détaillé zéro-dimensionnel du cycle thermodynamique du moteur, qui s'exécute en parallèle à la simulation aérodynamique. Cette

stratégie de calcul est appliquée à une étude de la propulsion BLI, en utilisant une analyse paramétrique pour relier la quantité de couche limite ingérée aux variations des performances globales du moteur. Les résultats montrent la pertinence de tenir compte de la dépendance entre le cycle thermodynamique du moteur et l'aérodynamique de la soufflante pour quantifier les avantages et les inconvénients des architectures propulsives intégrées.

Mots-clés : turbomachines, modélisation terme source, intégration motrice, aérodynamique, cycle moteur, machine learning

Summary: Low emissions targets and cost-effective operation constraints imposed to future commercial aircraft require to develop disruptive propulsive architectures capable of offering fuel burn reductions not achievable with conventional configurations. Boundary Layer Ingestion (BLI) is a promising concept to meet this goal, although the strong aerodynamic interactions between the airframe and the propulsors bring new challenges that both aircraft and engine manufacturers must deal with. In particular, predicting such interactions during design loops in a fast and accurate way is essential to reach the targeted levels of aircraft performance.

In this framework, the body force modeling approach has been demonstrated to offer a suitable compromise between accuracy and computational cost for simulating fan-airframe aerodynamic interactions encountered in both BLI and Ultra High Bypass Ratio (UHBR) configurations. However, further developments are believed to be necessary in order to improve the body force model development strategy and to account for the coupling between the engine performance and the fan-airframe interactions. This thesis addresses those objectives through two different research directions.

Firstly, a new data-driven approach that relies on machine learning algorithms is proposed to replace the analytic formulation of body force models. An end-to-end methodology to provide a neural network-based representation of the body force field is devised, including the embedding of the network in a Computational Fluid Dynamics (CFD) environment to evaluate complex propulsive configurations. The key asset of such a methodology is the independence of the model formulation from explicit blade row design information and from any a priori hypothesis. The new modeling approach is applied to the reproduction of the aerodynamics of a BLI fan and assessed against state-of-the-art body force solutions and full-annulus unsteady simulations, showing that fan performance and fan-distortion interaction mechanisms are well reproduced.

The second research axis is related to the coupled modeling of the engine performance and the fan stage aerodynamics. In this approach, force fields are applied to both the fan and a conceptual representation of the engine core. The force distributions are computed out of a detailed zero-dimensional model of the engine thermodynamic cycle, which runs in parallel to the aerodynamic simulation. This computational strategy is applied to an investigation of BLI propulsion, using a parametric analysis to relate the amount of ingested boundary layer to the variations in overall performance. Results show the relevance of accounting for the dependence between the engine thermodynamic cycle and the fan aerodynamics to fully quantify the benefits and demerits of integrated propulsive architectures.

Keywords: source term modeling, body force modeling, engine integration, aerodynamics, engine performance, machine learning