Soutenance de thèse

Thibaut KIFFER soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA EDyF et intitulée « *INPRO – Turbopropulseurs et modélisation des effets d'installation avec une approche body-force* »

Le 9 juillet 2025 à 13h00,
Amphi 3 à l'ISAE-SUPAERO - Toulouse

devant le jury composé de

M. Guillaume DUFOUR	ISAE-SUPAERO	Directeur de thèse
M. Romain GOJON	ISAE-SUPAERO	Co-directeur de thèse
M. Marcello MANNA	Università degli studi di Napoli	Rapporteur
M. Xavier OTTAVY	CNRS-LMFA	Rapporteur
M. Antoine DAZIN	Arts et Métiers ParisTech	Examinateur
M. Massyl LAGHA	Airbus	Examinateur

Résumé : Récemment, afin de diminuer l'empreinte carbone de l'aviation commerciale, de nouvelles architectures d'avions ont été proposées par Airbus. Les configurations propulsives à hélices permettraient des réductions significatives de consommation de carburant. L'absence de carène permet d'augmenter le diamètre du rotor par rapport à un turboréacteur, ce qui accroît l'efficacité propulsive. Néanmoins, des problèmes d'intégration se posent. Le principal est l'interaction du sillage de l'hélice avec la voilure, modifiant ses performances aérodynamiques. Il s'agit également d'une source majeure de bruit, qui ne peut être traitée par des revêtements acoustiques en raison de l'absence de carène. Par conséquent, des méthodes de simulation efficaces et rapides sont nécessaires pour évaluer les effets d'installation aérodynamiques et aéroacoustiques. Les méthodes instationnaires de type URANS sont malheureusement trop coûteuses pour des phases de design avion. La modélisation body-force (BFM) permet de réduire le coût de calcul de systèmes propulsifs intégrés. Ce type d'approche nécessite une calibration des termes sources injectés, historiquement basée sur la géométrie réelle des pales. Cette étape peut se heurter à des enjeux de propriété industrielle, empêchant parfois l'échange de géométrie entre le motoriste et l'avionneur. Pour contourner cette limitation, différentes méthodes ont été proposées dans la littérature afin de calibrer un modèle BFM à partir d'objectifs de performances, sans recourir à la géométrie exacte des pales. Cette approche permet de recréer l'effet de déviation et les pertes générées par les pales. Son principe est de générer une géométrie virtuelle, non confidentielle, recréant les effets de la géométrie par termes sources. L'échange de ce type de modèles propulsifs entre industriels est alors possible, ouvrant la voie à l'optimisation conjointe de la voilure et du système propulsif à faible coût, afin d'en réduire les interactions et améliorer les performances aérodynamiques au plus tôt dans la conception. Dans cette thèse, une amélioration de cette méthode de calibration a été proposée, qui repose sur un objectif de performances et permet la génération d'une pale virtuelle dans le cadre du modèle de Hall-Thollet. La méthode proposée apporte une plus grande simplicité de mise en œuvre que les approches proposées dans la littérature. Dans un second temps, la méthode a été étendue pour traiter les variations de régime de rotation et les changements de calage des pales des hélices. Le modèle proposé est dit à « pale virtuelle adaptative ». Celui-ci a permis d'améliorer les prédictions du modèle BFM sur une large gamme de régime de rotation et d'angle de calage hélice, réduisant d'un ordre de grandeur le coût de modélisation par rapport à des calculs pales RANS. Le modèle de pale virtuelle a ensuite été évalué pour une hélice isolée en incidence, montrant une bonne prédiction des variations de traction et des efforts 1P en fonction de l'incidence. Enfin, la dernière partie de ces travaux a

consisté à évaluer les interactions propres à une configuration d'hélice installée sous voilure. Le modèle BFM a été confronté à des calculs URANS de référence. Cette étude a permis de montrer que la modélisation par termes sources proposée permet de capter avec précision les effets du souffle hélice sur les performances de la voilure. Réciproquement, le modèle BFM permet de capter la réponse des pales aux perturbations générées par les effets potentiels de la voilure dans le plan hélice.
Enfin une méthode de reconstruction des efforts instationnaires à partir de simulations stationnaires BFM a été développée avec succès. Cette méthode a permis d'évaluer un couplage acoustique, permettant d'évaluer le bruit de chargement d'une hélice installée. Cette étude a démontré des résultats encourageants, ouvrant la voie au développement de modèles acoustiques rapides permettant l'étude des effets d'installations acoustiques d'une hélice.
Mots-clés : Turbopropulseur, Body-force, Effets d'installation, Interaction hélice-voilure, Aéroacoustique, BFM

Summary: Recently, in order to reduce the carbon footprint of commercial aviation, new aircraft architectures have been proposed by Airbus. Propeller configurations are expected to deliver significant reductions in fuel consumption. As no carter is used, rotor diameter can be increased compared to turbofans, thus increasing propulsive efficiency. However, some integration problems arise. The main one is propeller's wake interaction with the wing, reducing its performance. It is also a major source of noise, which cannot be treated by acoustic coatings due to the absence of housing. Consequently, efficient and rapid simulation methods are needed to assess aerodynamic and aeroacoustic installation effects. Unfortunately, unsteady methods such as URANS are too expensive for aircraft design phases. Body-force modelling (BFM) reduces the cost of calculating integrated propulsion systems. This type of approach requires calibration of the injected source terms, historically based on the actual geometry of the blades. Body-force modelling (BFM) reduces the simulation cost of integrated propulsion systems. This method requires the calibration of the injected source terms, historically based on real blades geometry. This step can face industrial property issues, sometimes preventing geometry exchange between engine and aircraft manufacturers. To overcome this limitation, various methods have been proposed in the literature in order to calibrate a BFM model based on performance objectives, without using the exact geometry. This approach allows to recreate the deviation effect and losses generated by the blades. Its principle is to generate a non-confidential virtual geometry, which recreates the effects of the geometry by using source terms. This type of propulsion model can then be exchanged between manufacturers, paving the way to wing and propulsion system co-optimisation at a low cost, in order to reduce interactions and improve aerodynamic performances as early as possible in the design phase. In this thesis, an improvement to this calibration method has been proposed, based on a performance objective and allowing the generation of a virtual blade within the the Hall-Thollet model framework. The proposed method is simpler to implement than approaches proposed in the litterature. Secondly, the method has been extended to deal with rotational speed and propeller blade pitchchanges. The proposed model named 'adaptive virtual blade' model, improved BFM model predictions over a wide range of rotational speeds and propeller pitch angles, reducing the modelling cost by an order of magnitude compared with RANS blade calculations. The virtual blade model was then evaluated for a propeller isolated at incidence, showing good prediction of variations in traction and 1P forces as a function of angle of attack. Finally, the last part of this work consisted of evaluating the interactions specific to a propeller configuration installed under a wing. The BFM model was compared with reference URANS calculations. This study showed that the proposed model accurately captures the effects of the propeller slipstream on wing performances. Conversely, the BFM model captures blades response to disturbances generated by wing potential effects in the propeller plane. Finally, unsteady forces reconstruction method from steady BFM simulations has been successfully developed. This method made possible the coupling of BFM data with Hanson acoustic model, making it possible to assess steady and unsteady loading noise generated by an installed propeller. This study showed encouraging results, paving the way for the development of fast acoustic models allowing to study propeller acoustic installation effects.
Keywords: Propeller, Body-force, Installation effects, Wing-Propeller interaction, Aeroacoustics, BFM