

## Soutenance de thèse/ PhD Defense

**William THOLLET** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral EDyF et intitulée « *Modélisations simplifiées de turbomachines pour l'analyse par la simulation des installations motrices complexes d'avions* »

**William THOLLET** will defend his PhD thesis, prepared at EDyF research group and titled « *Body force modeling of fan–airframe interactions* »

**Le 18 Juillet 2017 à 10h00, salle des thèses ISAE-SUPAERO**

**July 18, 2017 10AM, thesis room ISAE-SUPAERO**

devant le jury composé de / before the following committee

M. Tony ARTS	Professeur Von Karman Institute for Fluid Dynamics	Rapporteur
M. Paul TUCKER	Professeur University of Cambridge	Rapporteur
M. Cesare HALL	Professeur Associé University of Cambridge	Examineur
M. Zoltan SPAKOVSKY	Professeur Massachusetts Institute of Technology	Examineur
M. Florian BLANC	Ingénieur Airbus Opérations SAS	Examineur
M. Ludovic WIART	Ingénieur de Recherche ONERA	Examineur
M. Xavier CARBONNEAU	Professeur ISAE-SUPAERO	Directeur de thèse
M. Guillaume DUFOUR	Professeur Associé ISAE-SUPAERO	Co-directeur de thèse

### Résumé

Cette thèse étudie des méthodes de conception aérodynamique pour les avions de ligne de demain. A l'heure actuelle, les avions de ligne sont en général conçus de manière à ce que les moteurs, conçus séparément du reste de l'aéronef, n'interagissent que très peu avec la cellule de l'avion (la voilure, le fuselage, ...). Pour diminuer la consommation de carburant, de nouveaux concepts comme l'ingestion de couche limite émergent, dans lesquels l'avion est conçu pour tirer profit des interactions aérodynamiques qui peuvent s'établir entre le moteur et la cellule de l'avion sur certaines configurations. Il devient alors nécessaire de simuler ces interactions pour s'assurer que le bénéfice pour l'avion en termes de consommation de carburant est réel.

La méthode développée dans cette thèse a pour objectif de rendre possible la simulation de ces interactions, à un coût de calcul qui reste acceptable. La soufflante, qui est l'élément du moteur le plus à même d'interagir avec l'avion, est modélisée à l'aide d'un champ de force qui reproduit son aspiration de l'écoulement d'air. Cette approche permet de reproduire les interactions aérodynamiques entre l'avion et ses moteurs à un coût 50 fois inférieur à celui d'une simulation complète du moteur et de l'avion, ce qui permettra en pratique d'optimiser les lignes aérodynamiques des futurs avions.

## Abstract

Future commercial aircraft concepts feature strong aerodynamic interactions between fan and airframe. In a practical design environment, fast and accurate numerical capabilities are thus required to capture and understand these interactions. This thesis explores a non axisymmetric throughflow methodology often referred to as “body force modeling”, in which turbomachinery blade rows are replaced by source terms that reproduce flow turning and losses. The thesis shows that the body force modeling framework offers an effective way of capturing fan–airframe interactions on both short intake and Boundary Layer Ingestion (BLI) configurations.

The body force source terms are usually expressed as a normal-to-the-flow force, which produces the turning and thus work exchange, and a parallel force, which generates the losses. A hierarchy of models of varying complexity for the normal and parallel forces is presented. Existing models from the literature are reviewed, and possible improvements are proposed and assessed. A new formulation based on a lift/drag analogy is developed that alleviates some of the previous models limitations. In particular, previous models often relied on empirical calibration coefficients, which is partially addressed by this new formulation. For all the models investigated, it is shown that the addition of specific source terms to capture metal blockage greatly enhances the accuracy of the flow prediction in transonic blade rows, both in terms of work coefficient and choke mass flow rate.

The new model is applied to nacelle–fan configurations with short air intakes and to conceptual BLI test cases. The results are validated against high-fidelity full-annulus unsteady simulations, and in some cases against experimental data. On nacelle–fan configurations, it is shown that the new body force approach reproduces the effect of decreased intake length on inlet–fan coupling. In particular, the model captures the upstream influence of the fan on the intake lips, which is shown to delay flow separation at high angles of attack in short inlet designs. In addition, it qualitatively captures the in-plane forces on the fan that result from the unevenly distributed loading around the annulus. Then, it is found that in presence of a BLI-type inlet distortion, the lift/drag formulation captures the upstream redistribution of the flow and the distortion transfer through the blade rows. Finally, the model is applied to a fuselage–fan BLI test case. It is shown that BLI benefits decrease quickly when the amount of ingested fuselage boundary layer is small.