

Soutenance de thèse

David PLANAS ANDRÉS soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA ACDC et intitulée « *Qualités de vol, performance et optimisation d'un avion électrique à propulsion distribuée* »

Le 2 juillet 2024 à 9h30, salle des thèses ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

M. Carsten DÖLL	ONERA	Directeur de thèse
M. Christophe AIRIAU	Université Paul Sabatier Toulouse	
M. Andreas STROHMAYER	Universität Stuttgart	Rapporteur
M. Philippe PASTOR	ISAE-SUPAERO	Co-directeur de thèse
M. Franck CAZAURANG	Université Bordeaux 1	
Mme Annie LEROY	École de l'air et de l'espace	
M. Roelof VOS	TU Delft	Rapporteur
M. Marc BUDINGER	INSA Toulouse	

Résumé : Les récents développements sur les systèmes de propulsion d'aéronefs, qui évoluent vers une électrification partielle ou totale, ont favorisé de nouvelles configurations disruptives en termes de disposition et d'intégration des dispositifs propulsifs par rapport à la structure de l'aéronef. Parmi celles-ci, la propulsion électrique distribuée (DEP en anglais) a émergé comme un concept prometteur pour réduire les émissions et atteindre les nouveaux objectifs environnementaux. En étant capable de placer les dispositifs de propulsion de manière flexible, il est possible d'exploiter les interactions aéro-propulsives pour améliorer l'efficacité, les capacités, la robustesse et les performances de l'aéronef. Bien qu'il s'agisse d'un concept ouvert avec une multitude d'approches différentes, les configurations de propulsion distribuée en bord d'attaque (LE-DP) ont particulièrement retenu l'attention, surtout pour les avions légers et les avions de ligne régionaux. Dans ces configurations, les propulseurs, généralement des hélices, sont placés à l'avant de l'aile. Cette configuration spécifique est l'objet de cette thèse.

La recherche est divisée en trois parties : La première partie vise à décrire, discuter et modéliser les différentes interactions aéro-propulsives qui se produisent dans ce type de configuration. Elle débute donc par une revue bibliographique de ces interactions. Leur importance est évaluée et discutée en fonction des objectifs et du niveau de détail poursuivis dans les études ultérieures. Ensuite, certaines méthodologies existantes pour quantifier ces effets sont présentées. L'un d'entre eux est sélectionné, analysé et modifié en conséquence. Cette partie se termine par la modélisation d'un avion de référence et la validation de la méthodologie présentée avec des méthodes de haute-fidélité.

La deuxième partie vise à évaluer les qualités de vol des avions équipés de ce type de propulsion. La méthodologie développée est utilisée pour identifier les coefficients aérodynamiques et les dérivées de stabilité de l'avion, pour calculer l'enveloppe de vol, et enfin pour effectuer une analyse des oscillations suivant une condition de référence de l'avion, à travers ses modes dynamiques. Les résultats sont présentés à travers la comparaison entre une version conventionnelle de l'avion, où les forces aérodynamiques sont estimées avec une méthode générique, et une version où l'interaction aéro-propulsive est prise en compte.

Enfin, la troisième partie se concentre sur la conception préliminaire et l'optimisation de ces aéronefs. Tout d'abord, le potentiel de l'hélice à augmenter la portance en fonction des modifications de la géométrie et des paramètres d'installation de l'hélice est étudié. L'étude commence par une analyse de sensibilité et se poursuit avec l'estimation de la vitesse de décrochage réduite réalisable grâce à la synergie. Ensuite, plusieurs optimisations ponctuelles sous contrainte sont effectuées, afin de maximiser la portance générée par l'interaction et de réduire la puissance installée.

Enfin, l'optimisation est poussée plus loin. En utilisant un avion léger entièrement électrique, une optimisation est réalisée sur un profil de mission complet avec un logiciel d'analyse et d'optimisation de conception multidisciplinaire (MDAO) d'aéronefs. Le logiciel est modifié pour l'interfacer avec la méthodologie aérodynamique de la première partie et pour mettre en œuvre les modules nécessaires pour modéliser un avion entièrement électrique.

Les résultats aident à clarifier comment les qualités de vol sont affectées, comment de tels avions peuvent être conçus pour exploiter le couplage aéro-propulsif, et quantifier l'impact de l'utilisation de la propulsion distribuée sur les performances de l'avion.

Mots-clés : DEP, Qualités de vol, Optimisation multidisciplinaire, performance

Summary: Recent developments in aircraft propulsive systems, that are moving towards partial or total electrification, have fostered new disruptive configurations regarding the placement and integration of the propulsive devices within the airframe. Among these, distributed electric propulsion (DEP) has emerged as a promising concept to reduce emissions and meet the new environmental goals. In DEP configurations, the propulsive devices can be placed and operated with greater flexibility, allowing to exploit the aero-propulsive interactions to improve the efficiency, capabilities, robustness, and overall performance of the airplane.

Although DEP is an open concept, where a multitude of different approaches have appeared, especially promising for light aircraft and commuter regional airliners are the configurations featuring leading-edge distributed propulsion (LE-DP), where the propulsors, typically propellers, are placed in front of the wing. This specific configuration is the focus of this dissertation. The research is divided into three parts :

The first part aims to describe, discuss, and model the different aero-propulsive couplings that emerge in LE-DP configurations. This part begins with a literature review of these interactions. Their importance is pondered and discussed; regarding the scope and required level of detail of the subsequent analyses. Next, some existing methodologies to quantify these effects are presented. One of these is analyzed and some modifications are introduced. This part finishes with the modeling of a chosen reference aircraft and the validation of this aerodynamic methodology with high-fidelity methods.

The second part aims to assess the handling qualities (HQ) of airplanes equipped with DEP. The developed methodology is used to identify the aerodynamic coefficients and the stability derivatives, to estimate the envelope, and to compute the dynamic modes of the airplane. Results are presented by comparison between two versions of the same airplane, a conventional one, and one converted to incorporated LE-DP, in which the effects of the interaction are considered.

Finally, the third part is focused on the preliminary design and optimization of these aircraft. First, the propeller's potential to increase lift in response to modifications of the propeller's geometry and installation parameters is investigated. The study begins with a sensitivity analysis and proceeds with the estimation of the reduced stall speed that can be achieved as a result of the synergy. To conclude, several single-point constrained multidisciplinary optimizations are conducted, aimed at maximizing the lift generated through the interaction, reducing the stall speed, and minimizing the required installed power.

Finally, the optimization is taken a step further. Using an all-electric light aircraft, an over-entire-mission profile optimization is conducted with software for multidisciplinary analysis and design optimization (MDAO) of aircraft. The software is modified to interface it with the aerodynamic methodology from the first part and to implement the necessary modulus to model an all-electric aircraft.

The results provide an understanding of how flight qualities are affected, how such aircraft should be designed to leverage the aero-propulsive coupling, and quantify the impact of the use of DEP on the performance of the aircraft.

Keywords: DEP, Handling qualities, Multidisciplinary Optimization, performance