

Soutenance de thèse

Santiago MONTOYA OSPINA soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA EDyF, et intitulée « *Étude de faisabilité de liners acoustiques sur pales de drones à décollage vertical* »

**Le 7 avril 2025 à 14h00,
Amphi 1 à l'ISAE-SUPAERO - 10 av. Marc Pégégrin - TOULOUSE**

devant le jury composé de

M. Franck SIMON	ONERA	Directeur de thèse
M. Romain GOJON	ISAE-SUPAERO	Codirecteur de thèse
M. Gwénaél GABARD	Le Mans Université	Rapporteur
M. Stéphane MOREAU	Université de Sherbrooke	Rapporteur
M. Eric GREENWOOD	Pennsylvania State University	Examineur
M. Benjamin COTTÉ	ENSTA Paris	Examineur

Résumé : Dans cette thèse, nous répondons à la demande croissante d'avancées technologiques dans le domaine des aéronefs à hélice en proposant le concept de liners acoustiques intégrés dans les pales ou sur les surfaces environnantes, dans le but principal de réduire le bruit de l'ensemble propulsif. Notre étude est structurée autour de deux cas d'étude : l'un impliquant un rotor isolé et l'autre avec un rotor en conditions installées, où un bras simule le support entre le système propulsif et la partie centrale d'une architecture classique de drone. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la faisabilité de ces liners intégrés en tant que stratégies passives de réduction du bruit et d'analyser leur impact sur les performances aérodynamiques des hélices. Notre recherche repose sur une combinaison de modèles analytiques, de simulations numériques et de mesures expérimentales. Pour le liner intégré à l'intérieur des pales, un modèle analytique a été développé, intégrant la théorie du bruit tonal des hélices et une fonction de Green adaptée qui satisfait la condition limite d'impédance, simulant ainsi l'impédance du liner sur les pales du rotor. Les prévisions préliminaires obtenues avec ce modèle ont indiqué une réduction du bruit aux harmoniques de la fréquence de passage des pales, mettant en évidence l'influence significative de la surface du liner sur les pales. À partir de ce modèle, un prototype de rotor intégrant le liner a été conçu afin de valider le modèle et le concept proposés. Toutefois, bien que la validation expérimentale ait confirmé la réduction du bruit aux harmoniques de la BPF, cette évolution a été attribuée à la transition forcée de la couche limite par la rugosité introduite par la présence du liner à la surface des pales. Pour approfondir l'analyse de l'impact de ces éléments de rugosité, nous avons mené une étude de sensibilité évaluant les effets de défauts négatifs (entailles, cavités) et positifs (bosses) sur l'aéroacoustique des rotors à faibles nombres de Reynolds. Les résultats ont montré que ces défauts peuvent réduire ou supprimer l'influence de la bulle de séparation laminaire et des instabilités associées de la couche limite, améliorant ainsi potentiellement les performances aérodynamiques et atténuant le bruit aux harmoniques de la BPF lorsqu'ils sont correctement conçus. Enfin, il est démontré à l'aide du modèle analytique que l'intégration du liner à l'intérieur des pales pourrait être bénéfique pour des hélices de plus grande taille, avec une portion plus importante de la surface des pales traitée. L'étude sur les liners intégrés dans le bras support a été purement expérimentale, avec trois prototypes testés : deux intégrant des liners conçus pour

absorber le bruit à deux fréquences tonales différentes et un intégrant un métamatériau poreux. Les résultats se sont révélés efficaces pour réduire le bruit aux harmoniques de la BPF, qui est particulièrement important en conditions installées. Le modèle développé, la conception des prototypes et la méthodologie expérimentale visent à contribuer au domaine de l'aéroacoustique des rotors et à soutenir le développement de nouvelles technologies ou approches permettant d'atténuer ou d'éliminer le bruit produit par les aéronefs à hélice.

Mots-clés : Drone, Liner acoustique, Impédance, Bruit d'épaisseur, Hélice, Bruit de charge

Summary: In this dissertation, we address the growing demand for advancements in rotorcraft technology by proposing the concept of acoustic liners integrated within blades or within surrounding surfaces with the main objective of noise mitigation. We structure our study around two case studies: one involving a rotor operating in isolation and the other with a rotor working in installed conditions, where a beam simulates the connection between the propulsion system and the airframe of a classical drone configuration. The primary objective of this study is to evaluate the feasibility of these integrated liners as passive noise reduction strategies and to assess their impact on the aerodynamic performance of rotors. Our research employs a combination of analytical models, low-fidelity numerical methods, and experimental measurements. For the liner integrated inside the blades, an analytical model was developed that integrates rotor tonal noise theory, and a tailored Green's function that satisfies the impedance boundary condition, simulating the liner's impedance on the rotor blades. The preliminary predictions using the developed model indicated noise reduction at harmonics of the blade passing frequency (BPF), highlighting the significant influence of the liner's surface area on the blades. With this model, a prototype of a rotor integrating the liner was designed to validate the proposed model and concept. However, although experimental validation confirmed the noise reduction at BPF harmonics, this evolution has been attributed to the forced transition of the boundary layer (BL) facilitated by the roughness introduced by the liners on the blade surfaces. To further investigate the impact of such roughness elements, we conducted a sensitivity analysis assessing the effects of negative (gaps, cavities) and positive (bumps) defects on the aeroacoustics of small-scale rotors. The results demonstrated that these defects could effectively reduce or suppress the influence of the laminar separation bubble (LSB) and its associated BL instabilities, potentially enhancing aerodynamic performance and attenuating noise at BPF harmonics when appropriately designed. Finally, it is shown using the analytical model that the integration of the liner inside the blades could be beneficial for larger rotors, with a bigger portion of the blade surface treated. The study on the integrated liners inside the beams was purely experimental, where three prototypes were tested: two integrating liners designed to absorb noise at two different tonal noise frequencies and one integrating a porous metamaterial. The results proved to be effective in reducing noise at the harmonics of the BPF, which is particularly important in installed conditions. The developed model, prototype design, and experimental methodology aim to contribute to the field of rotor aeroacoustics and support the advancement of new technologies or approaches to mitigate or eliminate the noise produced by rotorcraft.

Keywords: Drone, Acoustic liner, Impedance, Thickness noise, Rotor, Loading noise