

Soutenance de thèse

Daniel DIAZ ARRIBA soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA EDyF et intitulée «*Etudes d'aile battante déformable pour le vol en sustentation*»

Le 1^{er} juin 2021 à 14h00, salle des thèses de l'ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

M. Nicolas GOURDAIN	Professeur ISAE-SUPAERO	Directeur de thèse
M. Grigorios DIMITRIADIS	Professeur Université Liège	Rapporteur
M. Laurent DAVID	Professeur Université de Poitiers	Co-directeur de thèse
M. Ramiro GODOY-DIANA	Directeur de recherche PMMH ESPCI	Rapporteur
Mme Karen MULLENERS	Professeure Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne	
M. Bas VAN OUDHEUSDEN	Professeur Delft University of Technology	

Résumé : Les micro-véhicules aériens opèrent à des nombres de Reynolds faibles où les ailes fixes et rotatives conventionnelles présentent des performances aérodynamiques réduites en raison de l'importance accrue des forces visqueuses de l'écoulement par rapport aux forces d'inertie. L'observation de la nature a donc apporté une possible solution à ce problème. Grâce à l'observation du vol stupéfiant des insectes et des petits oiseaux, les ailes battantes apparaissent comme une alternative aux concepts d'ailes conventionnelles, offrant plusieurs avantages tels qu'une amélioration potentielle des performances aérodynamiques à faible nombre de Reynolds et une agilité de vol accrue. Pour commencer cette étude, nous décrivons d'abord les aspects généraux du vol battu, en introduisant les paramètres qui définissent la cinématique du mouvement de battement. Les principales études précédentes sur ce sujet sont discutées, en présentant toutes les caractéristiques connues du vol battu. Une fois que le lecteur a acquis une meilleure compréhension de ce type de vol, les outils expérimentaux et numériques développés pour l'étude sont décrits en détail. Un dispositif expérimental complexe est nécessaire pour l'étude de l'écoulement autour des ailes battantes, où des techniques de mesure optique avancées sont utilisées pour saisir le comportement de l'écoulement autour de l'objet étudié. Dans ce cadre, la détermination non intrusive des forces aérodynamiques subies par un corps est devenue un sujet de recherche important ces dernières années. Le cas des écoulements à faibles nombres de Reynolds, qui impliquent des forces aérodynamiques faibles, comme pour les écoulements caractéristiques des MAVs, nécessite l'utilisation de ces méthodes non intrusives pour obtenir des résultats fiables. Dans ce travail, une méthode variationnelle relativement nouvelle est développée et appliquée à des données numériques et expérimentales en 3D pour déterminer les forces autour d'une aile. S'agissant des performances des ailes battantes, des études précédentes sur le vol des ailes battantes ont largement fourni des données sur les ailes tournantes et les plaques en tangage et translation. Cependant, aucune d'entre elles ne s'est concentrée sur la recherche d'une configuration cinétique optimale pour le mouvement de battement des ailes. La difficulté de cette tâche réside dans le grand nombre de paramètres nécessaires pour déterminer la cinétique de rotation et de révolution des ailes battantes. Pour cette raison, un modèle numérique permettant d'étudier l'influence de plusieurs paramètres en un temps réduit a été développé. Nous utilisons ensuite cette approche pour explorer un espace paramétrique assez large défini par : 1) L'angle d'attaque du 'upstroke' et du 'downstroke', 2) L'amplitude du battement, 3) Le retard de la rotation, 4) Le taux

d'accélération de la rotation. Enfin, nous effectuons des simulations à haute résolution pour vérifier nos résultats et analyser la physique qui conduit à une cinématique de battement optimale. Ces dernières sont également évaluées par rapport aux résultats expérimentaux obtenus à partir des mesures tridimensionnelles de vélocimétrie par imagerie de particules (PIV) dont nous avons parlé précédemment. Une fois que les meilleures performances pour chaque paramètre sont détectées, les effets de l'ajout de flexibilité à l'aile sont évalués pour ces conditions. Un modèle numérique de couplage fluide-structure est utilisé à cette fin, qui est préalablement validé par des mesures de corrélation d'images numériques (DIC). En résumé, tous nos efforts visent à mettre en place et à valider tous les outils nécessaires pour étudier l'influence de chacun des paramètres étudiés dans les performances du vol battu et fournir les données nécessaires pour trouver la configuration optimale des ailes battantes flexibles.

Mots-clés : aile déformable, vol battante, vol en sustentation

Summary: Flapping wings, such as those of hummingbirds, generate large scale vortices that can promote flight (Dickinson et al, Science 1999). Generation of these vortices not only depend on the wing kinematics, but also on the wing flexibility. The observation of natural flyers and swimmers suggest that a significant number of species may have evolved such that wing / fin flexibility favors lift / propulsion (Lucas et al, Nature 2014). In this thesis, we will try to understand the precise role of flexibility in vortex generation and flight (aerodynamic) efficiency. To clearly understand this role, the work will be divided into several tasks: - First, experimental measurements will be conducted on a model flapping wing. Particle Image Velocimetry (PIV) measurements will be coupled to Digital Image Correlation (DIC) measurements to correlate flow fields and wing deformation. Measurements will be performed for various wing kinematics to (i) understand fluid-structure interactions mechanisms and (ii) serve as a validation basis for numerical simulations. - Second, numerical simulations will be conducted via the finite volume, direct numerical simulation of the Navier-Stokes equations (to predict flow fields), and the finite element analysis of the Navier equation (to predict wing deformation). Numerical results will be validated upon experimental data and will then provide further insight into the fluid structure interactions by allowing the exploration of a larger parameter space (various kinematics and flexibility). In particular, we will try to understand if wing flexibility observed in nature favors hovering flight. - Finally, we will seek to optimize flight efficiency through wing kinematics and flexibility. To accelerate the process, we will first consider under-resolved numerical simulations. In particular, the goal will be to develop a robust optimization algorithm that communicates with fluid and structural solvers and that can be used in the future with enhanced computational resources.

Keywords: hovering flight, deformable wings, flapping