



Développement d'une méthodologie pour la simulation haute-fidélité de
l'aérodynamique des micro-drones

*Development of a methodology for high fidelity simulations of micro-UAVs
aerodynamics*

Soutenance de thèse – Alexis Dorange

Mardi 10 décembre 2024 à 14 H 00

En présentiel : **Salle AY-02-63 – ONERA Meudon**

En distanciel via Jitsi : https://rdv.onera.fr/Soutenance_Alexis_Dorange

Devant le jury composé de :

- **Directeur de Thèse :**
 - Éric Garnier, Directeur de recherche et directeur adjoint, ONERA (DAAA/MAAA)
- **Encadrant :**
 - Christophe Benoit, Ingénieur de recherche, ONERA (DAAA/DEFI)
- **Rapporteurs :**
 - Éric Lamballais, Professeur, Université de Poitiers, France
 - Paola Cinnella, Professeur, Sorbonne Université, France
- **Examineurs :**
 - Héloïse Beaugendre, Professeur, Université de Bordeaux, France
 - François Richez, Ingénieur de recherche, ONERA (DAAA/H2T)

Résumé / Abstract

L'objectif de cette thèse est le développement d'une méthodologie permettant la simulation haute-fidélité de tous types de géométries de micro-drones. Bien que ces véhicules soient très présents dans l'espace aérien, la physique des écoulements qu'ils induisent est encore mal connue, en outre ils sont associés à des problématiques de nuisance acoustique. L'écoulement autour de ces derniers présente des phénomènes complexes de mécanique des fluides tels que la transition laminaire-turbulent, la séparation ou encore un bulbe de décollement laminaire. La Simulation des Grandes Échelles (Large Eddy Simulation - LES) est mise en œuvre dans cette étude car elle permet de prendre en compte avec précision les phénomènes complexes mis en jeu dans la couche limite des hélices de drone, au contraire des approches de plus basses fidélités. Une autre problématique liée aux drones est leur géométrie complexe, qui peut grandement compliquer l'étape de génération de maillage en vue de leur simulation. Dans cette optique, les méthodes Chimère et de frontières immergées sont utilisées pour simplifier cette étape. La première permet de mailler indépendamment et plus simplement chacune des pales à l'aide de maillages structurés curvilignes, tandis que la seconde permet de s'affranchir de la génération d'un maillage conforme autour du fuselage. Un couplage entre ces deux méthodes est finalement développé pour la simulation d'éléments géométriques très proches les uns des autres. Tout d'abord, les résultats d'une simulation LES sont présentés pour un rotor dont la géométrie des pales est entièrement définie analytiquement. Cette simulation permet de mettre en évidence la présence d'un bulbe de séparation laminaire ainsi que des mécanismes de rattachements et de décollements laminaires et turbulents. Elle met également en évidence les différentes sources de bruit générées par les hélices. Par la suite, une étude sur la montée en complexité géométrique permet de mesurer l'effet de l'ajout des différentes parties du drone sur les performances du rotor. En particulier, ces simulations mettent en avant l'impact du moyeu et des bras sur les efforts aérodynamiques, ainsi que les émissions acoustiques globales.

Au terme de cette thèse, un drone complet est finalement simulé à l'aide de l'ensemble des éléments méthodologiques introduits dans le cadre de ces travaux. Les efforts globaux ainsi que l'acoustique complète du drone sont analysés. Cette application représente la première simulation connue d'un drone complet réalisée à l'aide d'une approche LES.

The objective of this thesis is to develop a methodology for the high-fidelity simulation of all types of micro-unmanned aerial vehicle geometry. Despite their prevalence in the airspace, the flow physics they induce remain poorly understood and present acoustic nuisance issues. The flow around these vehicles presents a range of complex fluid mechanics phenomena, including the laminar-turbulent transition, separation, and the formation of a laminar separation bubble. The Large Eddy Simulation (LES) approach is employed in this study to accurately account for the complex phenomena occurring within the boundary layer of drone propellers, which cannot be adequately captured by lower fidelity methods.

A further issue associated with UAVs is their complex geometry, which can significantly complicate the mesh generation process for their simulation. In consideration of the aforementioned considerations, the Chimera and immersed boundary methods are employed to simplify this stage. The former facilitates the meshing by using curvilinear structured meshes for each blade independently, while the latter eliminates the need to generate a conformal mesh around the fuselage. A coupling between these two methods is finally developed for the simulation of geometric elements that are in close proximity to one another. In the first instance, the results of an LES simulation are presented for a rotor whose blade geometry is entirely defined analytically. The simulation demonstrates the presence of a laminar separation bubble as well as laminar and turbulent attachment and detachment mechanisms. Furthermore, the simulation highlights the various sources of noise generated by the propellers. Subsequently, an investigation into increasing geometric complexity on rotor performance was conducted by incorporating different components into the UAV. In particular, these simulations demonstrate the influence of the hub and arms on aerodynamic forces and overall acoustics emissions. At the conclusion of this thesis, a complete UAV is finally simulated using all the methodological elements introduced as part of this work. The overall forces and the complete acoustics of the UAV are analysed. This application represents the first known simulation of a complete UAV using an LES approach.

Mots clés / Key words

Mécanique des fluides, Simulation des grandes échelles, Drone, Méthode Chimère, Méthode de frontières immergées

Fluid Dynamics, Large Eddy Simulation, Unmanned Aerial Vehicle, Chimera method, Immersed boundary method