

## Invitation à la soutenance de thèse

CONTROLLABILITY-AWARE MULTIDISCIPLINARY DESIGN OPTIMIZATION OF  
SMALL VERTICAL TAKE-OFF AND LANDING VEHICLES

OPTIMISATION MULTIDISCIPLINAIRE INTEGRANT LA CONTROLABILITE POUR  
LA CONCEPTION DE DRONES A DECOLLAGES ET ATERRISSAGES VERTICAUX

Luiz Fernando Fernandez Tiberio

**Mercredi 18 décembre 2024 à 15h00**

ENAC, 7 Av. Edouard Belin, 31400 Toulouse, salle B16

### Devant le jury composé de :

Melike Nikbay	Istanbul Technical University	Rapportrice
Mark Voskuilj	Faculteit Militaire Wetenschappen	Rapporteur
Jean-Marc Moschetta	ISAE SUAPERO	Examineur
John Jasa	National Renewable Energy Laboratory	Examineur
Nathalie Bartoli	ONERA	Directrice de thèse
Murat Bronz	ENAC	Co-directeur de thèse
Thierry Lefebvre	ONERA	Encadrant

### Résumé

Au cours des dernières décennies, le domaine de la robotique aérienne a considérablement évolué. Les améliorations constantes dans l'électronique embarquée, les commandes de vol et la fabrication additive ont permis la prolifération de petits véhicules volants. Les « drones » font désormais partie de notre vie quotidienne et sont couramment utilisés à des fins commerciales, récréatives et militaires. Les multicoptères sont les plus répandus en raison de leur simplicité d'utilisation. Ils conviennent aux applications nécessitant une grande dextérité en vol, comme l'enregistrement vidéo, la manipulation et les tâches d'itération homme-robot. Cependant, ils présentent souvent une capacité de charge, un rayon d'action et une endurance limités. Les véhicules à voilure fixe sont mieux adaptés aux vols de longue durée, car leur poids est équilibré par la portance générée par les ailes, améliorant ainsi l'efficacité du vol et la capacité de charge utile. Cependant, ils sont plus difficiles à contrôler et nécessitent une piste d'atterrissage spécifique. Les véhicules hybrides, caractérisés par la présence d'ailes et la capacité de décoller et d'atterrir verticalement, ont attiré l'attention de la communauté de la robotique aérienne. Les robots à décollage et atterrissage verticaux (VTOL) représentent une solution intermédiaire, capable de parcourir de longues distances avec une charge utile tout en conservant un fonctionnement simplifié. Leur application dans des scénarios réels est encore rare, et des défis techniques doivent être résolus pour permettre leur application à grande échelle. La principale contribution de ce travail est la formulation d'une méthodologie de conception de véhicules pour les robots aériens VTOL. La thèse commence par identifier les principales lacunes liées à la conception du véhicule, à la modélisation

disciplinaire et au contrôle. Ensuite, elle présente une procédure de conception multidisciplinaire et d'optimisation basée sur trois disciplines: l'aérodynamique, la masse, et la mission. Cette méthodologie est utilisée pour concevoir un véhicule pour une compétition de drones, testé avec des campagnes d'essais en soufflerie et en vol, entraînant des modifications dans la conception. La deuxième version du véhicule est évaluée en compétition et par d'autres essais en vol, démontrant une endurance proche du niveau souhaité.

Grâce à cette expérience, la nécessité de prendre en compte d'autres disciplines, notamment les performances de l'hélice et la dynamique du vol, est validée. Ces études sont progressivement ajoutées au problème d'optimisation. Diverses méthodes existantes pour évaluer les performances des hélices dans un écoulement oblique sont étudiées et comparées aux résultats expérimentaux, permettant de sélectionner la plus appropriée et de l'intégrer dans le processus de conception. Une méthode semi-automatique pour la génération de modèles de véhicules en 3D est présentée, améliorant la prédiction de la masse et de l'inertie tout en réduisant le temps entre la conception et les essais en vol. Les drones sont sujets aux perturbations atmosphériques, et le manque de robustesse du premier véhicule conçu confirme cette hypothèse. Pour résoudre ce problème, une analyse de la dynamique de vol en boucle fermée est ajoutée au problème d'optimisation. Cet ajout permet d'utiliser l'erreur de suivi de trajectoire comme contrainte, conduisant le processus de conception vers un véhicule plus robuste. Grâce à cette nouvelle composante, l'erreur de trajectoire en cas de vent est réduite et reste dans les limites définies. Enfin, la mission peut être modifiée et un problème d'optimisation qui associe à la fois la conception, le contrôle et la trajectoire est présenté.

Un tel processus de conception intégré, ainsi que l'étude concernant l'analyse disciplinaire et la fabrication du véhicule, pourraient être utiles pour la conception automatique de robots VTOL adaptés à la mission.

## Abstract

In the last decades, the continuous improvement in areas such as on-board electronics, flight control, and additive manufacturing has allowed the field of aerial robotics to evolve considerably. The so-called drones are now part of our everyday life, commonly employed for commercial, recreational, and military purposes. Multicopter vehicles are arguably the most widespread, mostly due to their simplicity in operations, which makes them suitable for applications that demand flight dexterity, including video recording, manipulation, and human-robot iteration tasks. However, they often have limited payload capacity, flight range and endurance. Differently, winged vehicles are better suited for longer flights and payload capacity, but are more challenging to control and generally takeoff and land horizontally, necessitating a dedicated runway. In this context, the class of hybrid vehicles, characterized by the presence of wings and the capability of taking off and landing vertically, has been attracting the attention of the aerial robotics community. "VTOL" (vertical takeoff and landing) robots represent a middle ground solution, capable of achieving long distances with payload, while maintaining a simplified operation. Their application in real life scenarios is still scarce, and there are technical challenges that need to be solved to allow their widespread application. The main contribution of this work is in the formulation of a vehicle design methodology for VTOL aerial robots. The thesis starts by identifying the main gaps related to vehicle design, disciplinary modeling, and control. Then, it presents the initial definition of a multidisciplinary design and optimization based design procedure. This methodology is used to conceive a vehicle for a drone competition, which is then evaluated with wind tunnel and flight test campaigns and redesigned. The second version of the vehicle is then assessed in competition and through further flight tests, demonstrating endurance close to the desired level. With this experience, the need to account for more disciplines, notably propeller performance and flight dynamics, is validated. Such

studies are also presented and gradually added to the optimization problem. Various existing methods for evaluating propeller performance in oblique flow are studied and compared with experimental results, allowing the most suitable to be selected and integrated into the design process. A semi-automated method for 3D vehicle model generation is then presented, improving weight and inertia prediction while reducing the time between design and test flights. In order to increase the vehicle's ability to reject disturbances "by design", a closed loop flight dynamics analysis is added to the optimization problem. With this new component, the path error in windy conditions is reduced, and stays within the defined bounds. Lastly, the notion of mission adaptability is also added, and an optimization problem that couples altogether design, control, and trajectory optimization is presented. Such an integrated design process, as well as the study regarding disciplinary analysis and vehicle manufacturing, could be helpful for the automatic design of mission tailored VTOL robots.



*Falcon 2 UAV*

### Mots clés

Conception d'aéronefs, MDO, Systèmes de contrôle, Mécanique de vol

La soutenance sera également diffusée par Teams en utilisant :

- l'identifiant de réunion : 332 836 481 256 et
- le code d'accès : Fh26Xu6S

ou via le lien :

[https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting\\_M2FjZDJmM2EtOTE5My00YzY2LWE3YmMtZjg0ZjczNzYzMzRh%40thread.v2/0?context=%7b%22id%22%3a%220ddba9e7-c2fd-4665-a6bf-4eb37e23d129%22%2c%22oid%22%3a%2224fbdf38-2914-4d21-abf1-6d6d87100502%22%7d](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_M2FjZDJmM2EtOTE5My00YzY2LWE3YmMtZjg0ZjczNzYzMzRh%40thread.v2/0?context=%7b%22id%22%3a%220ddba9e7-c2fd-4665-a6bf-4eb37e23d129%22%2c%22oid%22%3a%2224fbdf38-2914-4d21-abf1-6d6d87100502%22%7d)