

## Soutenance de thèse

**Félix POLLET** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA EDyF et intitulée «*Conception optimale de drones électriques : une approche multidisciplinaire avec analyse des incertitudes, de la tolérance aux pannes et des impacts environnementaux*»

**Le 8 mars 2024 à 9h30, salle des thèses, ISAE-SUPAERO**

devant le jury composé de

M. Jean-Marc MOSCHETTA	ISAE-SUPAERO	Directeur de thèse
M. Marc BUDINGER	INSA Toulouse	Co-directeur de thèse
M. Scott DELBECQ	ISAE-SUPAERO	Co-encadrant de thèse
M. Frank THIELECKE	Technische Universität Hamburg-Harburg	Rapporteur
M. Hamid BEN AHMED	ENS Rennes	Rapporteur
M. Franck CAZAURANG	Université de Bordeaux	
Mme Céline BADUFLE	Airbus Operation SAS	
M. Alexis LAURENT	Danmarks Tekniske Universitet	

**Résumé** Les drones ont connu un développement intensif ces dernières années. En raison de leur rentabilité et de leur polyvalence, ces véhicules devraient gagner en popularité dans un large éventail d'applications, telles que la livraison de colis, la surveillance de lignes électriques et l'agriculture de précision. Parallèlement, le développement de nouvelles technologies et leur intégration sur diverses architectures de drones élargissent les possibilités de conception. Il en résulte un besoin accru pour des approches de conception holistiques permettant une meilleure intégration des technologies, un temps de développement plus court et une plus grande modularité. Cette thèse développe et met en application une méthodologie pour la conception de drones électriques multirotors, à voilure fixe et hybrides à décollage et atterrissage verticaux (VTOL). La plateforme ainsi développée permet le dimensionnement optimal d'un drone à partir de spécifications arbitraires sur la mission, les choix technologiques et l'architecture, en utilisant une approche multidisciplinaire. À partir d'un ensemble de modèles analytiques comprenant des lois d'échelle et des régressions, une méthodologie générique de dimensionnement est proposée. La méthodologie repose sur une formulation multidisciplinaire et optimale de conception (MDO) qui permet une convergence rapide vers la solution présentant les meilleures performances. En particulier, l'application de cette approche permet d'évaluer rapidement les effets d'une modification du cahier des charges. Dans un deuxième temps, les incertitudes relatives aux modèles et à la disponibilité des composants optimaux sur le marché sont évaluées. Pour atténuer les incertitudes critiques en matière de performances des drones, la méthodologie de dimensionnement est étendue pour permettre l'optimisation de la conception à partir de catalogues de composants existants en lieu et place de modèles physiques. Enfin, la thèse aborde deux aspects spécifiques de la conception des drones liés à la réglementation et aux enjeux sociétaux. D'une part, les récentes réglementations émises par l'Agence européenne de la sécurité aérienne (AESA) imposent un certain niveau de sûreté pour l'opération des drones. Dans cette optique, une approche est proposée pour évaluer la contrôlabilité de diverses architectures en cas de défaillance d'un rotor ou d'une surface de contrôle. L'évaluation est notamment reliée à la méthodologie de conception précédemment développée afin d'assurer un dimensionnement avec un certain niveau de tolérance aux pannes. D'autre part, l'acceptation sociétale des drones est étroitement liée aux préoccupations environnementales, incluant, entre autres, le changement climatique et la consommation de ressources. Cette problématique est abordée par le développement et l'intégration d'une discipline environnementale dans l'outil de conception. Cette approche permet d'évaluer la sensibilité des

impacts environnementaux aux exigences de la mission et aux hypothèses technologiques, ainsi que de minimiser les impacts environnementaux dès les premières phases du processus de conception. La thèse contribue ainsi au développement d'un cadre de référence pour optimiser la conception des drones électriques avec une approche multidisciplinaire. De ce fait, les contributions de la thèse sont particulièrement adaptées pour la conception de futurs drones dont le déploiement sera soumis à des problématiques de marché, de sûreté et de contraintes environnementales.

**Mots clés :** Optimisation Multidisciplinaire, Dimensionnement Préliminaire, Drones, Analyse d'incertitudes, Tolérance aux pannes, Evaluation des impacts environnementaux

**Summary:** Unmanned aerial vehicles (UAVs) have undergone intensive development in recent years. Owing to their cost-effectiveness and versatility, UAVs are expected to gain popularity in a wide range of applications, such as parcel delivery, power line monitoring and precision farming. Concurrently, the development of new technologies and their integration into various drone concepts is expanding the range of design alternatives. This is driving the need for holistic design approaches with better technology integration, faster development time and greater modularity. The thesis develops and implements a methodology for the conceptual design of electric multirotor, fixed-wing and hybrid vertical take-off and landing (VTOL) UAVs. The framework enables the optimal sizing of a UAV from arbitrary specifications on the mission, technological choices and architecture, using a comprehensive multidisciplinary approach. Starting from a set of analytical models including scaling laws and regressions, a generic sizing methodology is developed. The proposed methodology relies on an efficient multidisciplinary design and optimization (MDO) formulation, which enables fast convergence to the UAV candidate with best performances. In particular, the application of this approach enables to rapidly assess the effects of changes in the requirements. Next, the uncertainties surrounding the models and the availability of optimal components on the market are assessed. To mitigate critical uncertainties in UAV performance, the sizing methodology is extended to allow the design to be optimized using catalogues of existing components instead of models. Finally, the thesis develops two specific aspects of UAV design related to regulatory and societal challenges. On the one hand, recent regulations issued by the European Union Aviation Safety Agency (EASA) impose a level of safety for specific categories of UAVs. To this end, an approach is proposed to assess the controllability of various architectures in the event of failures. The assessment is further linked to the design framework to achieve fault-tolerance sizing of the rotors and control surfaces. On the other hand, societal acceptance of UAVs is strongly related to environmental concerns, including but not limited to climate change. This challenge is addressed by developing and integrating an environmental discipline into the design framework. The novel approach enables to assess the sensitivity of environmental impacts to mission requirements and technological assumptions, as well as minimizing environmental burdens at the earliest design stages. The thesis contributes to the development of a unified framework for optimizing the design of electric UAVs with a holistic approach. As such, it is relevant to future UAVs designed for applications subject to market, regulatory and environmental issues.

**Keywords:** Multidisciplinary Design Optimization, Preliminary Sizing, UAV, Uncertainty Analysis, Fault-tolerance, Environmental Impacts Assessment