



Proposition de thèse
au Centre de Recherche de l'Ecole de l'Air (CREA)

Modélisation aéroélastique d'une voilure composite flexible à grand allongement optimisée pour le concept de drones solaires HALE

L'objet de cette thèse est de développer une modélisation aéroélastique adaptée aux phases de préconception d'une voilure de très grand allongement, très flexible et conçue avec des matériaux composites. L'approche est multidisciplinaire et vise à rechercher une optimisation des performances aérodynamiques et structurales, plus spécifiquement pour les voilures fixes de drones solaires HALE (Haute Altitude Longue Endurance).

Etablissement d'inscription :

Ecole de l'Air - CREA : Centre de Recherche de l'Ecole de l'Air. Base aérienne 701, 13661 SALON AIR.

Directeurs de thèse au CREA :

Cette thèse sera codirigée par Annie LEROY, Maître de Conférences-HDR en aérodynamique et Olivier MONTAGNIER, enseignant-chercheur en dynamique des structures et interactions fluide/structure. Sébastien KOLB, enseignant-chercheur au CREA en mathématiques appliquées et mécanique du vol participera également à l'encadrement de cette thèse.

Co-financement envisagé : Bourse cofinancée par l'Ecole de l'Air et par la DGA (Appel à projets thèses AID classiques). Salaire brut mensuel : $\approx 1900\text{€}$

Date début : Octobre 2020

Contacts pour information :

Envoyer CV, lettre de motivation et relevé de notes du Master à annie.leroy@ecole-air.fr, olivier.montagnier@ecole-air.fr.

Contexte et état de l'art

Les drones solaires HALE à voilure fixe, comme le prototype Helios de la NASA (Figure1) font partie des concepts innovants pour des applications notamment dans le domaine de l'observation et des télécommunications [1,2]. La conception d'un tel drone demeure un défi majeur posé aux concepteurs d'aéronefs, notamment concernant la voilure nécessairement de grand allongement, très flexible et soumise à des grands déplacements. Malgré l'emploi de matériaux composites carbone/époxy pour minimiser la masse et maximiser la résistance de la voilure, ces voilures sont extrêmement souples et particulièrement sujettes à des phénomènes d'interaction fluide/structure comme le flottement. La performance aéroélastique de ce type de voilure, mesurée sur la stabilité et la durée de vie de ces structures, reste un verrou scientifique et technologique sur lequel des efforts de recherche doivent être menés pour en améliorer la modélisation et la simulation, tout en ayant recours à des essais expérimentaux en soufflerie et en vol comme les travaux décrits dans [3] pour validation. De ce fait, il est nécessaire de déterminer les caractéristiques dynamiques de ces structures très flexibles en tenant compte de leur comportement non linéaire (grands déplacements), du couplage avec la dynamique du vol de l'aéronef, et de les optimiser en tirant parti, par exemple des propriétés particulières des matériaux composites. Les charges qui résultent essentiellement des manœuvres en vol, et des rafales ou des turbulences de l'air demeurent aussi complexes à évaluer et à modéliser. Mais ceci est indispensable pour identifier celles qui sont critiques pour le dimensionnement de la structure.



HP01 High-Altitude Configuration August 2001



HP03-2 on Takeoff June 2003

Figure 1 : **Helios Prototype Aircraft – NASA**

L'activité au CREA sur les drones HALE solaires a démarré par des travaux sur l'optimisation multidisciplinaire basée sur des modèles simplifiés. Récemment, la thèse de Bertrand Kirsch [4] a permis de se concentrer sur un point particulier qui est l'apport de l'anisotropie des composites sur les voilures. Ces travaux ont permis de développer un code de calcul pour la simulation d'une voilure souple composite anisotrope (appelé GEBTAero [5]), permettant notamment de déterminer les vitesses critiques d'instabilités (divergence et/ou flottement), mais aussi de mettre en évidence des instabilités aéroélastiques en soufflerie sur des plaques composites anisotropes. A ce jour, le modèle développé se limite à la modélisation de l'aéroélasticité de l'aile encastree, ce qui correspond au vol stationnaire d'un drone. Or, en 2003, l'analyse de l'accident du drone Helios de la NASA [6] **a montré que les modes aéroélastiques sur ce type de drones devaient être simulés en tenant compte des mouvements du drone et des effets de rafales.** D'autre part, le modèle ne tient pas compte du décrochage potentiel des profils durant les oscillations de la voilure entrainant les cycles limites clairement observés en soufflerie. L'objectif de la thèse est donc de développer une modélisation aéroélastique complète et adaptée aux phases de préconception de telles voilures, pouvant simuler la réponse de la structure à une rafale par exemple.

Programme de la thèse

Le programme de la thèse a pour point de départ l'outil de modélisation développé dans [4,5] et se décomposera en plusieurs tâches.

Le code est basé sur un couplage fort d'une théorie de poutre anisotrope, en grands déplacement et rotation, à un modèle aérodynamique instationnaire analytique bidimensionnel. L'ensemble devra être conçu de manière à contenir le coût de calcul tout en étant modulaire, et de manière à faciliter son implémentation au sein d'une plateforme d'optimisation multidisciplinaire, comme par exemple openMDAO.

Tout d'abord, il s'agira d'introduire la mécanique du vol du drone afin de pouvoir prendre en compte le couplage des modes rigides de l'aéronef avec les modes aéroélastiques de la voilure. Un modèle de décrochage devra aussi être implémenté pour améliorer la modélisation aérodynamique existante afin de permettre la simulation du vol d'un drone HALE réel soumis par exemple à une rafale. Ensuite, les effets de non-linéarités provenant de l'aérodynamique ou de la structure seront étudiés en vue de simuler et d'analyser des cycles limites et donc d'améliorer la prédiction du comportement aéroélastique des plaques composites en soufflerie. Une autre contribution pourra porter sur l'étude d'une commande du drone dans des situations pouvant mener à la perte de contrôle et au crash de l'appareil. Enfin, une expérience modèle pourra être développée en laissant libre un ou plusieurs degrés de liberté sur le support des plaques composites. L'objectif est la mise en place d'un nouveau moyen de validation du code aéroélastique complet, et son application pour produire des solutions optimales de voilure simple utilisant le tissage aéroélastique par exemple comme initié dans [4,5,7].

Candidat recherché : Le candidat doit être titulaire d'un Master 2 recherche et/ou diplôme d'ingénieur avec une spécialisation en mécanique des structures et/ou mécanique des fluides. Des connaissances/compétences en aérodynamique et/ou mécanique du vol seront appréciées, ainsi qu'une appétence pour les approches interdisciplinaires et pour le développement d'outils de simulations numériques avec approche open source.



PhD position offer

Aeroelastic modeling of a high aspect ratio composite wing optimised for the solar HALE UAV concept

The purpose of this thesis is to develop an aeroelastic model adapted to the predesign phases of a very high aspect ratio and flexible wing designed with composite materials. The approach is multidisciplinary and aims at optimizing aerodynamic and structural performances, more specifically for the fixed wings of solar HALE (High Altitude Long Endurance) UAV concept.

Establishment:

French Air Force Academy Research Center

Ecole de l'Air - CREA (Centre de Recherche de l'Ecole de l'Air), Base aérienne 701, 13661 SALON AIR.

Supervisors: Annie LEROY, Olivier MONTAGNIER, Sebastien KOLB

Gross salary/month: $\approx 1900\text{€}$ (a co-funding to the French government defense agency (DGA) has been requested)

Start date : October 2020

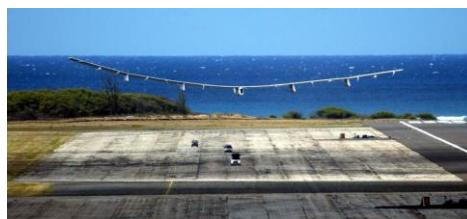
How to apply: Send CV, cover letter and transcript of grades, to annie.leroy@ecole-air.fr, olivier.montagnier@ecole-air.fr.

Context and objectives

HALE fixed-wing solar UAVs, such as NASA's Helios prototype (Figure 1), are among the innovative concepts for applications in the field of observation and telecommunications [1,2]. The design of such a solar UAV remains a major challenge for aircraft designers, especially concerning the wing, which is necessarily very long, very flexible and subject to large displacements. Despite the use of carbon/epoxy composite materials to minimize the weight and maximize the resistance of the wing, these wings are particularly vulnerable to fluid/structure interactions such as torsional divergence and flutter. The aeroelastic performance of this type of wing remains a scientific and technological challenge on which research efforts must be carried out to improve its modelling and simulation [3]. Therefore, it is necessary to determine the dynamic characteristics of these highly flexible structures taking into account their non-linear behaviour (large displacements), coupling with aircraft flight dynamics. Loads that result mainly from in-flight manoeuvres and gusts or turbulence in the air also remain complex to assess and model. But this is essential to identify those that are critical for the design of the structure.



HP01 High-Altitude Configuration August 2001



HP03-2 on Takeoff June 2003

Figure 1 : Helios Prototype Aircraft – NASA

Research activities at CREA on solar HALE UAVs started with work on multidisciplinary optimization based on simplified models. Recently, Bertrand Kirsch's PhD thesis [4] has led to the development of a computational code for the simulation of an anisotropic composite flexible wing (called GEBTAero [5]), allowing to determine the critical speeds of instabilities (divergence and/or flutter), but also to highlight aeroelastic instabilities in wind tunnels on anisotropic composite plates. The model developed is a solution

based on the geometrically exact beam theory coupled with a two-dimensional unsteady finite state aerodynamic model implemented into an open source solver. To date, the model does not take into account airfoil stall during the oscillations of the wing resulting in the limit cycles clearly observed in wind tunnel tests. Moreover, in 2003, the analysis of the NASA Helios UAV accident [6] showed that the aeroelastic modes on this type of UAV had to be simulated taking into account the UAV's motions and gust effects. The objective of the thesis is thus to extend the capacities of the model with the addition of flight mechanics and a stall model, in a tightly coupled manner. This kind of full aeroelastic model, being able to simulate the response of the structure to a gust for example, is required for pre-design phases of such wings.

Work program

The thesis program is based on the modeling tool developed in [4,5]. The code is based on a strong coupling of an anisotropic beam theory, in large displacement and large rotation, to a two-dimensional analytical unsteady aerodynamic model. The computational code will be developed to contain the computational cost while being modular and to facilitate its implementation within a multidisciplinary optimization platform, such as openMDAO.

First, the flight mechanics of the UAV will be modeled in order to take into account the coupling of the rigid modes of the aircraft with the aeroelastic modes of the wing. Then, a stall model will be implemented to improve the existing aerodynamic modeling in order to simulate the flight of a real HALE UAV subjected to a gust for example. The effects of non-linearities coming from aerodynamics or structures will be studied in order to simulate and analyse limit cycles and thus improve the prediction of the aeroelastic behaviour of the composite plates already tested in the wind tunnel [4]. In order to validate new model developments, these experiments could be improved by releasing one or several degrees of freedom for the support of the composite plates. Another contribution may concern the study of UAV control in situations that could lead to loss of control and aircraft crash. Lastly, the final objective is the implementation of new means for validating the complete aeroelastic modeling, and its application to produce optimal single-wing solutions using aeroelastic tailoring for example as initiated in [4,5,7].

Profile requirements: Candidates must hold a Master 2 research and/or an engineering degree in structural mechanics and/or fluid mechanics. The candidate must have a pronounced taste for interdisciplinary approaches, computer programming and for the development of numerical simulation tools with open source approaches. Knowledge in aerodynamics and/or flight mechanics will be appreciated.

References

1. CESTINO Enrico, Design of solar high altitude long endurance aircraft for multi payload & operations. *Aerospace science and technology*, 2006, vol. 10, no 6, p. 541-550.
2. MONTAGNIER, Olivier, Drones solaires : la quête du vol perpétuel, dans Les drones aériens : passé, présent et avenir. Approche globale, sous la direction de S. Mazoyer, J. de Lespinois, E. Goffi, G. Boutherein, C. Pajon, Paris, *La Documentation française*, pp. 491-501, 2013. ISBN : 978-2-11-009376-9
3. CESNIK, Carlos ES, SENATORE, Patrick J., SU, Weihua, *et al.* X-HALE: A very flexible unmanned aerial vehicle for nonlinear aeroelastic tests. *AIAA journal*, 2012, vol. 50, no 12, p. 2820-2833.
4. KIRSCH Bertrand, Apport de l'anisotropie des matériaux composites aux performances aéroélastiques des ailes à grand allongement de drones HALE, Thèse de l'Université d'Aix Marseille, 2019.
5. KIRSCH Bertrand, MONTAGNIER Olivier, BÉNARD Emmanuel, FAURE Thierry, Tightly coupled aeroelastic model implementation dedicated to fast aeroelastic tailoring optimisation of high aspect ratio composite wing, *Journal of Fluids and Structures*, in press, 2020.
6. NOLL, Thomas E., BROWN John M., PEREZ-DAVIS Marla E., ISHMAEL Stephen D., TIFFANY Geary C. & GAIER Matthew, Investigation of the Helios Prototype Aircraft Mishap - Volume I, NASA, 2004.
7. KIRSCH Bertrand, MONTAGNIER Olivier, BÉNARD Emmanuel, FAURE Thierry, Numerical and experimental study of aeroelastic tailoring effect using flexible composite laminates for HAPS application, in International Forum on Aeroelasticity and Structural Dynamics (IFASD), Savannah, June 10, 2019.