

Soutenance de thèse

Vincent GUIBERT soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'ENAC et intitulée «*Modélisation Hybride Polynomiale Globale de l'Aérodynamique d'un Drone à Voilure Fixe en Décrochage*»

Le 6 juillet 2023 à 09h30, salle des thèses ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

M. Jean-Philippe CONDOMINES	Enseignant-Chercheur ENAC	Directeur de thèse
M. Mark LOWENBERG	Professeur University of Bristol	Rapporteur
M. Guillaume MERCERE	Maître de conférences Université de Poitiers	Rapporteur
M. Jean-Marc BIANNIC	Directeur de recherche ONERA	Co-directeur de thèse
Mme Isabelle FANTONI	Directrice de recherche (LS2N)	
M. Charles POUSSOT-VASSAL	Maître de recherche ONERA	Examineur

Résumé : La commande d'un avion en cours du ou après le décrochage a longtemps été une problématique majeure de l'aéronautique, les premières études ayant été publiées dès les années 1950. Ces dernières années, ce problème a même connu un regain d'intérêt suite au développement de la mobilité urbaine. En effet, l'extension des missions des avions, et des avions sans pilotes en particulier, ne peut se poursuivre sans que la sécurité d'autres usagers des espaces aériens, du personnel au sol et des infrastructures soit assurée. De nombreux écueils se dressent devant un auteur s'attelant à ce sujet, le principal étant le manque d'une modélisation fiable du comportement d'un avion durant et après le décrochage. En effet, bien que de multiples études aient été menées sur la modélisation du comportement d'un avion sur une enveloppe de vol étendue, aucune ne s'est à ce jour imposée comme la solution privilégiée. De plus, les méthodes locales (CFD, splines, etc.), qui sont souvent les plus précises, sont très complexes et peu adaptées aux applications d'analyse et de commande, prévenant leur utilisation dans un contrôleur embarqué. L'objectif de cette étude est ainsi de proposer un modèle de la dynamique d'un avion sur une enveloppe de vol étendue qui soit simultanément précis et compatible avec les outils d'analyse et de commande existants. Les modèles hybrides, déjà utilisés dans divers domaines pour modéliser des relations complexes, sont particulièrement bien adaptés à cette tâche. En effet, ils sont capables de modéliser les hystérésis, dont une est présente lors du décrochage, tout en maintenant un faible nombre de modes, minimisant leur impact lors de leur analyse et leur commande. Lorsqu'ils sont associés dans les modèles hybrides polynomiaux à des sous-modèles polynomiaux, ils permettent de plus de ne pas apporter d'information a priori dans le processus d'identification, prévenant l'apprentissage de composantes non-physiques. Enfin, les modèles hybrides polynomiaux sont linéaires en leurs paramètres, ce qui facilite leur identification. C'est pourquoi cette étude propose, après un examen de la littérature, un formalisme pour la modélisation par modèles hybrides polynomiaux. En particulier, une formule analytique est présentée pour leur identification hors ligne sous contraintes affines d'égalité. Elle est suivie par divers algorithmes pour leur identification en ligne sous contraintes affines d'égalité et d'inégalité. De plus, un nouveau processus de réduction de modèle par découplage du coût est proposé afin de minimiser la complexité des modèles identifiés. Cette présentation du formalisme est suivie de l'application à la modélisation du décrochage d'un avion à partir d'expériences menées à l'ENAC, d'abord dans un régime quasi stationnaire, puis dans un

régime instationnaire. Cette étude se conclut par l'analyse du modèle instationnaire ainsi obtenu, montrant sa compatibilité avec la méthode d'analyse des bifurcations. Lors de cette étude du décrochage d'un avion, trois modèles successifs ont été développés : un premier modèle quasi stationnaire à deux modes, un deuxième modèle quasi-statique à quatre modes, plus précis et moins complexe, et un modèle instationnaire, lui aussi à quatre modes.

Mots-clés : modélisation, identification, décrochage, drone, commande

Summary: The objective of this thesis is to develop a solution for taking care of piloting tasks during which the human intervention is problematic, such as during stalling. Modern control solutions do not provide precise enough models to reach this goal, in particular due to the dimension of the considered drones, which evolve in the low Reynolds domain. Starting from the experiment, this thesis will study the precise modelling of a low Reynolds drone, the non-linear control based on this modelling and its implementation on an embedded computer.

Keywords: modelling, identification, stall, UAV, control