

Analytical modelling and preliminary design of a small-scale experimental whirl flutter demonstrator Université de Liège

Auteur : Di Puma, Léo

Promoteur(s) : Salles, Loïc

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil en aérospatiale, à finalité spécialisée en "aerospace engineering"

Année académique : 2025-2026

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/26179>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Analytical modelling and preliminary design of a small-scale experimental whirl flutter demonstrator

Léo Di Puma

Supervisor - Professor Loïc Salles

Thesis presented to obtain the degree of: Master of Science in Aerospace Engineering - University of
Liège

Academic year 2025-2026

Abstract

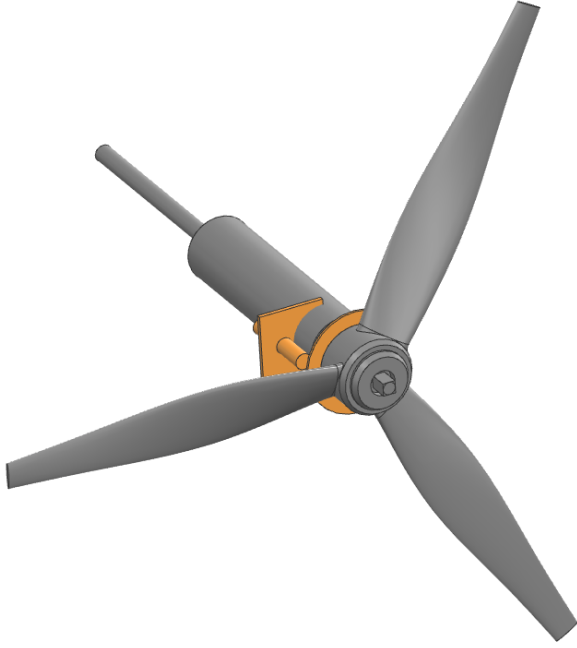
The whirl flutter phenomenon is one of the main concerns when designing aeroelastic structures such as tiltrotor or pylon-propeller systems. First identified by Taylor and Browne in 1938, whirl flutter is a self-excited dynamic aeroelastic instability. It is driven by the coupling between the gyroscopic effects induced by the rotating propeller and the aerodynamic forces acting on the propeller blades. Due to the gyroscopic coupling, two modes appear, namely the forward and backward whirling modes. Depending on the configuration, their stability behaviour can differ.

This work aims to design a small-scale whirl flutter demonstrator in order to support the validation of a finite element-based numerical method for whirl flutter prediction, currently under development at the University of Liège. In particular, the present work investigates the whirl flutter behaviour of two configurations that differ by their source of flexibility. The first one considers a flexible pylon, while the second one considers a rigid pylon with linear traction springs. The results are obtained using an analytical method, which relies on several assumptions and uses a quasi-steady aerodynamic approach.

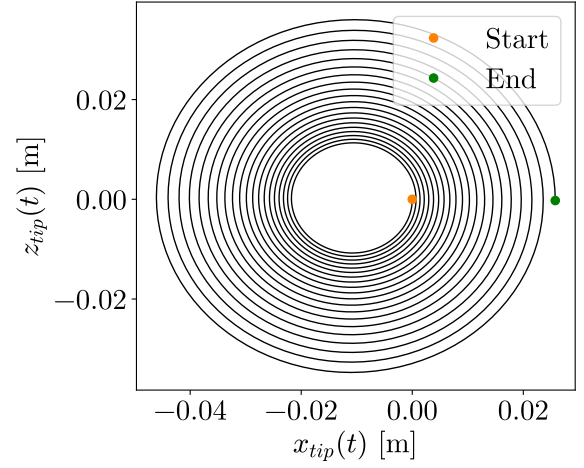
For both configurations, the results are obtained for the APC 15.75x13-3 propeller, with a rotational speed of 2000 rpm and free-stream velocities ranging from 7 m/s to 13 m/s. They show that only the backward whirling mode leads to whirl flutter, while the forward mode remains stable. Both configurations are compared, and the spring-based one appears to be more convenient from an experimental point of view, since the flexible pylon exhibits significant static tip deflection and rotation.

Finally, experimental procedures for the flexible pylon configuration are presented, and all the components are described in detail. The motor-pylon connection is designed, while the motor-propeller link is also discussed. Additionally, the propeller rotational speed control is described through the use of a pulse-width modulation device.

Meaningful illustrations



(a) Front view of the experimental setup CAD.



(b) Tip displacements time evolution between $t = 0$ and $t = 20 T$ of the backward whirl flutter mode for the final flexible pylon geometry.

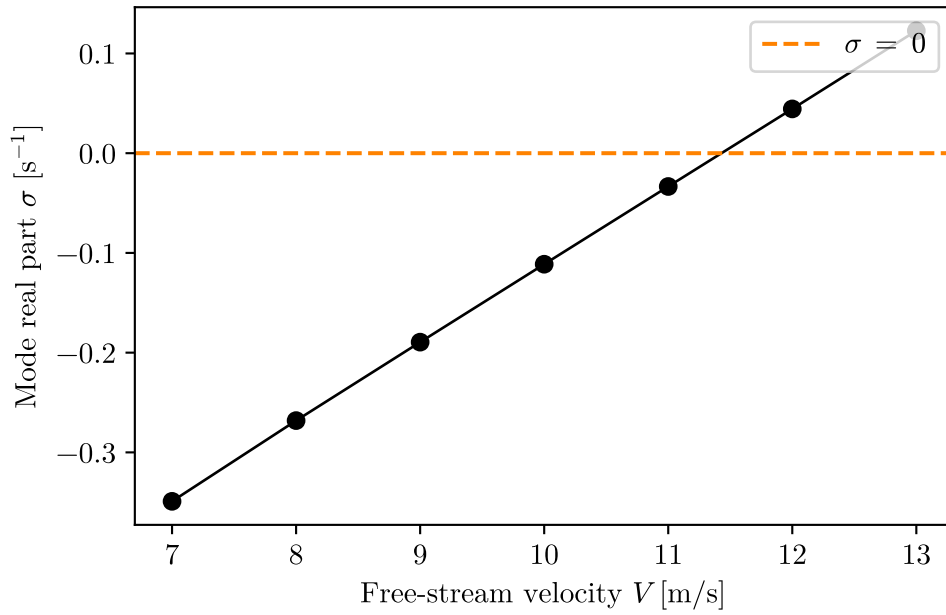


Figure 2: Evolution of the real part σ of the backward whirl flutter mode as a function of the free-stream velocity V for the final flexible pylon geometry.

Modélisation analytique et conception préliminaire d'un démonstrateur expérimental de flottement gyroscopique à petite échelle

Léo Di Puma

Promoteur - Professeur Loïc Salles

Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du grade de: Ingénieur civil en aérospatiale -
Université de Liège

Année académique 2025-2026

Résumé

Le phénomène de flottement gyroscopique est l'une des principales préoccupations lors de la conception de structures aéroélastiques telles que les systèmes tiltrotor ou pylône-hélice. D'abord identifié par Taylor et Browne en 1938, le flottement gyroscopique est une instabilité aéroélastique dynamique auto-entretenu. Il est entraîné par le couplage entre les effets gyroscopiques induits par l'hélice en rotation et les forces aérodynamiques agissant sur les pales de l'hélice. En raison du couplage gyroscopique, deux modes apparaissent, à savoir les modes de précession directe et indirecte. Selon la configuration, leur comportement en stabilité peut différer.

Ce travail vise à concevoir un démonstrateur de flottement gyroscopique à petite échelle afin de soutenir la validation d'une méthode numérique basée sur les éléments finis pour la prédiction du flottement gyroscopique, actuellement en développement à l'Université de Liège. En particulier, le travail étudie le comportement en flottement gyroscopique de deux configurations qui diffèrent par leur source de flexibilité. La première considère un pylône flexible, tandis que la seconde considère un pylône rigide avec des ressorts de traction linéaires. Les résultats sont obtenus à l'aide d'une méthode analytique, qui repose sur plusieurs hypothèses et utilise une approche aérodynamique quasi-stationnaire.

Pour les deux configurations, les résultats sont obtenus pour l'hélice APC 15.75x13-3, avec une vitesse de rotation de 2000 rpm et des vitesses d'écoulement allant de 7 m/s à 13 m/s. Ils montrent que seul le mode de précession indirecte mène au flottement gyroscopique, tandis que le mode de précession directe reste stable. Les deux configurations sont comparées et celle basée sur les ressorts apparaît comme plus pratique d'un point de vue expérimental, puisque le pylône flexible révèle une flèche statique en bout et une rotation significatives.

Enfin, des procédures expérimentales pour la configuration à pylône flexible sont présentées, et tous les composants sont décrits en détails. La liaison moteur-pylône est conçue, tandis que la liaison moteur-hélice est également discutée. De plus, la gestion de la vitesse de rotation de l'hélice est décrite à travers l'utilisation d'un dispositif de modulation de largeur d'impulsion.