

**Master thesis and internship[BR]- Master's thesis : Computational method for
whirl-flutter instability analysis for flexible propellers[BR]- Integration internship**

Auteur : Denoël, Camille

Promoteur(s) : Salles, Loïc

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

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

Année académique : 2024-2025

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/23267>

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.

Computational method for whirl-flutter instability analysis for flexible propellers

This thesis is dedicated to the development of the *FerBeam* finite element framework in Python from scratch. It aims at investigating *whirl-flutter* phenomenon for flexible propellers mounted on flexible wings. Equations of motion were thereby developed in the fixed frame for the stator and in the rotating frame for the rotor and finally coupled together using an innovative coupling algorithm applied to the context of finite elements. The framework proved its capabilities to handle user-imputed arbitrary beam structures. The uncoupled part of the framework is fully verified using a commercial software but the coupling algorithm remains only partially verified.

Stability of the resulting periodic equations of motion is tackled using a Floquet analysis and its time integration is studied, revealing a numerically stiff behavior. Through the choice of stiff integrator namely the *BDF* formulas, "tensorialization" and parallelization of the problem, large computations could be done in a reasonable amount of time allowing to build precise stability diagrams.

Results reveal that, for a typical 4-bladed wing-propeller structure, 2 unstable regions are found, the first one being due to *whirl flutter* and the second due to *divergence* at larger rotation speeds. Impact of the blade dynamics is found to be non-negligible for high speed instabilities with up to 15% of blade flapping due to vibrations of the blades. Necessity of taking into account wing dynamics is highlighted as it greatly deteriorates stability for very flexible wings with large energy exchanges between rotor and stator parts. Not taking into account coupling disregards the existence of the first unstable region leading to dangerous and unpredicted failures due to whirl flutter, further showing the necessity of coupling.

A Master's thesis in order to complete the degree of Master of Science in Aerospace
Engineering

Author: **Camille Denoël**, supervisor: **Loïc Salles**

UNIVERSITÉ DE LIÈGE - FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

Année académique : 2024 - 2025