

**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

---

Cette thèse est dédiée au développement d'un framework d'éléments finis Python, *FerBeam*, qui a pour but de prédire les instabilités au flottement gyroscopique de propulseurs flexibles. Les équations du mouvement sont développées dans le repère fixe pour la partie fixe et dans le repère tournant pour la partie tournante et couplées ensemble en utilisant un algorithme de couplage inédit appliqué au contexte des éléments finis. Le framework a démontré sa capacité à traiter des structures poutres arbitrairement données par l'utilisateur. La partie non-couplée de l'implémentation python est validée en comparaison d'un logiciel commercial. La partie couplée pu uniquement être partiellement vérifiée. La stabilité du système résultant après couplage fut étudiée à l'aide de l'analyse de stabilité de Floquet. Le caractère numériquement raide des équations fut démontré et surmonté par le choix d'un intégrateur raide, *BDF*, par la "tensorialisation" et la parallélisation du problème ce qui permit de réaliser de diagrammes de stabilité précis et complets.

Les résultats révèlent que, pour une structure aile-propulseur typique, 2 régions d'instabilité sont à prendre en compte. La première provient d'une instabilité au flottement gyroscopique alors que la seconde d'une instabilité par divergence, à vitesses de rotation plus importantes. L'impact de la dynamique des pales du propulseur fut également mise en évidence avec jusqu'à 15% de son mouvement de battement du à ses vibrations internes. Il a également été prouvé qu'il est nécessaire de prendre compte de la dynamique de l'aile étant donné qu'elle détériore la stabilité de la structure si l'aile est suffisamment flexible. Enfin, ne pas tenir compte du couplage revient à ignorer l'existence de la première région d'instabilité au flottement gyroscopique montrant ainsi l'importance de la procédure de couplage.

Une thèse de master dans le but de compléter le master en sciences de l'ingénieur  
orientation aérospatiale.

Auteure: **Camille Denoël**, Superviseur: **Loïc Salles**

UNIVERSITÉ DE LIÈGE - FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

Année académique : 2024 - 2025