

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

**Intitulé : Méthodologies d'analyse aéroélastique non-linéaire pour la simulation et l'expérience**

Référence : **MAS-DAAA-2024-04**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse : 2024**

**Date limite de candidature : Juin 2024**

**Mots clés :** Aéroélasticité, méthodes de résolution temporelles, méthodes de résolution fréquentielles, flottement, divergence, aéro-servoélasticité, réponse à la rafale

### Profil et compétences recherchées

Diplôme d'ingénieur ou Master 2 avec spécialisation en dynamique des structures, mécanique des fluides ou aéroélasticité. Formation Centrale, Mines, Ponts, X, ENSTA.

Formation en méthodes numériques appréciée.

Capacités de programmation python, Matlab, ou julia requises, les développements devant avoir lieu en julia.

### Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Cette thèse s'inscrit dans un effort général de recherche pour des outils de simulation permettant de mieux modéliser des phénomènes complexes apparaissant dans les aéronefs (avions, drones, hélicoptères, VTOLS). En particulier, cette thèse s'intéresse aux phénomènes aéroélastiques, et de plus en plus aéro-servo-élastiques, faisant intervenir la structure mécanique de l'aéronef, l'écoulement aérodynamique l'entourant, ainsi qu'éventuellement ses commandes de vol et les automates associés.

Historiquement, les problématiques d'aéroélasticité des aéronefs étaient étudiées avec outils à « basse fidélité » impliquant, dans le cas d'une structure complexe

- Un modèle du comportement structural basé sur les modes de la structure. De tels modèles modaux peuvent rendre compte du comportement identifié en essais GVT. Cependant, ceux-ci constituent une modélisation linéaire de la structure considérée qui l'est rarement. Les travaux en cours en identification de comportement structural vont par ailleurs permettre d'accéder à des modèles modaux non-linéaires, il faut donc que les outils de modélisation et de simulation associés puissent en tirer parti. Par ailleurs, les structures aéronautiques modernes impliquent toutes des surfaces de contrôle actives nécessitant une modélisation servo-élastique du comportement de la structure.
- Un modèle du comportement aérodynamique instationnaire de l'écoulement autour de la structure en vibration, généralement basé sur la méthode des doublets (*Doublet Lattice Method*, DLM) ou la méthode des vortex instationnaire (*Unsteady Vortex Lattice Method*, U-VLM), qui sont toutes deux des méthodes potentielles. Celles-ci ne peuvent aujourd'hui pas prendre en compte des comportements structuraux linéaires complexes (qui tiennent compte de déphasages entre composants) pourtant déjà identifiés en GVT depuis de nombreuses années, puisque les modes utilisés dans les calculs sont des modes réels, et encore moins des comportements structuraux non-linéaires, sans une adaptation notable. Par ailleurs, des effets de sources aérodynamiques ou structures particulières localisées (moteurs, emports ...) ne sont pas considérés. La prise en compte d'effets de contrôleurs est là encore absente des outils disponibles à l'ONERA.

De nombreux travaux de recherche ont mis en évidence des améliorations à potentielles à intégrer aux simulations « basse fidélité » pour l'application sur des structures réelles. Parmi ces travaux, on peut citer l'utilisation des méthodes de HBM / TSM pour la résolution du flottement ([thèse de Johann Moulin](#)), de méthodes UVLM couplées à des modèles non-linéaires de structures ([travaux du DLR](#)) tant en termes de modélisation structurale (inerties des structures, modes complexes non-linéaires ([thèse Denis Laxalde](#)), [modes normaux non-linéaires](#)) qu'en termes de modélisation aérodynamique ([méthodes DLM 3D](#), source

de type disk actuator) ou servo élastique. Par ailleurs, d'autres travaux de recherche en cours à l'ONERA consistent à identifier expérimentalement des comportements non-linéaires de structures d'aéronefs. Il est donc nécessaire de développer en parallèle les méthodes numériques de simulation permettant de tirer parti de ces nouvelles données expérimentales pour compléter la chaîne d'analyse des structures.

Cette thèse vise en premier lieu à la bonne modélisation des comportements aéroélastiques de structures présentant de nombreuses sources de frottement. Un cas typique concerne les avions d'arme et les drones, sur lesquels les emports constituent des sources localisées de non-linéarité, qui peuvent avoir des conséquences catastrophiques sur le comportement aéroélastique. Les applications civiles sont aussi soumises à ces non-linéarités localisées, notamment au niveau de certaines liaisons structurales (longeron-fuselage). D'autres difficultés inhérentes aux aéronefs seront aussi étudiées, principalement les couplages entre les comportements structuraux non-linéaires, les comportements de qualité de vol, et les contrôleurs.

Objectifs de la thèse :

1. Dans un premier temps, le doctorant devra participer à affiner la stratégie de simulation de flottement pour prendre en compte les physiques complexes mentionnées plus haut. Notamment, l'interaction entre les mouvements de corps rigide, les mouvements flexibles linéaires et non-linéaires ainsi que les asservissements. Le doctorant devra adapter les méthodes de calcul aérodynamique instationnaire à ces comportements complexes de la structure.
2. Ensuite, les travaux s'orienteront vers l'implémentation de la stratégie de résolution détaillée, notamment en tirant partie du savoir-faire de l'ONERA en simulation aéroélastique numérique.
3. Enfin, les méthodologies développées seront évaluées sur un ou des cas d'applications réelles. Un cas d'application semble tout indiqué pour évaluer ces méthodologies : le drone [FLIPASÉD](#) (voilure très souple, frottements, couplage avec les modes de corps rigide et lois de commande complexes, données GVT et comportement aéroélastique en vol connu)

### Collaborations envisagées

Cette thèse est envisagée en collaboration avec le laboratoire de mécanique de l'ENSTA Paris-Saclay

#### Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Département Aérodynamique Aéroélasticité Acoustique

Lieu (centre ONERA) : Chatillon

**Contact** : Nicolas Guérin

Tél. : 01 46 73 46 95 Email : [nicolas.guerin@onera.fr](mailto:nicolas.guerin@onera.fr)

#### Directeur de thèse

Nom : Cyril Touzé

Laboratoire : ENSTA UME

Tél. : 01 69 31 97 34

Email : [cyril.touze@ensta-paris.fr](mailto:cyril.touze@ensta-paris.fr)

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>