www.onera.fr

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

PROPOSITION DE POST-DOCTORAT

Intitulé : Réduction de modèles pour l'aéroélasticité non linéaire par la méthode des Modes Normaux Non linéaires

Model order reduction for non linear aeroelasticity by the Nonlinear Normal Mode approach

Référence : **PDOC-DAAA-2023-02**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début du contrat : décembre 2023	**Date limite de candidature :**

Durée : 12 mois, éventuellement renouvelable une fois - Salaire net : environ 25 k€ annuel

Mots clés : Modes Normaux Non linéaires, Forme normale, Modèle réduit non linéaire, Grands déplacements, Aéroélasticité, Flottement

Profil et compétences recherchées

Docteur en dynamique des structures, mathématiques appliquées ou méthodes numériques

Présentation du projet post-doctoral, contexte et objectif

Dans le but de réduire leur consommation de carburant et donc leur impact environnemental, les structures aéronautiques du futur seront de plus en plus légères et élancées. Cette volonté rend cependant ces structures de plus en plus souples, ce qui complique leur conception. En effet, lorsqu'une structure subit des vibrations de grande amplitude, son comportement sort du domaine linéaire et des phénomènes non linéaires apparaissent tels que de l'hystérésis, des résonances internes, des effets raidissants ou assouplissants, etc. Dans les simulations couplées fluide-structure qui permettent de prédire le comportement aéroélastique de l'appareil, il n'est plus possible de représenter le comportement vibratoire de la structure par un petit nombre de ses modes propres car ceux-ci perdent leur propriété d'invariance quand le comportement de la structure devient non linéaire. La construction d'un modèle réduit de la structure, faisant intervenir un petit nombre de degrés de liberté généralisés, mais malgré tout capable de représenter son comportement non linéaire, est un enjeu majeur pour pouvoir simuler des structures industrielles couplées à des écoulements complexes.

Pour construire un tel modèle réduit, on propose d'utiliser les "modes non linéaires" (NNM pour Nonlinear Normal Modes) qui sont une généralisation de la notion de mode propre à des systèmes non linéaires dans la mesure où ils sont construits de manière à retrouver cette propriété d'invariance propre aux modes linéaires classiques. Les méthodes actuelles de calcul des modes non linéaires reposent sur la méthode de paramétrisation des variétés invariantes qui permet des calculs convergés à un ordre arbitraire, et directement applicable à des discrétisations éléments finis.

Les développements les plus récents de cette technique de réduction ont montré qu'on pouvait l'appliquer à des problèmes de grande taille (quelques millions de degrés de liberté) avec des non-linéarités géométriques (polynomiales d'ordre 2 et 3 en la variable de déplacement), tout en obtenant des gains colossaux en temps de calcul et une précision excellente. Parmi les propositions de la littérature, on peut distinguer d'une part une approche intrusive qui permet, grâce à la prise en compte des calculs élémentaires au niveau éléments finis, de pousser les développements à un ordre arbitraire et d'assurer la convergence du modèle réduit, et d'autre part, une approche non-intrusive, qui permet d'utiliser un code de calcul éléments-finis du commerce pour dériver les quantités nécessaires, mais limite alors les développements à l'ordre trois.

L'objectif de ce travail sera d'évaluer la pertinence de ces deux approches (intrusive vs non-intrusive) dans le cadre du couplage fluide-structure dans l'optique de pouvoir à terme effectuer des simulations aéroélastiques prenant en compte des mouvements (non linéaires) de grande amplitude de structures de type industriel. Les résultats actuels permettent de traiter le cas de systèmes forcés périodiquement. Un

des aspects de ce travail sera de valider leur utilisation pour simuler la réponse forcée non linéaire de la structure à des efforts aérodynamiques imposés, par exemple par un écoulement instationnaire, que l'on pourra supposer périodique pour commencer, avant d'étendre la méthode aux cas de forçages aérodynamiques plus réalistes.

On envisagera dans un premier temps une application couplant un modèle réduit de la structure représentée par des NNM à des écoulements de type VIV (Vortex Induced Vibrations). Dans un second temps, on considèrera une application à des structures fixes plus réalistes de type aile d'avion, potentiellement de grand allongement, soumises par exemple à des perturbations représentatives de rafales. Enfin, on cherchera à évaluer les possibilités d'extension de l'approche à des cas de voilures tournantes (turbomachines, hélicoptères, etc.). En terme de modélisation des efforts aérodynamiques, une modélisation analytique simplifiée linéaire, de type Theodorsen, ou non linéaire, de type décrochage dynamique, sera utilisée pour valider l'approche. Un couplage du modèle réduit non linéaire de la structure avec un code de dynamique des fluides numérique, tel qu'elsA, sera envisagé ensuite.

Finalement, on cherchera à utiliser ce modèle pour tester l'influence des non-linéarités structure sur la prédiction de l'apparition d'instabilités de flottement et ainsi mettre en évidence un éventuel phénomène de hard-flutter dû à la structure. Concernant les possibilités d'utiliser ce modèle pour analyser le comportement post-flottement, les développements théoriques importants, nécessaires pour adapter l'approche variété invariante autour d'un cycle limite, pourront être défrichés afin de juger de la pertinence de proposer ce sujet dans le cadre d'une future thèse de doctorat.

Collaborations extérieures

Ce travail sera effectué en collaboration avec Cyril Touzé, HDR, professeur de l'ENSTA et membre de l'IMSIA

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique

Lieu (centre ONERA) : Châtillon

Contact : Jean-Sébastien Schotté

Tél. : 34627 Email : schotte@onera.fr