

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Assimilation de données rapide par réduction de modèle pour la reconstruction d'écoulement

Référence : **MFE-DAAA-2025-30**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 1/10/2025

Date limite de candidature : 15/6/2025

Mots clés

Réduction de modèle, Deep Learning, Assimilation de données, reconstruction d'écoulement

Profil et compétences recherchées

Master 2 / diplôme d'ingénieur

Compétences en mécanique des fluides compressibles et méthodes numériques. Des connaissances sur le machine learning et/ou en assimilation de données sont un plus

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Contexte

La thèse est co-financée par la région Nouvelle Aquitaine dans le cadre de la chaire PROVE qui s'achève en 2027. Les travaux seront menés au sein de la nouvelle équipe commune ONERA-INRIA « MONHADE ». La thèse aura lieu au centre de Meudon de l'ONERA, mais déplacements à Bordeaux pour des réunions scientifiques et collaboration avec l'équipe commune sont prévus pendant la thèse.

Problématique et objectif

Les essais en soufflerie sont essentiels pour tester et valider les conceptions aérodynamiques des avions. Cependant, ces tests génèrent une grande quantité de données expérimentales, souvent partielles (seulement quelques variables mesurées, généralement à quelques points spécifiques) et bruitées, ce qui limite leur exploitation pour comprendre et caractériser les écoulements en mécanique des fluides.

L'objectif principal de cette thèse est de développer des méthodes rapides permettant d'assimiler ces données dans des simulations aérodynamiques, afin de reconstruire des champs d'écoulements complets en temps réel en exploitant des modèles réduits. Cela passe par l'intégration de techniques avancées de réduction de modèle et d'assimilation de données pour rendre les modèles numériques plus rapides et plus fiables. Le but est de corriger les modèles réduits en temps réel à partir des données mesurées en soufflerie. L'objectif final est de poser les bases d'une méthode qui pourrait être implémentée dans les souffleries dans un futur proche, facilitant ainsi et accélérant la prise de décision pour la certification des avions. Il s'agirait alors d'une avancée majeure pour l'exploitation de campagnes d'essais.

Méthodologie

L'étudiant se concentrera sur des méthodes de réduction de modèle qui simplifient les simulations tout en conservant l'essentiel des informations. Il explorera des approches innovantes, telles que la décomposition orthogonale propre (POD) couplée à des techniques récentes de Deep Learning [1] et d'hyper-réduction [2], qui consiste à réduire encore davantage le coût computationnel en facilitant la discrétisation des termes non linéaire du problème continu. L'assimilation de données se fera par des stratégies telles que l'Ensemble Kalman Filter (EnKF) et l'algorithme d'Expectation-Maximization [3]. L'étudiant sera formé à toutes ces méthodes en début de thèse par l'équipe d'encadrement.

Démarche

La thèse se structurera en plusieurs étapes clés. Tout d'abord, l'étudiant se familiarisera aux bases théoriques des méthodes de réduction de modèle et d'assimilation de données, en commençant par des cas simples en 1D ou 2D. Dans un premier temps, l'accent sera mis sur la réduction de modèle, notamment la décomposition POD, sans recourir aux techniques avancées comme l'hyper-réduction ou les autoencodeurs. Cela fournira un cadre initial pour aborder et mettre en œuvre des stratégies d'assimilation de données qui seront appliquées pour corriger les modèles réduits à partir d'une séquence de mesures ponctuelles (simulant un cadre expérimental).

Les méthodes et outils développés seront ensuite améliorés par l'intégration d'autoencodeurs et d'hyper-réduction, afin d'accélérer et d'optimiser l'assimilation des données. La méthode sera ensuite appliquée à un

cas plus complexe : un écoulement turbulent 3D derrière un cylindre.

À la fin de la thèse, selon les résultats obtenus, plusieurs directions de recherche pourront être explorées, comme l'extension à l'aéroélasticité et/ou aux écoulements compressibles. Ces pistes seront abordées en collaboration avec une autre thèse à l'ONERA, portant sur des techniques complémentaires appliquées spécifiquement aux cas aéroélastiques compressibles.

Ce travail permettra de développer des outils de simulation plus rapides et plus fiables, avec des applications potentielles dans les souffleries pour la validation des conceptions aérodynamiques. La démarche s'inscrit dans un cadre de recherche appliquée à l'aérodynamique, visant à offrir des solutions concrètes aux ingénieurs et chercheurs travaillant dans ce domaine.

Les travaux seront menés au sein de la nouvelle équipe commune ONERA-INRIA « MONHADE » qui démarrera officiellement en 2025.

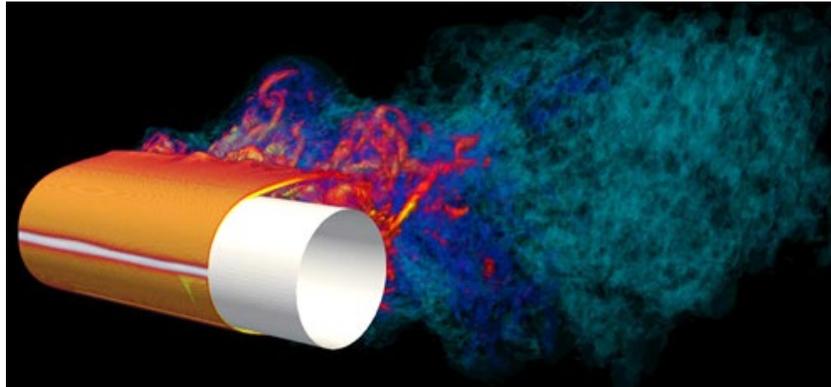


Figure 1: cas du cylindre 3D turbulent qui sera traité dans la seconde moitié de la thèse.

[1] Menier, E., Bucci, M. A., Yagoubi, M., Mathelin, L., & Schoenauer, M. (2023). CD-ROM: Complemented Deep-Reduced order model. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 410, 115985.

[2] Farhat, C., Avery, P., Chapman, T., & Cortial J. (2014). Dimensional reduction of nonlinear finite element dynamic models with finite rotations and energy-based mesh sampling and weighting for computational efficiency. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 98.9, 625-662.

[3] Cocucci, T. J., Pulido, M., Lucini, M., & Tandeo, P. (2021). Model error covariance estimation in particle and ensemble Kalman filters using an online expectation–maximization algorithm. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 147(734), 526-543.

Collaborations envisagées

Chaire PROVE (Nouvelle Aquitaine)

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Aérodynamique, Aéroélasticité, Acoustique

Lieu (centre ONERA) : Meudon (MASH/MAPE)

Contact : S. Beneddine / V. Mons / M. G. Carlino

Tél. : 01 46 23 51 67 Email :

samir.beneddine@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Samir Beneddine

Laboratoire : ONERA/DAAA

Tél. : 01 46 23 51 67

Email : samir.beneddine@onera.fr

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