



Prédiction hybride d'écoulements autour de profils par assimilation de données *Hybrid prediction of flows around airfoils through data assimilation*

Soutenance de thèse – Arthur VERVYNCK (Doctorant DAAA/MAPE)

Judi 21 décembre 2023 à 14 h 00

En présentiel : Salle AY-02-63 à l'ONERA/Meudon

et en distanciel : Jitsi : https://rdv.onera.fr/21_12_2023_soutenance_Arthur_Vervynck

Devant le jury composé de :

- **Directeur de Thèse :**
 - * Frédéric CHAMPAGNAT (Directeur de recherche), ONERA DTIS/IVA, Palaiseau, France
- **Rapporteurs :**
 - * Taraneh SAYADI (Chargée de recherche), Sorbonne Université, Paris, France
 - * Dominique HEITZ (Chargé de recherche), INRAE, Rennes, France
- **Examineurs :**
 - * Jean-Camille CHASSAING (Professeur), Sorbonne Université, Paris, France
 - * Marcello MELDI (Professeur), ENSAM Lille, Lille, France
 - * Luc PASTUR (Professeur associé), ENSTA Paris, Palaiseau, France
 - * Charles SOUSSEN (Professeur), CentraleSupélec, Gif-sur-Yvette, France
- **Encadrant :**
 - * Vincent MONS (Chargé de recherche), ONERA DAAA/MAPE, Meudon, France

---0---

Résumé/Abstract

Cette thèse s'intéresse à la caractérisation d'écoulements instationnaires en couplant des approches expérimentales et numériques (CFD). La PIV (Particle Image Velocimetry) est une méthode expérimentale optique qui fournit des champs de vitesses sur un domaine plan ou volumique dont les limitations en résolution spatiale et temporelle réduisent l'accès à certaines quantités d'intérêt, par exemple en proche paroi. La CFD peut résoudre des échelles très fines mais reste limitée en raison d'incertitudes de modélisation ou sur la spécification des entrées des simulations. La combinaison de méthodes expérimentales et numériques par assimilation de données (AD) est un moyen de dépasser ces limitations pour améliorer la prédiction et la caractérisation d'écoulements complexes.

Une première partie de la thèse s'est consacrée à caractériser par mesures PIV l'écoulement autour d'un profil d'aile à bas Reynolds et d'étudier un phénomène d'oscillation basse fréquence apparaissant proche du décrochage. Un traitement des données expérimentales a été effectué par des techniques spectrales ainsi qu'une analyse des structures spatio-temporelles cohérentes par Spectral Proper Orthogonal Decomposition (SPOD). Cependant le temps total de l'acquisition PIV limite l'analyse de ce phénomène basse fréquence. L'assimilation des champs moyens obtenus expérimentalement avec des simulations Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) suivie d'une analyse de résolvant permettent de compléter ces données et de répondre aux limitations constatées.

.../...

L'assimilation est alors un moyen d'observer le phénomène d'oscillation basse fréquence ainsi qu'un bulbe de décollement laminaire dans la zone faiblement résolue par les mesures PIV.

Une deuxième partie de la thèse s'intéresse au filtrage de données instationnaires avec en vue le développement de techniques d'assimilation permettant la complétion de mesures expérimentales en temps réel. Dans ce contexte, une méthode d'AD de faible complexité numérique basée sur le filtrage de Kalman et la réduction de modèle par Dynamic Mode Decomposition (DMD) est développée. La méthodologie proposée, le Catalogue KF (CatKF), est multi-modèle et permet de gérer les incertitudes résultantes de la méconnaissance de paramètres expérimentaux comme la vitesse en soufflerie ou encore l'angle d'attaque d'une aile. L'efficacité du CatKF est testée sur un sillage de cylindre 2D, et l'écoulement autour de deux cylindres carrés côte-à-côte 2D. L'idée fondamentale du CatKF est également étendue pour proposer deux méthodologies originales permettant d'estimer les paramètres incertains.

-0-

This thesis focuses on the characterization of unsteady flows by coupling experimental and numerical approaches (CFD). PIV (Particle Image Velocimetry) is an optical experimental method that provides velocity fields on a planar or volumetric domain whose spatial and temporal resolution limitations reduce access to certain quantities of interest, for example in the near-wall region. CFD can resolve very fine scales but remains limited due to uncertainties in modelling or in the input specifications of the simulations. The combination of experimental and numerical methods by data assimilation (DA) is a way to overcome these limitations to improve the prediction and characterization of complex flows.

A first part of the thesis focused on characterizing the flow around a low-Reynolds-number airfoil by PIV measurements and studying a low-frequency oscillation phenomenon appearing near stall. A processing of the experimental data was performed using spectral techniques and an analysis of coherent spatio-temporal structures by Spectral Proper Orthogonal Decomposition (SPOD). However, the total acquisition time of the PIV limits the analysis of this low-frequency phenomenon. The assimilation of the mean flow fields obtained experimentally with Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) simulations followed by a resolvent analysis allows to complete these data and to address the observed limitations. Assimilation is then a way to observe the low-frequency oscillation phenomenon as well as a laminar separation bubble in the poorly resolved region by PIV measurements.

The second part of the thesis focuses on the filtering of unsteady data with the aim of developing assimilation techniques to complement experimental measurements in real time. In this context, a low complexity data assimilation method based on Kalman filtering and model reduction by Dynamic Mode Decomposition (DMD) is developed. The proposed methodology, the Catalogue Kalman Filter (CatKF), is multi-model and allows to handle uncertainties resulting from the lack of knowledge of experimental parameters such as wind tunnel speed or the angle of attack of an airfoil. The efficiency of the CatKF is tested on a 2D cylinder wake and the flow around two 2D side-by-side square cylinders. The fundamental idea of the CatKF is also extended to propose two original methodologies for estimating uncertain parameters.

---0---

Mots clés/Keywords

ASSIMILATION DE DONNÉES ; PIV ; MODÈLES RÉDUIT ; DÉCROCHAGE

DATA ASSIMILATION ; PIV ; REDUCED-ORDER MODEL ; STALL