Projet de demande de bourse de thèse DGA 2013-01-24

Titre : « Transition à la turbulence en écoulements réalistes : prise en compte des incertitudes et assimilation de données »

Proposé par : Prof. Pierre Sagaut, Institut d'Alembert, Université Pierre et Marie Curie, UMR CNRS 7190

Contact : 01 44 27 54 68 – pierre.sagaut@upmc.fr

Contexte et Motivations

Les phénomènes de transition à la turbulence ont une importance majeure en aérodynamique et en hydrodynamique, aussi bien sur la performance des engins (traînée, portance) que sur leur stabilité. Les outils classiques de simulation numérique pour l'analyse physique et la conception sont des outils déterministes qui, pour un écoulement parfaitement défini (géométrie de l'engin, conditions d'opération) de façon déterministe vont permettre d'accéder à l'écoulement et aux propriétés induites de l'engin.

De tels outils existent et sont aujourd'hui utilisées couramment par tous les grands acteurs industriels et de recherche publics mondiaux, aussi bien pour la simulation numérique stationnaire qu'instationnaire. La Mécanique des Fluides Numériques est aujourd'hui suffisamment mature pour permettre la simulation sur des configurations réalistes à échelle 1.

Toutefois, le réalisme des prévisions est limité par le fait que la configuration d'écoulement doit être complètement et parfaitement prescrite lors de ma simulation, alors que les engins réels opèrent dans des conditions incertaines (car changeantes et/ou imparfaitement connues) et sont parfois eux-mêmes imparfaitement connus (détails géométriques, état de surface, …). La prise en compte de ces incertitudes lors des simulations numériques représente un changement de paradigme de simulation, puisqu'aux solutions déterministes classiques on substitue une solution probabiliste, qui mesure la variation de la solution en fonctions des paramètres incertains qui décrivent la configuration étudiée. Cela est l'objet de la théorie de la Quantification des Incertitudes, dont les premières applications à la mécanique des fluides numériques est datent du début des années 2000, donnant naissance à l'Aérodynamique Stochastique. Les applications sont encore restreinte à des configurations très simples, avec un nombre limité de paramètres incertains. L'Institut d'Alembert est parmi les pionniers en France en ce qui concerne les applications aux écoulements transitionnels ou turbulents pour des applications aéronautiques. La majorité des études portent sur les écoulements pleinement turbulents, et très peu de travaux ont été consacrés aux phénomènes de transition, qui, outre leur grande importance pour les applications, induisent de nouveaux problèmes théoriques.

Projet proposé

Le présent projet de thèse a pour premier objectif d'étendre les outils d'analyse de stabilité des écoulements et de la transition à la turbulence pour prendre en compte des incertitudes sur le champ aérodynamique de base ou les perturbations.

Pour cela, et en liaison étroite avec le Prof. J.C. Robinet (Laboratoire DynFluid, Arts et Métiers ParisTech), il est proposé d'étendre les outils déterministes d'analyse de stabilité des écoulements avec des méthodes de quantification des incertitudes (Polynômes de Chaos et Kriging en priorité).

Ces outils étendus seront appliqués au cas d'une couche limite compressible en interactions avec un choc oblique, pour lequel de nimbreux résultats expérimentaux, théoriques et numériques existent.

Le second objectif du projet de thèse est, par des méthodes d'Assimilation de Données, d'identifier les paramètres incertains du modèle numérique pour représenter de manière optimale une réalisation expérimentale particulière. Cette réalisation numérique optimisée, obtenue par minimisation d'une fonctionnelle de coût qui mesure l'écart aux données expérimentales, est la meilleure possible avec un outil de simulation déterminée. L'Assimilation de Données, pratiquée depuis des décennies pour la météorologie et l'océanologie, est encore pratiquement inexplorée pour les applications en aérodynamique. Elle offre de nombreuses perspectives, comme :

- Permettre la caractérisation de la signature d'un moyen d'essai particulier, c'est-à-dire d'identifier ses défauts et/ou les corrections à apporter aux simulations numériques pour les reproduire
- Permettre la ré-analyse des engins, c'est-à-dire de reproduire fidèlement le fonctionnement singulier d'un engin en identifiant les paramètres du calculs qui permettront de reproduire une séquence particulière. Ceci est particulièrement utile pour analyser les accidents de fonctionnement et/ou les évènements rares qui peuvent se produire.

Dans la deuxième partie de la thèse, il est proposé de coupler Assimilation de Données et analyse de stabilité et de la transition, pour démontrer le potentiel applicatif de ces méthodes. Comme pour la première partie, le cas de l'interaction choc/couche limite sera utilisé.

Références du demandeur sur la thématique

1. Jouhaud, J.C., Sagaut, P., Labeyrie, B. (2006) A Kriging approach for CFD/Wind tunnel data comparison. **J. Fluids Engng.** 128(4), pp. 847–855
2. Jouhaud, J.C., Sagaut, P., Montagnac, M., Laurenceau, J. (2007) A surrogate-model based multi-disciplinary shape optimization method with application to a 2D subsonic airfoil. **Computers & Fluids** 36(3), 520–529

3. Lucor, D., Enaux, C., Jourdren, P. Sagaut, P. (2007) Stochastic Design Optimization : Application to Reacting Flows. **Comput. Meth. Applied Mech. Engng.** 196 (49-52), 5047–5062
4. Lucor, D., Meyers, J., Sagaut, P. (2007) Sensitivity analysis of LES to subgrid scale-model parametric uncertainty using Polynomial Chaos. **J. Fluid Mech.** 585, 255–279

5. Laurenceau, J., Sagaut, P. (2008) Efficient Response Surfaces of Aerodynamic Functions with Kriging and Cokriging. **AIAA Journal** 46(2), 498–507
6. Jouhaud, J.C., Sagaut, P., Enaux, B. Laurenceau, J. (2008) Sensitivity analysis and multi-objective optimization for LES numerical parameters. **J. Fluids Engng.** 130(2), 021401

7. Ko, J., Lucor, D., Sagaut, P. (2008) Sensitivity of Two-Dimensional Spatially Developing Mixing Layer With Respect to Uncertain Inflow Conditions. **Phys. Fluids** 20, 077102 (20 pages)
8. Deneuve, A., Druault, Ph., Marchiano, R., Sagaut, P. (2010) A coupled time reversal/complex differentiation method for aeroacoustic sensitivity analysis: towards a source detection procedure. **J. Fluid Mech.** 642, 181–212
9. Simon, F., Guillen, Ph., Lucor, D., Sagaut, P. (2010) A gPC-based approach to uncertain transonic aerodynamics. **Comput. Meth. Applied Mech. Engng.** 199, 1091-1099
10. Laurenceau, J., Meaux, M., Montagnac, M., Sagaut, P. (2010) Comparison of gradient-based and gradient-enhanced response-surface-based optimizers. **AIAA Journal** 48(5), 981-994
11. Braconnier, T., Ferrier, M., Jouhaud, J.C., Montagnac, M., Sagaut, P. (2011) Towards an adaptive POD/SVD surrogate model for aeronautic design. **Computers & Fluids** 40, 195-209
12. Meldi, M., Sagaut, P., Lucor, D. (2011) A stochastic view of isotropic turbulence decay. **J. Fluid Mech.** 668, 351-362

13. Lucor, D., Ko, J., Sagaut, P. (2011) Effects of base flow uncertainties on Couette flow stability. **Computers & Fluids** 43, 82-89
14. Meldi, M., Lucor, D., Sagaut, P. (2011) Is the Smagorinsky coefficient sensitive to uncertainty in the form of the energy spectrum? **Phys. Fluids** 23, 125109 (14 pages)
15. Meldi, M., Salvetti, M.V., Sagaut, P. (2012) Quantification of errors in large-eddy simulations of a spatially-evolving mixing layer using polynomial chaos **Phys. Fluids** 24, 035101 (25 pages)
16. Han, X., Sagaut, P., Lucor, D. (2012) On sensitivity of RANS simulations to uncertain turbulent inflow conditions. **Computers & Fluids** 61, 2-5