

ED SMAER

Sujet de thèses 2013

Laboratoire : *INSTITUT JEAN LE ROND D'ALEMBERT UMR 7190*

Etablissement de rattachement : *UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE (PARIS VI)*

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : *DIDIER LUCOR CNRS Section 10*

Codirection et section CNU et CNRS : *ANCA BELME CNU 60*

Titre de la thèse :

Méthode hybride pour le contrôle des erreurs et incertitudes des simulations d'écoulements compressibles

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : OUI

Résumé du sujet :

Le présent projet scientifique vise à adapter des outils numériques encore inemployés ou très peu exploités pour une analyse couplée des erreurs et incertitudes dans les écoulements compressibles. L'application de ces outils permettra d'apporter des éléments de réponse à des questions fondamentales ouvertes relatives à la fiabilité des simulations limitée par les incertitudes et les erreurs numériques et de modèles. Certains travaux traitent ces deux aspects de la simulation séparément sans effectuer un réel couplage. Ce projet a pour but de définir un estimateur anisotrope basé sur une solution adjointe visant le couplage des erreurs stochastiques avec les erreurs numériques et appliqué aux fonctionnelles d'intérêt. L'anisotropie dans l'espace stochastique a été identifiée dans de nombreux travaux, notamment pour des problèmes non linéaires, dominés par des chocs, mais sa prise en compte reste limitée aux méthodes de raffinement de type h ou h - p avec un ratio d'anisotropie faible. Dans ce projet on envisage l'amélioration par des méthodes plus avancées, déjà connues dans l'espace discret spatial mais non (ou pas suffisamment) exploitées dans l'espace paramétrique. Les différentes sources d'erreurs stochastiques et d'approximation seront identifiées et leur couplage sera traité dans un contexte stochastique non-intrusif pour le paramètre incertain et déterministe pour la dimension spatiale. De plus, l'inférence avec les méthodes adjointes d'analyse des sensibilités et/ou les méthodes variationnelles d'assimilation des données est envisageable pour les différentes erreurs stochastiques (quadrature). Les expériences numériques de l'aérodynamique compressibles seront plus particulièrement visées dans ce projet.

Sujet développé (à présenter en 2 ou 3 pages maximum, en précisant notamment le contexte, les objectifs, les résultats attendus)

L'étude et la maîtrise des écoulements compressibles représentent un enjeu essentiel dans de nombreux domaines (aéronautique, aérospatial, militaire, etc.). La recherche scientifique moderne et l'ingénierie s'appuient de plus en plus sur les simulations numériques pour prédire le comportement de ces écoulements. Toutefois le réalisme des prévisions est limité par une description incomplète (inexacte) de la configuration de l'écoulement due aux connaissances imparfaites ainsi qu'aux erreurs numériques dues aux calculs approchés.

La prise en compte des incertitudes lors des simulations numériques est l'objet de la théorie de la quantification des incertitudes, appliquée à la mécanique des fluides depuis un peu plus d'une dizaine d'années, mais qui a su trouver sa place dans un contexte où la fiabilité des simulations présentent un enjeu industriel et académique important. De nombreuses questions restent ouvertes, les principales limitations à ce jour restent le nombre des paramètres incertains, malgré les efforts en ce sens. L'interaction des méthodes de propagation intrusives et non-intrusives des incertitudes avec d'autres disciplines est devenue évidente. On pourrait citer par exemple l'utilisation des méthodes de réduction d'ordre utilisé aussi dans le remarquablement de la taille des problèmes à résoudre ou un certain nombre des paramètres incertain est considéré, les méthodes adaptatives (h, h-p) employées dans le contexte stochastique, et plus récemment l'utilisation des aspects de l'assimilation des données dans ce même contexte.

Les erreurs en simulation, souvent confondues ou interprétées comme une forme d'incertitude, ne sont pas dues à une insuffisance de connaissance mais typiquement au remplacement de la réalité par une suite de modèles ou approximations. Le contrôle des erreurs numériques n'est pas une thématique nouvelle, l'investigation des méthodes d'estimation d'erreur reste néanmoins d'actualité et reste en perpétuelle évolution. Dans ce projet on se focalise sur les erreurs numériques dominant une simulation, les erreurs d'approximation.

Une connaissance aigüe des incertitudes et des erreurs numériques est indispensable pour quantifier la fiabilité des calculs, mais cela permet également de définir une base pour le contrôle adaptatif des phénomènes physiques. De nombreux travaux traitent ces deux aspects de la simulation séparément sans effectuer un réel couplage.

Le présent projet scientifique vise à adapter des outils numériques encore inemployés ou très peu exploités pour une analyse couplée des erreurs et incertitudes dans l'aérodynamique des fluides compressibles, et de les appliquer pour apporter des éléments de réponse nouveaux à des questions fondamentales ouvertes.

Plus précisément, notre projet a pour but de définir un estimateur d'erreur anisotrope, basé adjoint, visant le couplage des erreurs stochastiques avec les erreurs

numériques et appliqué aux fonctionnelles d'intérêt (portance, trainée, vortex dans un sillage,...).

L'anisotropie dans l'espace stochastique a été identifiée dans de nombreux travaux, notamment pour des problèmes non linéaires, dominés par des chocs, mais sa prise en compte reste limité aux méthodes (h, h-p) avec un ratio d'anisotropie faible. Ainsi, dans un premier temps on envisage l'amélioration par des méthodes plus avancées, déjà utilisées dans l'espace discret spatial mais non-exploitées dans l'espace paramétrique (e.g. les méthodes basées sur le calcul des métriques riemanniennes). De plus, le contrôle dual "oriente fonctionnelle d'intérêt" sera réalisé par l'utilisation des méthodes adjointes, permettant ainsi l'identification des zones de forte influence.

Deuxièmement, les différentes sources d'erreurs stochastiques (truncation, quadrature, ordre d'approximation, ...) et d'approximation seront identifiées et leur nature couplée avec les erreurs d'approximation spatiale sera traitée dans un contexte stochastique non-intrusif pour le paramètre incertain et déterministe pour la dimension spatiale. En plus de la nature couplée de ces erreurs stochastiques avec les erreurs d'approximation spatiales, différentes approches seront envisageables en fonction de la nature des erreurs. Ainsi, l'inférence avec les méthodes adjointes d'analyse des sensibilités et/ou les méthodes variationnelles d'assimilation des données est envisageable pour les différentes erreurs stochastiques (quadrature).

Ces outils étendus seront appliqués aux problèmes stationnaires de l'aérodynamique compressible, l'écoulement autour d'un profil d'aile d'avion ou dans des géométries urbaines, dans la présence des chocs qui se propagent dans l'espace physique mais aussi paramétrique et un des problèmes envisagés. L'extension de notre analyse à des problèmes plus industriels avec la prise en compte du caractère instationnaire des phénomènes physiques et la multi-dimensionnalité de l'espace paramétrique est à envisager à condition que les deux premiers objectifs soient atteints.

Références :

[1] L. Mathelin and O.P. Le Maître, «Dual-Based a posteriori Error Estimate for Stochastic Finite Element Methods», COMM. APP. MATH. AND COMP. SCI, Vol. 2, No. 1, 2007

[2] A. Belme, F. Alauzet and A. Dervieux, «Time accurate anisotropic goal-oriented mesh adaptation for unsteady flows», JCP, Vol 231-19, Pag. 6323-6348, 2012

[3] T. Butler, C. Dawson and T. Wildey, « A Posteriori error analysis of stochastic differential equations using polynomial chaos expansions », SIAM J. Sci. Comput., Vol. 33, No.3, pp.1267-1291, 2011

[4] Karthik Duraisamy, Praveen Chandrashekar, « Goal-oriented uncertainty propagation using stochastic adjoints », Computers & Fluids 66 (2012) 10–20

[5] T. Butler, P. Constantine and T. Wildey, « A posteriori error analysis of parametrized linear systems using spectral methods », SIAM, vol. 33, No.1, pp. 195-209