



Sujet de Thèse 2014–2017:

Modélisation à résolution variable de la turbulence

Directeur de Thèse: I. Vallet, Maître de Conférences UPMC

Coresponsable: G.A. Gerolymos, Prof. UPMC

IJLRA, UPMC-CNRS, Université Pierre-et-Marie-Curie, Paris, France

1 Contexte et situation actuelle des travaux de l'équipe

La prédiction précise d'écoulements turbulents complexes autour de géométries complexes est un objectif majeur de la CFD (computational fluid dynamics) aérospatiale [1], et, évidemment, le traitement de la turbulence (et de la transition vers la turbulence) est un élément essentiel. Il est admis [2] que l'approche RANS continuera d'être le principal outil de conception pour les 20 prochaines années, mais en utilisant des fermetures avancées [3], à cause de sa rapidité relative, et malgré l'approximation intrinsèque associée à la fermeture des termes non-calculables. Par ailleurs, les approches DNS (direct numerical simulation) sont exactes, puisqu'elles ne nécessitent aucune fermeture approchée, mais les ressources de calcul actuelles et prévues sont largement insuffisantes pour des configurations réalistes (notamment en matière de nombre de Reynolds), rendant impossible même de gros calculs de démonstration de concept.

Entre ces 2 extrêmes, il y a plusieurs approches (LES, PANS [4], DES [5], ...), qui cherchent invariablement à simuler numériquement les structures turbulentes instationnaires qui peuvent être résolues (combinaison maillage et résolution spectrale du schéma utilisé), et doivent modéliser l'effets des structures plus petites (non-résolues). La plupart d'écoulements d'intérêt pratique comprennent des parois solides. La turbulence de paroi est caractérisée par des conditions d'anisotropie et d'inhomogénéité extrêmes, qui nécessitent des fermetures sous-maille multi-équations et anisotropes [6]. Speziale [6] a suggéré la construction de modèles sous-maille intelligents, basés, sur des équations de transport avec des coefficients de fermeture sensibles à la résolution disponible. Idéalement, ces modèles doivent tendre à un modèle RANS sous-jacent quand la résolution est grossière, et réduire progressivement l'influence du modèle sous-maille quand la résolution augmente, obtenant finalement, quand la résolution devient suffisante, des résultats DNS. Cette faculté de transition continue, de RANS à DNS, en fonction de la résolution disponible, définit les modèles à résolution variable.

L'équipe a une solide expertise de modélisation RANS [7] et d'analyse DNS [8], et des méthodes numériques associées [9, 10], disponibles en opensource [11].

2 Objectifs

L'objectif de la thèse est de contribuer à l'élaboration d'un modèle VR de la turbulence, basé sur des équations de transport pour les contraintes de Reynolds non-résolues et leur dissipation, et sa validation par comparaison avec des mesures. Les équations étant, sur le plan mathématique, tout à fait analogues aux équation RANS du même niveau de fermeture, les outils numériques disponibles [9–11]. Les principales actions sont:

¹ Développement d'un cadre théorique rigoureux: Il est essentiel, lorsqu'on développe une modélisation de la turbulence, de s'appuyer sur le équation exactes qui décrivent l'évolution des termes modélisés.

Dans notre cas, ce cadre peut être obtenu à partir des équations exactes pour les corrélation 2-points/2-temps, par moyenne spatio-temporelle partielle (filtrage). Dans la mesure où on s'intéresse à la turbulence de paroi, ces équations sont étudiées dans l'espace physique, pour des écoulements inhomogènes. Ce développement rigoureux, dans l'espace physique, constitue l'originalité de la thèse.

- ² Analyse des termes: Les différents termes dans les équations seront évalués, aussi bien à partir de résultats DNS filtrés pour différentes résolutions qu'en utilisant des mesures expérimentales fines fournies par des partenaires du projet.
- ³ Fermeture: Les termes non-calculables seront fermés en utilisant des représentations tensorielles [12], avec des coefficients déterminés par comparaison avec les résultats DNS et mesures précédents.
- ⁴ Evaluation de contrôle par jet pulsés (NASA, AVERT): Le modèle ainsi développé sera évalué (et re-optimisé) par comparaison avec des mesures expérimentales de contrôle de décollement par jets pulsés.
- ⁵ Evaluation de contrôle par jet pulsés (ONERA): Il sera ensuite évalué par comparaison avec des mesures 3-D de l'ONERA sur le contrôle d'un tourbillon 3-D par jet pulsé.

3 Cadre collaboratif

Le travail de cette thèse s'inscrit dans un projet collaboratif avec le LML et l'ONERA, et le doctorant interagira avec des chercheurs et doctorants de ces partenaires. Il utilisera notamment des données expérimentales que l'ONERA obtiendra dans le cadre du projet. Le projet, dans sa globalité, s'intéresse au contrôle actif d'écoulements 3-D décollés, et à son application au contrôle de stabilité des turboréacteurs aéronautiques.

4 Renseignements

Contact: isabelle.vallet@upmc.fr
Equipe IJLRA: FRT
Localisation: Barre 55–65, 3ème étage, Jussieu Paris 5ème
Partenariat Industriel: Projet SNECMA
Partenariats Recherche: Projet ANR NumERICCS (IJLRA, LML, ONERA)

References

- [1] VASSBERG J.C., TINOCO E.N., MANI M., BRODERSEN O.P., EISFELD B., WAHLS R.A., MORRISON J.H., ZICKUHR T., LAFLIN K.R., MAVRIPLIS D.J.: Abridged Summary of the 3. AIAA CFD Drag Prediction Workshop, *J. Aircraft* **45** (2008) 781–798.
- [2] RUMSEY C.L., SMITH B.R., HUANG G.P.: Description of a website resource for turbulence model verification and validation, AIAA Paper 2010–4742, 40. AIAA Fluid Dyn. Conf., 28 jun–1 jul 2010, Chicago [IL, USA] (2010).
- [3] GEROLYMOS G.A., LO C., VALLET I., YOUNIS B.A.: Term-by-term analysis of near-wall second moment closures, *AIAA J.* **50** (2012) 2848–2864.
- [4] GIRIMAJI S.S.: Partially-Averaged Navier-Stokes Model for Turbulence: A Reynolds-Averaged Navier-Stokes to Direct Numerical Simulation Bridging Method, *ASME J. Appl. Mech.* **73** (2006) 422–429.
- [5] TRAVIN A., SHUR M., STRELETS M., SPALART P.R.: Detached-eddy simulation past a circular cylinder, *Flow Turb. Comb.* **63** (2000) 293–313.
- [6] SPEZIALE C.G.: Turbulence Modeling for Time-Dependent RANS and VLES: A Review, *AIAA J.* **36** (1998) 173–184.
- [7] VALLET I.: Reynolds-Stress Modelling of $M = 2.25$ Shock-Wave/Turbulent-Boundary-Layer Interaction, *Int. J. Num. Meth. Fluids* **56** (2008) 525–555.
- [8] GEROLYMOS G.A., SÉNÉCHAL D., VALLET I.: Wall effects on pressure fluctuations in turbulent channel flow, *J. Fluid Mech.* **720** (2013) 15–65.
- [9] GEROLYMOS G.A., SÉNÉCHAL D., VALLET I.: Performance of Very-High-Order Upwind Schemes for DNS of Compressible Wall-Turbulence, *Int. J. Num. Meth. Fluids* **63** (2010) 769–810.
- [10] BEN NASR N., GEROLYMOS G.A., VALLET I.: Low-diffusion approximate Riemann solvers for Reynolds-stress transport, *J. Comp. Phys.* (in print [DOI:10.1016/j.jcp.2014.02.010]; accepted 11 feb 2014; preprint available at ArXiv: <http://arxiv.org/pdf/1307.2154>).
- [11] GEROLYMOS G.A., VALLET I.: aerodynamics (a library and software package for computational aerodynamics), <http://sourceforge.net/projects/aerodynamics> (2009).
- [12] GEROLYMOS G.A., LO C., VALLET I.: Tensorial representations of Reynolds-stress pressure-strain redistribution, *ASME J. Appl. Mech.* **79** (2012) 044506(1–10).