

Développement de méthodes numériques multi-échelles pour le suivi de fronts d'onde en milieu non-homogène

Domaine d'application: Calcul haute performance, EDP, système hyperbolique, discontinuité

Sujet classé prioritaire dans le GRR « Grand Réseau Régional » Haute Normandie.

Type de financement : bourse régionale Haute Normandie

Début de thèse : octobre 2013 – durée 3 ans

Directeurs de thèse :

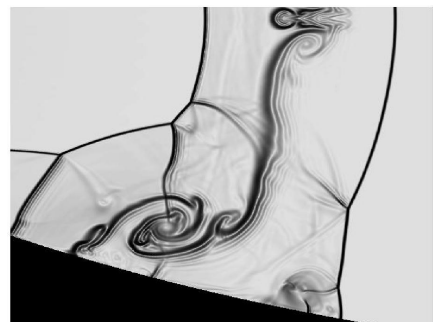
Prof. Abdellah Hadjadj, INSA de Rouen (France), E-mail: hadjadj@coria.fr

Dr. Ashwin Chinnayya, Université de Rouen, E-mail: chinnayya@coria.fr

Résumé - De part son large spectre d'applications, la simulation et la modélisation de la propagation d'ondes de choc en milieux complexes reste un sujet majeur. En effet, ces phénomènes font intervenir des problèmes multi-physiques très importants et sont présents dans des domaines très variés allant de l'astrophysique, la dynamique des gaz et celles des structures, les sciences des matériaux jusqu'à la nouvelle génération de propulseurs aéronautique. Le but de cette thèse est de mettre au point des méthodes numériques innovantes permettant de résoudre des problèmes multi-échelles et multi-physiques en tirant parti du calcul massivement parallèle. Dans le cadre de ce projet, l'accent sera mis sur les phénomènes de propagation d'ondes dans les milieux complexes parmi lesquels figurent la turbulence compressible, les détonations, la propagation haute fréquence des ondes et leur atténuation dans les milieux hétérogènes (obstacles solides). Le projet s'articule autour du concept de modularité, le couplage multi-physique reposant sur des outils adaptatifs et spécialisés dans la modélisation des divers phénomènes mis en jeu. Le code CHOC-WAVES servira de cadre pour le développement et l'application de différents modèles et méthodes. Ce code, développé au laboratoire CORIA, repose sur un solveur d'ordre élevé en différences finies dédié à la simulation des grandes échelles en mécanique des fluides compressibles.

Contenu scientifique

Les méthodes innovantes de simulations de fluides complexes avec des discontinuités (interface, front d'onde inerte ou réactif) sont en développement accéléré dans la communauté scientifique mondiale. Les méthodes les plus avancées sont basées sur le raffinement adaptatif hiérarchique de maillage (Adaptive Mesh Refinement ou AMR) tout en s'appuyant sur la formulation compressible (et la plus générale) des écoulements. La méthode AMR permet de raffiner le maillage localement, là où il s'avère nécessaire de capturer une physique plus fine (couche limite, zone de mélange, front d'onde, interface...). Cette méthode doit être combinée avec des méthodes avancées de simulation numérique : frontières immergées, maillage mobile, schémas hybrides et calcul distribué. Le savoir-faire de l'équipe Turbulence & Mélange du CORIA dans ce domaine se concrétise par le développement d'une série de codes de calcul, comme par exemple le CHOC-WAVES (COMPRESSIBLE HIGH-ORDER CODE USING WENO ADAPTIVE STENCILS), dédié aux écoulements compressibles.



Nous proposons, dans cette thèse, de faire le point sur les méthodes de multirésolution adaptatives et les méthodes de raffinement adaptatif de maillage pour la simulation des équations aux dérivées partielles évolutives, qu'elles soient de type paraboliques ou hyperboliques. Ces méthodes sont particulièrement efficaces pour des solutions qui présentent soit des singularités, soit des fronts

raides, fortement localisés en espace et se propageant dans le temps. Elles permettent alors de traiter le caractère multi-échelle spatial, et éventuellement temporel, d'un ensemble de problèmes couvrant un large spectre d'applications (dynamique des gaz, turbulence, onde de choc et détonation).

Ces outils numériques, portés au sein du code CHOC-WAVES, permettront de caractériser finement les mécanismes de développement et de propagation d'instabilités en situation de rechoc et du changement topologique de l'écoulement résultant. Pour cela, il sera également nécessaire de développer des outils d'analyse de ces écoulements, fortement transitoires pour lesquels le traitement statistique d'ensemble (communément utilisé en turbulence) n'est plus valable.

Résultats attendus

- Une des ambitions du présent projet est d'améliorer les outils numériques existants et d'en développer de nouveaux permettant de repousser les limites du calcul scientifique en mécanique des fluides compressibles.
- Les retombées pratiques de cette thèse sont :
 - o de faire connaître les avancées récentes du calcul scientifique sur ces méthodes,
 - o La réalisation de ces travaux de recherche devrait permettre d'apporter des éléments totalement nouveaux pour mieux comprendre les instationnarités des écoulements turbulents avec ondes de choc,
 - o d'évoquer les questions liées à leur implémentation (structures des données, algorithmes, ...) en lien avec les architectures de calcul émergentes (et notamment le massivement parallèle),
 - o d'aborder ces deux points sur le plan pratique (énergie et sa transformation).

Valorisation et conséquences attendues

- ✓ **Colloques et publications** : l'essentiel des résultats de cette étude sera présenté dans des colloques internationaux et publiés dans des ouvrages et/ou revues spécialisées.
- ✓ **Conséquences attendues (au plan scientifique, technique et socio-économique)**
Les travaux décrits ci-dessus s'inscrivent dans le cadre des efforts entrepris pour améliorer les performances des systèmes énergétiques (fiabilité, stabilité et réduction de nuisance...), en améliorant notamment le comportement aéro-structural des systèmes mécaniques complexes.

Les retombées attendues concernent tout particulièrement le secteur aéronautique et spatial, mais également l'automobile et l'énergie.

Laboratoire d'accueil

La thèse se déroulera au sein du laboratoire CORIA¹ à Rouen. Le laboratoire a une longue expérience dans le domaine de la simulation numérique et de la modélisation de la turbulence au sein d'écoulements complexes. Il est impliqué dans plusieurs projets d'excellences nationaux et européens (LABEX EMC3, CARNOT ESP). En particulier, le CORIA a développé, en partenariat avec les grands groupes industriels, une grande expérience dans la modélisation des écoulements compressibles, en particulier avec turbulence et/ou réactions chimiques. Les domaines d'application vont de l'aérodynamique à la combustion dans les organes de propulsion comme les moteurs fusées et les turbo-réacteurs.

Contact :

Prof. Abdellah HADJADJ
INSA de Rouen
hadjadj@coria.fr
02 32 95 97 94

Dr. Ashwin CHINNAYYA
Université de Rouen
chinnayya@coria.fr
02 32 95 36 51

¹ <http://www.coria.fr/>