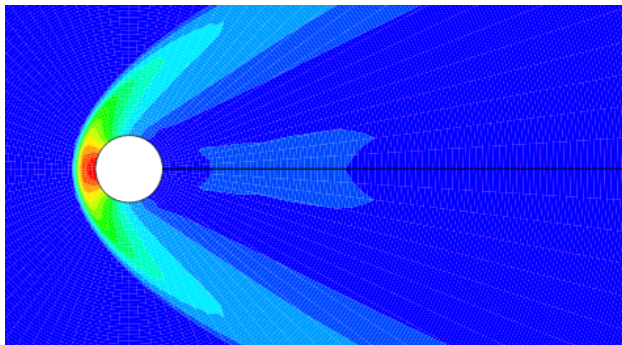


Sujet de PFE - Master 2

Étude d'une méthode multi-régime pour la dynamique des gaz

Sujet proposé par le Laboratoire de Recherche Conventioonné ANABASE, établi entre le CEA-CESTA et l'IMB.



Cadre général du projet. Lors de sa rentrée dans l'atmosphère, un véhicule spatial est confronté à des contraintes mécaniques et des flux de chaleur très importants. La conception d'un tel engin nécessite des simulations numériques précises de l'écoulement d'air qui se crée autour du véhicule tout au long de sa trajectoire. Les régimes d'écoulements rencontrés sont appelés (des plus hautes aux plus basses altitudes) : moléculaire libre, raréfié, transitionnel, continu.

Ces différents régimes peuvent être modélisés par l'équation de Boltzmann de la théorie cinétique des gaz, pour les régimes moléculaire libre, raréfié, et transitionnel, et par les équations de Navier-Stokes de la mécanique des fluides pour le régime continu.

D'un point de vue numérique, à chaque régime correspond une méthode numérique particulièrement bien adaptée : méthode analytique pour le moléculaire libre, méthode probabiliste pour la résolution de l'équation de Boltzmann en régime raréfié, méthode de résolution déterministe de l'équation de Boltzmann pour le régime transitionnel, et méthode de résolution déterministe des équation de Navier-Stokes pour le régime continu. Cependant, le régime d'écoulement n'est pas toujours clairement défini : cela peut dépendre de la forme du véhicule et des différentes zones d'intérêt.

Mathématiquement, on peut montrer que l'équation de Boltzmann tend, dans une certaine limite, vers les équations de Navier-Stokes, quand le régime devient continu : ces deux modèles sont donc consistants entre eux. Il est donc justifié de chercher à mettre au point une méthode numérique qui unifierait les méthodes évoquées ci-dessus, de façon à s'adapter automatiquement aux conditions d'écoulements réelles, sans que l'utilisateur ait à choisir a priori d'utiliser un modèle et une méthode donnée.

Jusqu'aux années 2010, des recherches d'une telle méthode unifiée ont été menées depuis plusieurs années par plusieurs équipes internationales, sans qu'aucune ne fasse réellement ses preuves. Mais en 2010, Kun Xu, de l'université de Hong-Kong, et ses collaborateurs, ont proposé une nouvelle approche extrêmement prometteuse, appelée méthode "Unified Gas Kinetic Scheme" (UGKS). Cette méthode a été validée et améliorée à de nombreuses reprises ces dernières années, mais est encore peu étudiée par d'autres équipes.

Le LRC Anabase. Le CESTA (centre de la division militaire du CEA situé au Barp près de Bordeaux) mène depuis longtemps des études physiques et numériques pour la rentrée atmosphérique, et a ainsi développé plusieurs codes de calcul pour effectuer des simulations numériques dans les régimes décrits ci-dessus. L’institut de Mathématiques de Bordeaux (IMB) collabore avec le CESTA à de telles études, dans le cadre d’un laboratoire de recherche conventionné (LRC Anabase), et apporte son expertise dans le domaine de la simulation numérique pour la dynamique des gaz. Les partenaires de ce projet souhaitent donc lancer un programme de recherche pour étudier la méthode UGKS de K. Xu, afin de vérifier si elle est bien aussi performante que ce qu’annoncent ses promoteurs.

Sujet du stage. Le but du stage est donc de comprendre les fondements de cette méthode, puis de la programmer, de la tester, et de la valider. Elle sera programmée dans le code CORBIS, développé par L. Mieussens à l’IMB.

Le stage se déroulera les 4 phases suivantes.

- Phase 1 : il faudra se familiariser avec la théorie cinétique des gaz. Un cours de M2 sera fourni ([lien vers le fichier pdf](#)).
- Phase 2 : prise en main du code CORBIS. Il faudra en comprendre les parties essentielles, puis lancer et dépouiller quelques cas tests.
- Phase 3 : étude du premier article de K. Xu [1] présentant le schéma UGKS.
- Phase 4 : implémentation d’UGKS dans CORBIS, tests et validation.

Durée du stage. Le stage durera 5 mois, et pourra démarrer en février ou mars. Une poursuite en thèse est envisageable.

Encadrement. Ce projet sera supervisé par Céline Baranger et Jean-Philippe Breaunig, chercheurs au CESTA, Julien Mathiaud chercheur au CESTA et détaché au laboratoire CELIA, et Luc Mieussens, professeur à l’Enseirb-Matmeca et à l’Institut de Mathématiques de Bordeaux.

Le stage se déroulera dans les locaux de l’IMB, Université de Bordeaux 351, cours de la Libération, à Talence. En cas de confinement, le stage pourra se dérouler entièrement en télétravail, avec des rendez-vous très fréquents avec les encadrants par visio-conférence. Le stagiaire aura accès à des moyens de calculs performants (calculateur parallèle).

Contacts :

- Céline Baranger : 05 57 04 51 99, Celine.Baranger@cea.fr
- Luc Mieussens : 05 40 00 60 51, Luc.Mieussens@math.u-bordeaux.fr

Profil de candidat souhaité. Troisième année d’école d’ingénieur ou Master 2, compétences en programmation (des compétences en fortran 90 seront appréciées, mais la maîtrise du C peut suffire), méthodes numériques pour les équations aux dérivées partielles (différences finies, volumes finis).

Mots clés. théorie cinétique des gaz, gaz raréfiés, aérodynamique hypersonique, rentrée atmosphérique, volumes finis, UGKS.

Références.

- [1] K. Xu and J.-C. Huang. A unified gas-kinetic scheme for continuum and rarefied flows. *Journal of Computational Physics*, 229 :7747–7764, 2010.