

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DMPE-2024-36**

(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Toulouse

Département/Dir./Serv. : DMPE/HEAT,
DMPE/STATTél. : 05 62 25 2518 / 05 62 25 28 07 / 05
62 25 29 40Responsable(s) du stage : Y. Dauvois, H. Deniau
et G. PuigtEmail : yann.dauvois@onera.fr
hugues.deniau@onera.fr et
guillaume.puigt@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Méthodes numériques en CFD

Type de stage : Fin d'études bac+5 Master 2 Bac+2 à bac+4 Autres**Intitulé : Nouveaux schémas pour la simulation multi-échelles d'écoulements hypersoniques du régime raréfié au régime continu**

Sujet : Pour concevoir un corps de rentrée atmosphérique, pour prédire le comportement des débris spatiaux qui chutent dans l'atmosphère ou pour prévoir la performance d'une soufflerie, les ingénieurs doivent connaître la pression et le flux de chaleur qui s'exercent autour de la surface d'une forme spatiale ou d'une maquette. Lors d'une rentrée atmosphérique, l'objet traverse plusieurs couches de l'atmosphère de densité différente. À basse altitude ($h < 60$ km), l'écoulement est dans le régime continu et est calculé en résolvant les équations de Navier-Stokes à l'aide de méthodes classiques de la CFD (Computational Fluid Dynamics). À haute altitude ($h > 120$ km), l'air est si peu dense que le libre parcours moyen des molécules est du même ordre de grandeur voire plus grand que la taille de l'objet, rendant caduque l'hypothèse du milieu continu. Dans ces conditions raréfiées, les équations de Navier-Stokes ne sont plus valides et on doit considérer les interactions intramoléculaires régies par l'équation de Boltzmann qui peut être résolue par la méthode stochastique DSMC (Direct Simulation Monte Carlo). À une altitude intermédiaire ($60 \text{ km} < h < 120 \text{ km}$), l'écoulement présente des zones denses et des zones raréfiées, c'est le régime transitionnel. Or, le principal défaut de la méthode DSMC est son coût de calcul qui peut être dix voire cent fois plus important qu'un calcul CFD. C'est pourquoi, pour des questions d'optimisation, nous développons à l'ONERA des méthodes permettant un couplage DSMC-CFD pour effectuer des calculs CFD dans les zones denses et des calculs DSMC dans les zones raréfiées de l'écoulement [1, 2]. Malheureusement, en présence de chocs forts ou de gradients élevés dans l'écoulement, ces méthodes de couplage ne permettent pas aujourd'hui de capturer la bonne physique. Une alternative à ces méthodes est le développement d'un solveur unifié pour résoudre les équations cinétiques de type Boltzmann, consistante avec les équations de Navier-Stokes, permettant de capturer directement la physique de tous les régimes (du régime du moléculaire libre au régime continu). À partir des équations BGK, Kun Xu et son équipe ont développé un schéma déterministe unifié, appelé UGKS (Unified Gas-Kinetic Scheme), et une version combinant les avantages des méthodes déterministes et stochastiques, appelé UGKWP (Unified Gas-Kinetic Wave-Particle), pour la simulation des écoulements multi-échelles [3, 4]. Les principaux avantages de ces solveurs sont, qu'en plus de capturer naturellement la physique des écoulements raréfiés et continus, ils ne sont pas contraints ni par la taille du maillage et ni par le pas de temps du régime continu contrairement aux méthodes DSMC. De plus, ils permettent de traiter dans le même formalisme les termes convectif et diffusif des équations de Navier-Stokes. L'objectif de ce stage est de prendre en main ces classes de schémas unifiés et d'analyser leur applicabilité dans l'environnement ONERA. Pour cela, on commencera par construire le schéma de Xu, puis on introduira ce schéma dans un prototype 1D suivi du 2D et enfin, on résoudra des écoulements hypersoniques autour de formes simples.

Références principales :

[1] V. Charton, A. Langenais, and J. Labaune. High altitude rocket reactive jet flow simulations with a hybrid NS-DSMC methodology. In : EUCASS2022. Proceedings of the 9th European Conference for Aerospace Sciences. Lille, France, 27 June - 1 July, 2022.

[2] A. Clout, A. Langenais, Y. Dauvois, L. Mieussens, and J. Labaune. Hybrid NS-DSMC simulation of a full scale solid rocket motor reactive exhaust at high altitude. In : EUCASS2023. Proceedings of the 10th European Conference for Aerospace Sciences. Lausanne, Switzerland, 9 July - 13 July, 2023.

[3] Y. Zhu, C. Zhong, and K. Xu, Implicit unified gas-kinetic scheme for steady state solutions in all flow regimes, Journal of Computational Physics 315, pp 16–38, 2016.

[4] Y. Wei J. Cao, X. Ji, and K. Xu. Adaptive wave-particle decomposition in UGKWP method for high-speed flow simulations. arXiv e-prints:2303.13108, 2023.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? **Non**

Méthodes à mettre en oeuvre :

- | | |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche théorique | <input type="checkbox"/> Travail de synthèse |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input type="checkbox"/> Travail de documentation |
| <input type="checkbox"/> Recherche expérimentale | <input checked="" type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : **Non**

Durée du stage : Minimum : 5 mois Maximum : 6 mois

Période souhaitée : Démarrage au premier semestre 2024

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :
CFD, simulations multi-échelle, équations cinétiques, modèle BGK, méthode mixte déterministe et stochastique, écoulements raréfiés et continus.

Ecoles ou établissements souhaités :
écoles d'ingénieur, université