

Développement d'une méthodologie hybride CFD-DSMC pour simuler les écoulements à haute vitesse en régime raréfié

Matias STANDAERT, ONERA - DMPE/HEAT - Toulouse
Jean-Michel LAMET, ONERA - DEMPE/HEAT - Toulouse
Julien LABAUNE, ONERA - DMPE/LPA - Palaiseau
Yann DAUVOIS, ONERA - DMPE/HEAT - Toulouse

Au-delà de 80 km d'altitude, les écoulements autour des capsules de rentrée atmosphérique et des jets de moteurs-fusées sont hypersoniques, multi-espèces, réactifs, et présentent un degré hétérogène de raréfaction. Les approches numériques permettant de simuler ce type d'écoulements sont doubles. D'une part, la méthode stochastique Direct Simulation Monte Carlo (DSMC) [1], qui consiste en la simulation d'un grand nombre de particules et de leurs collisions successives. D'autre part, l'approche continue basée sur la résolution des équations de Navier-Stokes à l'équilibre thermodynamique local (NS-AET). Afin de profiter du coût de calcul relativement faible de l'approche NS et de la plus haute fidélité physique de la DSMC, une méthodologie pertinente est le couplage hybride CFD-DSMC [3], nécessitant la spécification d'une interface entre les deux domaines, basée sur un critère de raréfaction [2], [4].

Actuellement, l'ONERA développe le solveur CHARME-MTE, basé sur la résolution des équations NS Multi-Température (MTE). Cette approche permet de modéliser de manière continue le déséquilibre des différents modes énergétiques (translationnel, rotationnel, vibrationnel, électronique). L'intérêt de l'approche est d'étendre le domaine CFD en conservant une haute fidélité physique, tout en réduisant le coût de calcul important associé au domaine DSMC.

Les simulations réalisées sans couplage pour le cas d'un jet supersonique en très forte détente dans une tuyère millimétrique (cas de Grabe [5] adapté à des conditions *chaudes* dans le réservoir) seront présentées. Une comparaison sera faite des approches DSMC, NS-AET et NS-MTE, notamment au niveau des champs de vitesse et de température. Ensuite, une discussion sur la validité des critères d'interface existants et leur adaptation à l'approche MTE sera également incluse.

- [1] G. Bird. *Molecular Gas Dynamics and the Direct Simulation of Gas Flows*. Oxford University Press, 1994.
- [2] I. Boyd, C. Gang, C. Graham V. *Predicting failure of the continuum fluid equations in transitional hypersonic flows*. *Physics of Fluids*, **7**, 210–219, 1995. doi :10.1063/1.868720.
- [3] I. Boyd, T. Schwartzentruber. *A hybrid particle-continuum method applied to shock waves*. *Journal of Computational Physics*, **215(2)**, 2006. doi :10.1016/j.jcp.2005.10.023.
- [4] A. Garcia, B. Alder. *Generation of the chapman-enskog distribution*. *Journal of Computational Physics*, **140(1)**, 66–70, 1998.
- [5] M. Grabe, R.-D. Boettcher, S. Fasoulas, K. Hannemann. *Numerical simulation of nozzle flow into high vacuum using kinetic and continuum approaches*. In *Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design*, pp. 423–430. Springer Berlin Heidelberg, 2010.