

Extension des méthodes unifiées de la théorie cinétique des gaz aux modèles ES-BGK

Céline Baranger, Alexis Coëpeau et Luc Mieussens

Depuis 2010, K. Xu et son équipe de l'université de Hong Kong développent un cadre unifié de méthodes pour la simulation d'écoulements gazeux, incluant à la fois des solveurs déterministes (UGKS) et hybrides stochastiques-déterministes (UGKP, UGKWP) [1,2,3]. Ces méthodes permettent des simulations précises pour l'ensemble des régimes d'écoulements avec un coût de calcul essentiellement indépendant de la raréfaction du gaz. Asymptotiquement, celles-ci dérivent naturellement vers des solveurs des équations de Navier-Stokes ou du régime moléculaire libre, selon le régime [4], ce qui les rend particulièrement adaptées aux problèmes multi-régimes et multi-échelles, tels que les écoulements de rentrée atmosphérique.

Leur efficacité dans la résolution d'écoulements complexes a été démontrée à l'aide des modèles de Shakhov et de Rykov [5]. Cependant, ces modèles présentent des lacunes mathématiques, notamment parce qu'ils ne garantissent ni une distribution de masse positive, ni le respect du théorème H, contrairement aux modèles ES-BGK qui ont, par ailleurs, été récemment étendus aux gaz diatomiques pourvus des modes d'énergies de rotation et de vibration [6, 7].

Nous présentons ici une extension de ce cadre numérique aux modèles ES-BGK, en accordant une attention particulière à sa validation à l'aide de comparaisons numériques avec des codes de référence établis dans la littérature, tels que SPARTA [8] et PIClas [9], comme illustré par la Figure suivante.

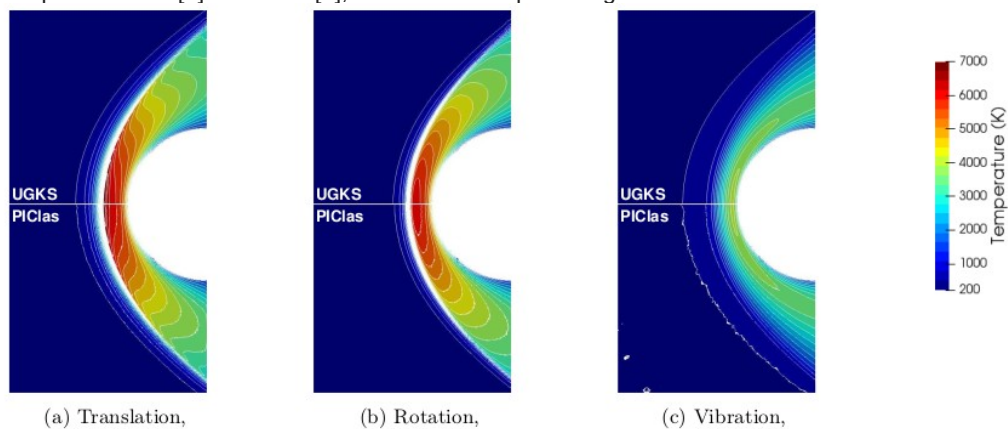


Figure: Comparaison des champs de températures dans un écoulement hypersonique autour d'un cylindre infini à une altitude équivalente à 70km, simulés avec UGKS (partie supérieure) et PIClas (partie inférieure).

References

- [1] K. Xu and J.-C. Huang. In: Journal of Computational Physics 229.20 (2010), 7747–7764.
- [2] W. Li et al. 2018. arXiv: 1810.05984.
- [3] C. Liu, Y. Zhu, and K. Xu. In: Journal of Computational Physics 401 (2020), 108977.
- [4] S. Chen and K. Xu. In: Journal of Computational Physics 288 (2015), 52–65.
- [5] K. Xu. Elements in Aerospace Engineering. Cambridge University Press, 2021.
- [6] Y. Dauvois, J. Mathiaud, and L. Mieussens. In: European Journal of Mechanics - B/Fluids 88 (2021), 1–16.
- [7] J. Mathiaud, L. Mieussens, and M. Pfeiffer. In: European Journal of Mechanics - B/Fluids 96 (2022), 65–77.
- [8] S. J. Plimpton et al. In: Physics of Fluids 31.8 (08 2019), 086101.
- [9] M. Pfeiffer. In: Physics of Fluids 30.11 (11 2018), 116103.