

Modèles cinétiques BGK pour des écoulements hypersoniques réactifs

Jordane MATHÉ, CEA-CESTA

Céline BARANGER, CEA-CESTA

Laurent DESVILLETES, Université Paris Diderot

Julien MATHIAUD, CEA-CESTA

Luc MIEUSSENS, Université de Bordeaux 1

Lors de la rentrée atmosphérique d'un engin spatial, celui-ci traverse différentes couches de l'atmosphère à de grandes vitesses. Pour mettre au point de tels engins, il est nécessaire de pouvoir simuler numériquement les écoulements d'air qui se produisent autour d'eux. Les modèles physiques utilisés pour cela dépendent fortement de l'altitude. Dans les basses couches de l'atmosphère, l'air est considéré comme un milieu continu (le libre parcours moyen des particules est très petit devant les dimensions de l'engin) et peut être décrit par les équations de Navier-Stokes de la dynamique des gaz. Par contre, dans les hautes couches de l'atmosphère, l'air est un milieu raréfié (le libre parcours moyen des particules n'est pas très petit devant les dimensions de l'engin) et il est nécessaire d'utiliser un modèle de cinétique des gaz *via* les équations de Boltzmann car les équations de Navier-Stokes ne sont plus valides.

En fait, l'air étant en régime transitionnel, le modèle BGK ([1, 2]) est utilisé ici : il s'agit de remplacer le terme de collision de l'équation de Boltzmann par un terme de relaxation vers l'équilibre maxwellien. Ce modèle conserve les propriétés principales de l'équation de Boltzmann tout en simplifiant la modélisation du gaz et son traitement numérique. Cependant on connaît ses limitations du point de vue physique : il modélise un gaz parfait à nombre de Prandtl fixé égal à $Pr = 1$. Afin d'atteindre des valeurs réalistes de Pr (généralement inférieures à 1, par exemple $Pr \approx 0.71$ pour de l'air), on exploite son extension gaussienne (aussi appelée ES-BGK, voir [3, 4]). Ce modèle est tout à fait convenable tant que la température n'est pas très élevée dans l'écoulement. Mais lorsque celle-ci atteint de grandes valeurs, cette extension ne suffit plus car les caractéristiques thermodynamiques (c_v et c_p) du gaz peuvent être très différentes de celles d'un gaz parfait. De plus, des réactions chimiques peuvent se produire, ce qui n'est pas du tout pris en compte dans le modèle ES-BGK.

Nous présenterons dans cet exposé plusieurs extensions du modèle ES-BGK qui prennent en compte ces effets de gaz à haute température. Des résultats de simulation d'états stationnaires à une altitude intermédiaire (60 km) seront comparés à ceux d'un code Navier-Stokes qui tient déjà compte de ces mêmes effets.

Références

- [1] BHATNAGAR P.L., GROSS E.P., KROOK M., *A model for collision processes in gases*, Phys. Rev. 94, 511-524, 1954.
- [2] MIEUSSENS L., *Modèles à vitesses discrètes et méthodes numériques pour l'équation de Boltzmann-BGK*, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 1999.
- [3] HOLWAY L.H., *Kinetic theory for shock structure using an ellipsoidal distribution function*, Rarefied Gas Dynamics, Vol. 1 (Proc. Fourth Internat. Sympos., Univ. Toronto, 1964), 193-215, Academic Press, New York, 1966.
- [4] ANDRIES P., LE TALLEC P., PERLAT J.-P., PERTHAME B., *The Gaussian-BGK model of Boltzmann equation with small Prandtl number*, Eur. J. Mech. B-Fluids 19, 813-830, 2000.

Jordane MATHÉ, CEA-CESTA, 15 Avenue des Sablières - 33114 Le Barp, FRANCE

jordane.mathe@cea.fr/celine.baranger@cea.fr/julien.mathiaud@cea.fr

Laurent DESVILLETES, UMR 7586 CNRS-Université Pierre et Marie Curie-Université Paris Diderot

laurent.desvilletes@imj-prg.fr

Luc MIEUSSENS, Université de Bordeaux, 351, cours de la Libération - 33405 TALENCE cedex, FRANCE

luc.mieussens@math.u-bordeaux1.fr