
Écoulement d'un mélange de deux gaz dans un micro-canal de section variable sous l'effet d'un gradient de température pariétal et d'un gradient de pression

Cédric Croizet*¹ and Renée Gatignol¹

¹Institut Jean Le Rond d'Alembert (IJLRA) – CNRS : UMR7190, Sorbonne Université UPMC Paris VI
– France

Résumé

Les dispositifs microscopiques, comme les micro-turbines ou les échangeurs de chaleur à micro-canaux, sont couramment utilisés dans l'industrie. Les écoulements dans les micro-canaux ont ainsi été discutés dans un grand nombre de travaux aussi bien d'un point de vue théorique que numérique ou expérimental [1,2,3,4]. Pour étudier les écoulements gazeux dans ces tubes microscopiques, les méthodes DSMC sont adaptées mais coûteuses en temps de calcul [1,2]. Le développement de modèles asymptotiques est donc pertinent.

Dans cette contribution, on considère l'écoulement stationnaire d'un mélange de deux gaz parfaits compressibles dans un micro-canal long dont la section varie lentement. Le long de la paroi du canal, dans sa direction axiale, un gradient de température est appliqué. Ce gradient de température, ainsi qu'une différence de pression entre les deux extrémités du canal, provoquent le mouvement des gaz. L'écoulement ainsi obtenu possède un nombre de Knudsen de l'ordre de 0,1 ; il est modérément raréfié. Dans ce régime, dit glissant, les équations du mouvement sont les lois de bilan usuelles pour la masse, la quantité de mouvement et l'énergie avec des termes additionnels de couplage [5,6] obtenus à partir d'un modèle cinétique de type BGK. Les conditions d'adhérence aux parois usuelles doivent, néanmoins, être remplacées par des conditions de saut pour la vitesse et la température. Des conditions de premier ordre seront utilisées dans ce travail [4].

Le rapport d'aspect du canal est le premier petit paramètre de l'étude. Un second petit paramètre est introduit pour caractériser la faible variation de la largeur du canal. Pour chaque gaz, on introduit le nombre de Mach et le nombre de Reynolds construit avec la longueur caractéristique longitudinale.

Le nombre de Knudsen de chaque espèce s'exprime aisément à partir de ces deux nombres sans dimension. Les vitesses caractéristiques dans chaque direction sont identiques pour les deux gaz. Afin d'étudier les dégénérescences significatives, on suppose que les nombre de Reynolds et de Mach sont petits ou d'ordre unitaire. L'analyse des ordres de grandeur des différents termes et le choix d'une dégénérescence physiquement cohérente seront présentés. Les résultats des premiers ordres d'approximation seront comparés à des simulations numériques et à des résultats de la littérature [6,7].

*Intervenant

- G.A. Bird, Gas Dynamics and the Direct Simulation of Gas Flows, Clarendon Press, 1994
- O. Aktas, N.R. Aluru, R. Ravaioli, Application of a Parallel DSMC Technique to predict Flow Characteristics in Microfluidic Filters, J. Microelectromech. S., pp. 538-549, 2001
- S.G. Kandlikar, S. Garimella, D. Li, S. Colin, M.R. King, Transfer and fluid flow in minichannels and microchannels, Elsevier, 2005
- G. Karniadakis, A. Beskok, Microflows - Fundamentals and Simulation, Springer, 2006
- T. G. Elizarova, I. A. Graur and J. C. Lengrand, Eur. J. Mech., B/Fluids, **3**, 351-369, (2001)
- M. Reyhanian-Mashhadi, Thèse, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 2011
- R. Gatignol and C. Croizet, Asymptotic modeling of thermal binary monoatomic gas flows in plane microchannels – Comparison with DSMC simulations, Physics of Fluids, 29(4), 2017

Mots-Clés: Écoulement en micro, canal, modèle asymptotique, DSMC