

Description du transfert de chaleur par la méthode des 13-moments

~ J.BALITI; M.HSSIKOU; M.ALAOUI

Département de physique, Université Moulay Ismail, FS-Meknès – Maroc.

~Auteur correspondant (mbaliti@gmail.com)

Résumé :

Le transfert de chaleur au sein d'une cavité carrée, confinée par un gaz raréfié de particule de Maxwell, est étudié par la fameuse méthode de hauts moments appelée les 13-moments de Grad. Les résultats obtenus sont comparés à ceux obtenus par l'approche classique des écoulements continus, la méthode de Navier-Stokes et Fourier (NSF). Les résultats de simulation montrent que la méthode NSF n'est plus apte pour décrire les écoulements dans le cas où le nombre de Knudsen est grand. Alors que la théorie des 13-moments capte les effets de raréfaction au-delà de $Kn \sim 0.3$.

Mots clefs: NSF, 13-moments, effets de raréfaction.

1. Introduction

Au cours des dernières décennies, les systèmes micro et nanoélectromécaniques (MEMS, NEMS) ont été rapidement développés. Aujourd'hui, de nombreuses applications comme les capteurs de débit ou les moteurs à réaction miniaturisés se déroulent dans l'industrie. Par conséquent, l'étude des flux de gaz dans les micro et nanochannels est essentielle pour la conception et le fonctionnement des microdispositifs tels que les micropompes, les microvalves et les microturbines. Comme les appareils deviennent plus petits, le nombre de Knudsen, Kn (le rapport du libre parcours moyen des molécules de gaz, λ , à la longueur caractéristique du canal, L) augmente. L'amplitude de Kn détermine le régime d'écoulement: régime continu pour $Kn \leq 0.01$, régime de glissement pour $0.01 < Kn \leq 0.1$, régime transitoire pour $0.1 < Kn \leq 10$ et débit moléculaire libre pour $Kn \geq 10$. Dans de nombreuses applications macroscopiques, λ est négligeable par rapport à la taille du canal ($Kn \ll 0.01$) et l'hypothèse de continuité dans les équations de Navier-Stokes est valide. Pour des

échelles plus petites, la taille du canal est de l'ordre de λ ; Le débit est soit en régime de glissement, ou transitoire, et des effets de compressibilité et de raréfaction sont présents. Comme les équations de Navier-Stokes sont peu valables dans ces régimes, le fluide peut être traité comme un ensemble de particules interagissant les unes avec les autres et les limites[1]. Ces flux doivent être décrits de point de vue moléculaire ou des par des méthodes des moments plus générales. La méthode des 13 moments de Grad constitue un élément essentiel pour la description des écoulements dans les régimes de glissement et de transition[2].

2. Description du problème

Bien que les comportements de flux de gaz raréfiés dans une enceinte aient été étudiés beaucoup au cours des dernières années, le présent travail se concentre sur le flux de gaz et le mécanisme de transfert de chaleur au-dessus d'une puce chaude dans des enceintes micro carrés en utilisant la méthode des 13-moments. Les effets des distributions de la température de la paroi sur le flux de gaz et le transfert de chaleur seront concernés. Les résultats sont comparés aux résultats basés sur le modèle continu. Le cas étudié concerne une enceinte carrée de côté L , ayant deux parois de haut et de bas de réflexion diffuse, alors les deux autres sont de réflexion adiabatique, c.à.d, pas d'échange de chaleur entre la paroi avec les particules qui les heurtent. La cavité carrée est emprisonne un gaz raréfié de particule assumé de Maxwell, le degré de raréfaction est géré par le

nombre de Knudsen qui affecte directement la densité de gaz.

3. Méthode des 13-moments

Les équations de bilan donnée [3]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho v_k}{\partial x_k} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho v_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho c_i v_k}{\partial x_k} + \frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial x_k} + R \frac{\partial \rho T}{\partial x_i} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{3}{2} R \frac{\partial \rho T}{\partial t} + \frac{3}{2} R \frac{\partial \rho T v_k}{\partial x_k} + \frac{\partial q_k}{\partial x_k} + R \rho T \frac{\partial v_k}{\partial x_k} + \sigma_{ik} \frac{\partial v_i}{\partial x_k} = 0. \quad (3)$$

A partir de la théorie hydrodynamique, les relations de Navier-Stokes et Fourier de contrainte et de flux de chaleur peuvent être écrites comme suit:

$$q_i = -\frac{15R}{4} \mu \frac{\partial T}{\partial x_i}, \quad \sigma_{ij} = -2\mu \frac{\partial v_{(i}}{\partial x_{j)}}. \quad (4)$$

Les indices au sein des parenthèses angulaires dénotent la partie symétrique de la trace libre des tenseurs.

4. Résultats et discussion

La paroi de bas est prise à une température T_1 alors que celle de haut est prise à la température ambiante T_0 du gaz au sein de la paroi. Dans notre cas on s'intéresse aux paramètres sans dimensions, alors on va prendre $T_1=2$, comme paramètre qui va créer le déséquilibre dans l'enceinte, et le degré de raréfaction aille de $Kn=0.05$ à $Kn=0.5$. La figure.1 montre les effets de raréfaction sur les paramètres de champ d'écoulement où le contour de température superposé avec les lignes de courant, pour le nombre de Knudsen $Kn = 0.05, 0.1$ et 0.5 .

A Knudsen $Kn = 0.05$, les résultats des deux approches, les équations NSF champ et les 13 moments, prédisent la même forme des lignes de courant, où les flancs latéraux latéraux plaques va

de la plaque froide à chaud créant deux vortex type 1. Ces deux tourbillons circulants sont produites à côté de la paroi inférieure chaude Par le gradient de température entre la surface chaude et la surface froide induisant un écoulement entraîné par fluage[4]. En augmentant le nombre de Knudsen à $Kn = 0.1$, les résultats NSF n'indiquent aucun changement dans les courbes, mais dans R13 une distorsion est créée dans les écoulements À côté des deux plaques latérales qui est un début de formation de deux tourbillons de type 2, qui sont clairement observées lorsque le gaz se raréfie avec $Kn = 0.2$. Dans ces deux derniers vortex, coule bien de la plaque froide à la chaude. En outre les deux tourbillons de type 1 sont subdivisés en deux mêmes tourbillons deux près du fond et deux autres suivant le sommet avec la même direction et la même forme. Comme nous augmentons le nombre de Knudsen à $Kn = 0.5$, toujours dans les résultats R13, les deux vortex type 2 commencent à disparaître, mais restent leurs effets. Le champ NSF des équations ne peut prédire les tourbillons secondaires (vortex type 2) et la subdivision des deux vortex de type 1 en deux mêmes tourbillons.

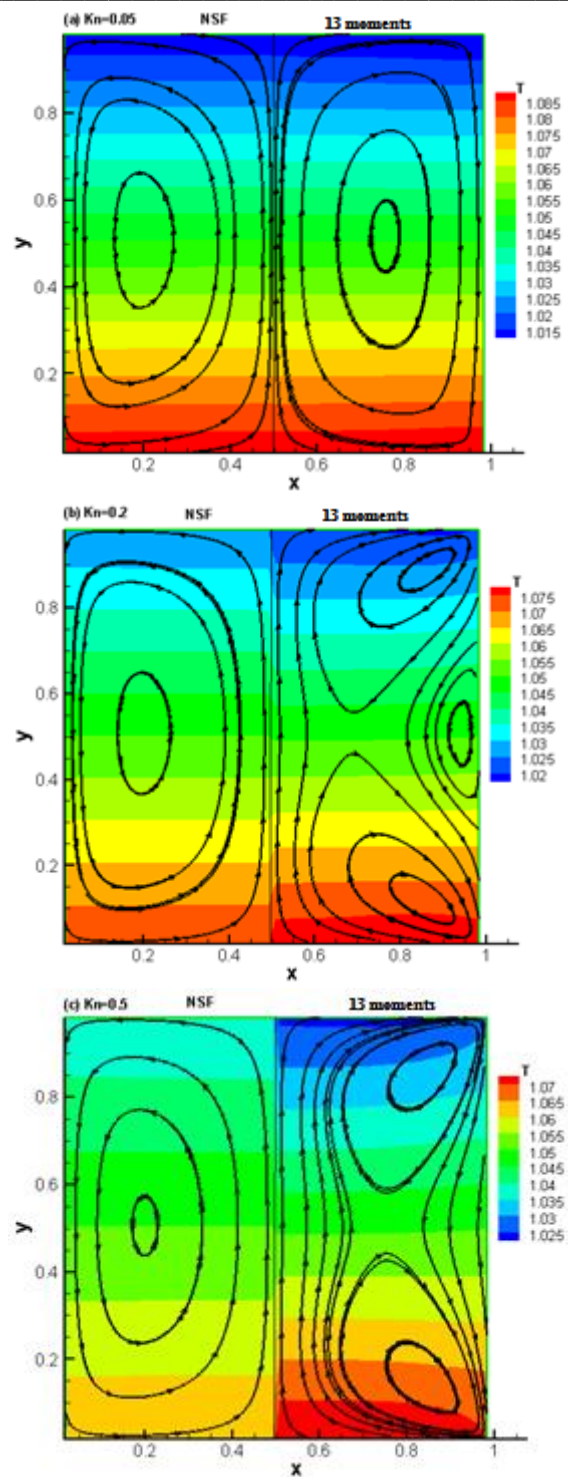


Figure.1: Lignes de courants et contour de température pour $T1/T0=2$, NSF à gauche et 13-moments à droite, (a) $Kn=0.05$, (b) $Kn=0.2$ and (c) $Kn=0.5$.

5. Conclusion

Le transfert de chaleur à l'intérieur de l'enceinte carrée est étudié avec trois valeurs du nombre de Knudsen 0.05, 0.1 et 0.3, et le rapport de température de la plaque chauffante sur la froide de

2, où sont simultanément les réflexions spéculaire et diffuse des parois de la cavité. L'étude est réalisée par la solution des équations de champ de la théorie de Navier-Stokes et de Fourier et la théorie macroscopique des 13 moments.

Les principaux résultats obtenus montrent que le champ des équations NSF n'est plus valable tout en augmentant le nombre de Knudsen, tandis que l'étude macroscopique des 13 moments montre des tourbillons dans le flux qui ne peuvent pas être prédits par l'approche non prévue par l'approche classique de NSF.

6. Références :

- [1] Akkaya, V. R., & Kandemir, I. (2015). Event-Driven Molecular Dynamics Simulation of Hard-Sphere Gas Flows in Microchannels. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- [2] Struchtrup, H. (2005). *Macroscopic transport equations for rarefied gas flows* (pp. 145-160). Springer Berlin Heidelberg.
- [3] A. Rana, M. Torrilhon, H. Struchtrup, (2012). Heat transfer in micro devices packaged in partial vacuum. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 362, No. 1, p. 012034). IOP Publishing.
- [4] A. S. Rana, A. Mohammadzadeh, H. Struchtrup, (2015). A numerical study of the heat transfer through a rarefied gas confined in a microcavity. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 27(3), 433-446.