Proposition de recherche – Revue de littérature

Article : Etude de la méthode Boltzmann sur Réseau pour les simulations en aéroacoustique

ID : Simon-Marie-2008

Contenu pertinent :

Explication de la LBM en français, NS en compressible possible avec LBM, mais il faut monter à des ordres plus importants

Explication du modèle BGK, tiré de l’expansion de Chapsman-Enskog pour les distributions à l’équilibre 🡪 Chaque grandeur physique est relaxée à l’équilibre avec le même temps

Le modèle LBM – BGK impose un Prandtl fixe ie même temps de relaxation pour les effets visqueux et thermiques

Explication du modèle MRT (multiple relaxation time) 🡪 chaque « moment » possède un temps caractéristique (définition donnée).

Conclusion : il est possible d’appliquer la LBM à un modèle compressible à plusieurs temps de relaxation. (méthode adaptative)

Article : Développement d’une méthode de Boltzmann sur réseau pour la simulation d’écoulements visqueux en cuves agitées

ID : Stobiac - 2013

Contenu pertinent

La fonction de densité de population est dérivée telle que f = f(0) + εf(1) + …. où ε est le nombre de Knudsen (à considérer dans le cadre d’écoulements raréfiés)

D3Q15, D3Q19 et D3Q27 existent

Détail d’une stratégie d’interpolation pour représenter les surfaces courbes

Autre proposition pour remplir les populations par Bouzidi, Firdaouss et Lallemand

3 autres méthodes de BC : modified bounce-back rule par Ladd, extrapolation method par Guo

Conclusion : une méthode adaptée pour simuler les BC pour des limites curvilignes

Article : Développement d’un algorithme de simulation en dynamique des fluides basé sur la méthode de Boltzmann sur réseau

ID : Guiet-2009

Contenu pertinent

Explication théorique de la LBM

Utilisation de la BGK

Cas tests : Cavité entraînée et écoulement autour d’un cylindre, écoulement autour d’un profil NACA, simulation 2D

Explications rapides sur le calcul des forces, avec des abscisses curvilignes

Conclusion : Une référence pour simuler les mêmes cas tests et retrouver les résultats

Article : Force Evaluation in the LBM involving curved geometry

ID : Mei-2002

Contenu pertinent

Calcul des BC pour une géométrie courbe

Evaluation des forces (deux méthodes) : intégration des contraintes (He & Doolen : LBM method on curvilinear coordinates systems : flow around a circular cylinder), ou bien échange de momentum (Ladd, Numerical simulation of particular suspensions via a discretized Boltzmann equation, Part 2 numerical results)

Conclusion : la méthode basée sur le momentum exchange est plus pratique et moins lourd à calculer par rapport au stress integration sur la surface du corps, dans les cas 2D-3D.

Mots – clés : cas test, rangée de cylindres, shear stress mur, vortex shedding, force evaluation

Article : On pressure and velocity boundary conditions in LBM

ID : Zou-He-1995

Contenu pertinent :

BC de vitesse et de pression de Zou-He dans le modèle BGK uniquement

D’autres articles potentiellement intéressants :

On boundary condtions in lattice Boltzmann methods, Physics of Fluids 10.1063/1.869035

Boundary conditions for the LBM, Physics of Fluids 10.1063/1.868961

An extrapolation method for boundary conditions in LBM Physics of Fluids 10.1063/1.1471914

Momentum transfer of a Boltzmann-lattice fluid with boundaries Physics of Fluids 10.1063/1.1399290

Mots – clés : conditions limites, cas test poiseuille avec différentes conditions limites

Article : Perméabilité hydraulique de médias fibreux poreux

ID : Shou-2011

Contenu pertinent : calcul analytique de la perméabiltié de matériaux poreux en 1D, 2D et 3D. Explication avec des cellules parfaites simplifiées (=carrées) puis ajout de désordre en 1D avec la méthode de Voronoi Tessellation et de moyennage du volume.

Article : Perméabilité de réseaux de fibres aléatoires 3D

ID : Koponen-1998

Contenu pertinent : calcul de la perméabilité avec la LBM pour des fibres 3D aléatoires

Livre : Modelling and simulation in fluid dynamics in porous mediaID : Ferreira-2010

Contenu pertinent : Couplage des equations de Navier-Stokes incompressibles et de la loi de Darcy pour des écoulements à travers des médias poreux

Article : Boundary conditions for the LBM

ID : Maier – 1996

Contenu pertinent : méthode d’extrapolation des populations manquantes dans le cas de conditions limites de pression et/ou de vélocité, en 3D et application aux cas tests d’écoulement de Poiseuille plan, cylindrique et de Couette plan. Observation d’une décroissance en précision lorsque le Kn augmente (écoulement de plus en plus raréfié) et lorsque M augmente (problèmes de compressibilité)

Pourquoi ? L’expansion de Chapsman-Enskog n’est valable que pour des petits Kn (c’est un développement de Taylor avec epsilon = Kn)

Citation d’un article de Noble et al. qui montre les limites du HWBB

Article : On boundary conditions in LBM

ID : Chen – 1996

Contenu pertinent : Limites des conditions limites de Noble et al. ou de Zou-He car ils utilisent la condition égalité de la partie non-équilibre des populations orthogonales aux surfaces limites, mais dans le cas 3D par exemple, il y a 9 inconnues et autant de conditions à respecter.

Nouvelle méthode : schéma d’interpolation comme dans les différences finies permettant d’avoir un ordre 2 en précision pour le momentum et la densité et les contraintes proches des murs.

Application à un écoulement de Poiseuille, de Couette transitoire, et de cavité carrée entraînée

Article : LBM sur un système de coordonnées cylindriques : écoulement autour d’un cylindre circulaire

ID : He-1997

Contenu pertinent : Référence à une méthode plus précise que la LBM basée sur les volumes finis (source de diffusion numérique et de perte de localité) : la LBM basée sur l’interpolation supplée (ISLBM) pratique sur une grille non structurée

Exemple sur l’écoulement autour d’un cylindre à haut nombre de Re, avec des quantités d’intérêt exploitées (pression, Cd, Cl, Lr) en comparaison avec d’autres articles

Article : LBM avec MRT pour modéliser des flux incompressibles dans des médias poreux

ID : Liu-2015

Contenu pertinent :

Modélisation de flux incompressibles dans un média poreux avec la loi de Darcy, étendue au modèle de Brinkman-Forchheimer-Darcy étendu

Livres possibles sur la LBM : The lattice Boltzmann equation : theory and applications Benzi, Succi

LBM for fluid flows, Chen & Doolen

LBM : theory and applications, He, Wang, Li

LBM for 2D turbulence, Xia & Qian

Les simulations dans un volume élémentaire de reference avec la LBM avec presence de média poreux est bien : LBM for modeling microscale flow in fibrous porous media, Spaid, Phelan Jr., LBM for macroscopic porous media modeling, Freed, A new partial bounceback LBM for fluid through heterogenous media

Modèle BGK instable pour de faibles viscosities et imprécisions dans le traitement des conditions limites 🡪 passer par MRT (d’humières, generalized LBM equations)

Exemples de Couette, Poiseuille, Cavité entraînée, convection avec des parois et/ou média poreux, en utilisant MRT

Conclusion : Développement succint des matrices M et Gamma dans la MRT.

Article : MRT pour la LBM pour des fluides incompressibles en 3D avec un D3Q14 et D3Q18

ID : Zhang-2015

Contenu pertinent : Modèle MRT en 3D plus précis que celui de d’Humières et plus stable que celui de He et al.

Elimination de l’effet compressible tout en ayant la capacité de simuler des écoulements incompressibles permanents ou non : Guo & al. A unified incompressible lattice BGK model and its application to three-dimensional lid-driven cavity flow.

Vérification 3D de la cavité entraînée, de Poiseuille et de l’écoulement pulsatile (transitoire)

Article : Bonne modélisation de l’hydrodynamique sur une grille rectangulaire en utilisant la LBM avec MRT (Pas sûr d’être pertinent, travail sur des lattices rectangulaires)

ID : Zong-2015

Contenu pertinent : Analyse d’anciens modèles de MRT

Article : Perméabilité de média fibreux poreux microscopiques avec la LBM

ID : Cho-2013

Contenu pertinent :

Donne des références d’articles permettant de comparer les résultats de calcul de perméabilité  
Modèle D3Q15 avec des conditions de glissement NON NULS, modèle de Staggered cube par Jeong et al. pour calculer la perméabilité dans le cas avec ou sans glissement

Article : Raffinement de grille pour la LBM avec BGK

ID : Filippova-1998

Contenu pertinent :

Aux limites, pour un média poreux, la vitesse de glissement est non nulle. Puis changement du temps de relaxation en fonction d’une grille fine ou grossière.

Article : Benchmark de simulations pour un écoulement autour d’un cylindre circulaire

ID : Schäfer-1996

Contenu pertinent : donne les résultats de toutes les recherches sur le sujet avec les différentes valeurs pour cette simulation là.

Article : LBM basé sur les différences finies en coordonnées cylindriques

ID : Mei-1998

Contenu pertinent :

Implémentation de l’interpolation avec les différences finies pour les coordonnées cylindriques, explication des conditions limites et application à l’écoulement de Couette cylindrique

Article : Ecoulements à travers des obstacles circulaires et carrés 2D et 3D en utilisant la LBM

ID : Abassi-2014

Contenu pertinent : simulation d’écoulements classiques avec Zou-He et HWBB avec des paramètres concrets et des résultats numériques en 2D et 3D sur des cas classiques

Attention : jamais cité …

Article : Flow through porous media

ID : BIBLIO GB 665-F55

Contenu pertinent : caractérisation des fluids dans un milieu poreux (loi de Darcy)

Article : Perméabilité de matériaux fibreux à haute température

ID : Borner-2016

Contenu pertinent :

Calcul de la perméabilité de arrays comme cas test pour valider par rapport aux résultats numériques et expérimentaux avec d’autres auteurs : (Shou 2011)  
Cas test 2D avec des cylindres parallèles proposé par Stern et al. (Microscale

simulations of porous tps materials: ablating microstructures and microtomography)

Le Kn est directement lié au gradient de pression

Comparaison avec des échantillons 3D obtenus par micro-CT

Détermination du Kn en fonction des paramètres du fluide :

R. Reid, J. Prausnitz, B. Poling, The Properties of Gases and Liquids, 4th cd.

mcgraw-hill, New York.

Article : Simulation à l’échelle microscopique de matériaux poreux comme TPS

ID : Stern 2014

Contenu pertinent :

Simulation à l’échelle microscopique d’un Poiseuille avec slip conditions (car microchannel)

Il existe une relation entre perméabilité et porosité empirique (13Lee, S. L. and Yang, J. H., \Modeling of Darcy-Forchheimer drag for uid ow across a bank of circular cylinders,") que dans le cas d’un square array of cylinders

2D- simulation of square array of cylinders et random array !

Article : Mesures expérimentales de la perméabilité de fibres de carbone

ID : Panerai-2016

Contenu pertinent :

Il existe d’autres valeurs expérimentales pour d’autres matériaux (par Marschall et Milos)

Référence pour une relation pour des écoulements non-continus dans des médias poreux par Klinkenberg : L.J. Klinkenberg, The permeability of porous media to liquids and gases, in: API

Drilling and Production Practice, API-41-200, 1941, pp. 200–213.

Article : LBM pour les microfluides : théorie et applications

ID : Zhang-2011

Contenu pertinent :

Revue d’articles sur la théorie + pratique de la LBM en simulation numérique de fluides

Plus efficace que la FVM

D’autres schémas d’interpolation de l’équation de Boltzmann existent

Schémas pour inclure les effets thermiques

Article : La LBM pour des écoulements microscopiques gazeux isothermes et application au gaz de schiste, une revue

ID : Wang-2015

Contenu pertinent :

Une revue de littérature

High order lattice model or effective viscosity or change of relaxation time or approach of wall function to capture the Knudsen layer effect

Problème soulevé dans la revue : différence entre la perméabilité intrinsèque d’un matériau (scan expérimental et calcul de la taille des pores) et la perméabilité apparente, calculée numériquement

Plusieurs solutions proposées : ce sont des simulations à échelle du pore

LBM avec le modèle de Klinkenberg (en ordre 1), et correction avec Beskok-Karniadakis et coefficient de raréfaction de Florence

LBM avec le modèle de gaz poussiéreux : proposé par Chen et al. donnant des résultats similaires à Beskok-Karniadakis-Civan

LBM avec le modèle de glissement NS : modèle isotherme de Langumir de Fathi et Akkutulu pour capturer la vitesse de glissement et un modèle de gaz non-idéal

A échelle REV (representative element volume), les calculs sont trop coûteux

* utilisation de la LBM : Guo et al. proposent un modèle généralisé avec une force externe relié à la porosité du média, étendu en considérant le modèle de Klinkenberg

Article : LBM du transport de gaz de schiste dans des nano-pores organiques

ID : Zhang-2014

Contenu pertinent :

Simulation avec des hauts Kn et des écoulements avec glissement et quand Kn augmente, le temps de relaxation doit être corrigé. Les effets de glissement augmentent le flux dans le pore et donc la perméabilité.

Conditions périodiques en entrée/sortie, mix de condition bounce-back et réflexion spéculaire par Succi.

Relation entre perméabilité absolue et perméabilité corrigée avec Kn.

Le débit est proportionnel au carré de la section du canal sans effet raréfié. Lorsque l’on diminue la section à des échelles microscopiques, le Kn augmente, et la vitesse augmente (car le Kn aussi, et le temps de relaxation aussi).

L’effet de glissement à échelle microscopique augmente le débit et la perméabilité.

Référence pour calculer le nombre de Kn.

Article : Extension de l’application de la LBM à des écoulement raréfiés de gas dans des conduits microscopiques

ID : Yuan -2016

Contenu pertinent

Modèle MRT simulation à haut Kn\*

Jusqu’à maintenant, simuler les écoulements raréfiés se faisait en modifiant les BC (bounce-back, specular reflection, diffusive reflection, langumir slip model ou combinaison) mais dans le slip flow regime.  🡪 extension au transition regime et la prépondérance du Kn layer

!!!! Augmenter l’ordre du schéma de vitesse n’améliore pas la précision et dégrade l’efficacité de la méthode !!!!

Avec second-order slip condition pour modéliser la vitesse de glissement dans l’écoulement raréfié.

Utilisation d’une viscosité effective de type Bosanquet différent du terme de Guo et al. f(Kn) = (2/pi)\*arctan(sqrt(2)\*Kn^(-0.75))

Pour déterminer l’effet de raréfaction à haut Kn, ils prennent une BC de second-ordre déterminé par Beskok et Karniadakis

Puis, parois latérales : combinaison de bounce back et réflexion diffusive

Simulations avec pressure-driven et body force flow

INFO : Le Kn layer a de l’influence pour des plages Kn intermédiaires (Kn = O(1)) que la méthode ne peut pas capturer : néanmoins, jusqu’à Kn = 10, la vitesse (near-wall aussi) est bien déterminée.

Article : LBM de gaz raréfiés dans des micro-conduits

ID : Zhang-2005

Contenu pertinent :

LBM avec haut Kn en utilisant Maxwellian scattering kernel pour les interactions molécules-mur et un coefficient d’accomodation pour contrôler le glissement en complétant avec specular reflection.

Article : LBM pour des nombres de Kn finis

ID : Toschi-2005

Contenu pertinent :

LBM à haut Kn jusqu’à 30

Simulation avec un Poiseuille body-force

D2Q9

Les conditions limites HWBB et AK (basés sur la réinjection des populations manquantes basés sur la température et la pression) n’ont jamais été conçues pour être précises en raréfié.

Modèle de virtual wall collision car les populations subissent la thermalisation en collisionnant avec le mur, avec la probabilité qu’il y ait collision en un pas de temps vers le mur sans qu’il y ait collision entre les populations

Comparaison des résultats avec l’expression analytique de Cercignani

Mise en place de MRT, ou bien d’un schéma LBM entropique ou bien effets thermiques pourrait aider

Article : LBM à haut Kn

ID : Dan-2012

Contenu pertinent :

Reprise du contenu de Toschi-2005 et comparaison avec DSMC

Utilisation des conditions de Zou-He, ou de AK pour inlet/outlet, HWBB pour les murs avec VWC

BC-AK est plus fidèle à DSMC pour le profil de densité, mais BC-ZH est plus fidèle pour le profil de vitesse.

La LBM est accurate pour Mach jusqu’à 0.15

Article : Convection mixée pour un micro-conduit vertical

ID : Avramenko-2016

Contenu pertinent :

Simulation à haut Kn de transfert de chaleur, avec de la convection, avec body-force pour le terme de temperature

Article : LBM d’ordre supérieur pour des écoulements de gaz sur une grande plage de Kn

ID : de Izarra-2011

Contenu pertinent :

Prise en compte dans la LBM d’effets de raréfactions dans les milieux poreux comme l’effet Klinkenberg. HWBB ou specular BC sont inefficaces à haut Kn.

Pour déterminer le phénomène de glissement, modèles SRT et MRT

Référence à Shan et al. pour présenter la quadrature de Gauss-Hermite à plus grand ordre pour la LBM

Faire un mélange de deux ordres successifs donne une précision plus grande par rapport aux résultats analytiques et/ou expérimentaux.

Article : Thèse de Peter Brooks, LBM à haut Kn

ID : Brookes-2009

Contenu pertinent :

Présentation de modèles D2 d’ordre supérieur, avec détail d’une simulation de Couette avec des BC différents présentés par Kim, Pritsch & Boyd.

* The diffuse reflection boundary condition

Résultats : l’ordre n’intervient pas dans la précision des valeurs

Pour bien capturer l’effet de la couche de Knudsen, on travaille sur un demi-espace discrétisé

Les stencils avec des vélocités orthogonales et non purement diagonales entraînent des erreurs dans les valeurs

Conclusion :

L’isotropie d’un stencil dans l’espace entier n’est pas déterminante pour déterminer la vitesse de glissement avec la BC diffuse.

La précision de modèles d’ordre faibles dans le demi-espace est cruciale

Article : Effet d’une interface solide poreuse sur la perméabilité d’un milieu aléatoire fractal poreux monophasique

ID : Cousins-2016

Contenu pertinent

Analyse de l’influence de la rugosité des pores sur la perméabilité d’un échantillon poreux

Milieu fractal : motif répété et statistique modélisable par une dimension caractéristique

Calcul en 3D D3Q19 SRT, et le calcul de la perméabilité est basé sur la loi de Darcy.

Explication de la perméabilité, loi de Darcy, relation porosité/perméabilité, théorie de la percolation

Article : Etude avancée sur la perméabilité pour des structures micro-poreuses en utilisant la LBM

ID : Jeong-2010

Calcul de la perméabilité en 2D-3D : en 2D pour des staggered et in-line arrangements de cylindres circulaires et carrés, et en 3D pour des staggered et in-line arrangements avec les mêmes cylindres, avec et sans overlapping.

Les conditions d’entrée et de sortie sont les mêmes que pour Jeong et al. (2006) et les conditions latérales sont les conditions symétriques de Mei et Shyy (1998)

En 3D, il y a des populations inconnues en inlet/outlet dont la relation entre les deux est un polynôme en Kn d’ordre 2 (Inamuro et al. 1997)

Simulation à différents Kn, avec overlapping ou non, en 2D/3D et avec des arrangements différents et des formes différentes

Corrélation entre Kn, porosité et perméabilité qui est meilleure qu’avant, car elle peut s’appliquer pour une porosité allant jusque 0.6 et pour des écoulements avec glissement.

Article : Prédiction de la traînée de Darcy-Forchheimer pour les structures micro-poreuses de géométrie complexe en utilisant la LBM

ID : Jeong-2006

Contenu pertinent :

Pareil que Jeong-2010 mais le média poreux a une géométrie différente, et la corrélation pour des écoulements raréfiés n’est disponible qu’en 3D alors que Jeong-2010 propose aussi une corrélation à haut Kn en 2D.

Explication de l’effet de raréfaction du fluide dans le milieu poreux :

La résistance du fluide dans un milieu poreux est déterminée par deux forces de traînée : Darcy et Forchheimer (resp. linéaire et quadratique)

Petite revue de littérature concernant le calcul de la perméabilité 2D-3D avec des géométries simplifiées ou plus complexes comportant du overlapping en utilisant la méthode LBM, mais uniquement dans l’hypothèse d’un fluide continu.

Article : Analyse précise de modèles LBM à haut ordre pour des écoulements raréfiés

ID : Meng-2010

Contenu pertinent :

Raison pour laquelle DSMC est plus difficile à résoudre pour des écoulements 3D : il faut plus d’échantillons du fluide à n’importe quel point pour résoudre des écoulements à faible Mach.

Plusieurs méthodes pour déterminer les modèles LBM, à partir de basé sur l’expansion quadratique d’Hermite, différent de l’expansion de Chapsman-Enskog.

Les ordres supérieurs d’Hermite ont peu d’influence pour des écoulements raréfiés à faible vitesse.

Q : est-ce que l’ordre expansion d’Hermite est important pour la LBM ?

Les ordres supérieurs pour les modèles de LBM introduisent des discrétisations off-lattice et donc augmente le coût de calcul et introduit des erreurs numériques.

3 effets influençant la précision de la simulation

* Schéma numérique utilisé pour résoudre l’équation de Boltzmann discrétisé sur l’espace des vitesses
* Ordre de l’expansion d’Hermite
* La quadrature de Gauss-Hermite

Observations : L’expansion d’Hermite n’a pas d’influence sur la précision de capture des effets hors-équilibre.

D2Q16 est plus précis que D2Q17 ou D2Q21 car le modèle possède plus de symétrie  
First-order Hermite expansion est suffisante sur la fonction de distribution à l’équilibre pour les écoulements isothermes incompressibles. Les modèles avec une quadrature Gauss-Hermite de plus grand ordre va donner de meilleurs résultats, mais la forme du stencil influence la précision du modèle.

Article : Un schéma unifié basé sur la cinétique des gaz pour les écoulements continus et raréfiés  
ID : Xu-2010

Contenu pertinent :

Il y a des nouvelles versions qui font suite à cet article !!

Développement d’une formule pour LBM qui est adaptable pour des écoulements continus ou raréfiés jusqu’à des Kn jusqu’à 20.

!!!! A APPROFONDIR AINSI QUE LES VERSIONS SUIVANTES !!!!!

Article : Ecoulements de Darcy Forchheimer dans les milieux poreux : application numérique et comparaison avec les résultats expérimentaux

ID : Jambhekar-2011

Contenu pertinent :

Explication des différents paramètres intervenant dans le calcul de la perméabilité d’un matériau : perméabilité intrinsèque, coefficient de saturation, perméabilité relative, porosité

La loi de Darcy n’est valable que pour Re très petit tandis que la loi de Forchheimer est calculée pour des vitesses plus élevées en ajoutant un terme inertiel.

La loi de Forchheimer est déterminée de manière expérimentale (pour son coefficient) mais Ergun en a déduit un coefficient.

Article : Simulation d’écoulements gazeux dans des milieux poreux à faible perméabilité par la LBM : la région de Klinkenberg et au delà

ID : Arabjamaloei-2016

Contenu pertinent : analyse de modèles LBM d’ordre supérieur pour des écoulements raréfiés

Simulation de la condition de glissement avec bounceback + specular reflection

La réflexion spéculaire avec un modèle D2Q9 ne permet pas de prédire le paradoxe de Knudsen, et donc, il n’y a pas de corrélation entre le coefficient pour la réflexion et Kn.

Utilisation du 3° et 4° des polynômes d’Hermite pour la fonction de distribution à l’équilibre (D2Q21 et D2Q37)

PB : avec des ordres aussi grands, on ne connaît pas les pressure ou velocity BC , donc on utilise un terme de gravité pour l’écoulement.

Article : Une condition limite de non-glissement pour les simulations LBM

ID : Inamuro-1995

Contenu pertinent : Une nouvelle technique en BGK D2Q9 pour créer une condition limite de non-glissement, là où le halfway bounce-back donne des erreurs. On utilise l’hypothèse de réflexion diffusive : les fonctions de distributions inconnues sont des fonctions de distribution à l’équilibre avec une vitesse de contre glissement déterminée de sorte que la vitesse du fluide est égale à la vitesse du mur.

Pour inlet/outlet, il est utilisé un gradient de pression imposé.

Article : Conditions limites directes de vitesse dans la LBM

ID : Latt-2008  
Contenu pertinent : 5 méthodes de BC comparées, pour des BC de Dirichlet en vitesse.

La conclusion sur les 5 méthodes porte sur des limites sur les lattices, et ordre 2 en précision.

Comparaison de la stabilité et de la précision sur des cas 2D/3D 🡪 le BC utilisé dépend de la géométrie de l’écoulement, et du compromis voulu entre stabilité et précision.

Deux types de BC : BC qui préservent l’information lors de la propagation très précis pour des low Re, et BC remplace les valeurs par de nouvelles valeurs sur les nœuds aux limites et donc c’est plus stable pour des high Re.

Les BC comparés sont : Inamuro, Zou-He, la méthode régularisée de Latt et Chopard, la méthode du gradient de vitesse en différences finies et et la méthode non-linéaire en différences finies.

Inamuro : Hypothèse des populations manquantes sont à un équilibre thermodynamique local et donc la distribution locale suit l’équation de Maxwell-Boltzmann. Création d’une densité et d’une vitesse locale fictive.

Zou-He : application d’un bounce-back sur les populations non-équilibres

Méthode régularisée : partir du stress tensor pour ensuite évaluer les populations

Méthode de gradient de vitesse en différences finies : évaluation du stress tensor par les valeurs de vitesse des cellules voisines

Méthode non-linéaire en différences finies : Ajout des effets non-linéaires des vitesses voisines sur le stress tensor.

Les simulations se font :

* Sur des solutions analytiques (calcul de l’erreur L2 sur chaque point)
* Evolution temporelle (tracking de l’énergie par ex. ou maximum d’entropie)
* D2Q9 et D3Q19
* Boundary conditions traitées de la même façon pour les coins (différences finies)
* Traités adimensionnellement
* Poiseuille plan 2D, Oscillating plane channel flow 2D
* Poiseuille rectangulaire 3D

Conclusions : BC1 et BC2 sont bons pour des écoulements 2D à faible nombre de Reynolds (200 max) sinon ils sont trop instables.

BC4 et BC5 violent les lois locales de la LBM, donc le code est plus complexe mais BC3 est mieux.

Article : Conditions limites cinétiques dans la LBM

ID : Ansumali-2002

Contenu pertinent :

La distribution des populations réfléchissant sur le mur est couplée à une probabilité de dispersion des populations.

Les distributions réfléchissant sur le mur obtiennent une vitesse de glissement permettant de simuler à des Kn finis.

Article : Précision de la LBM d’ordre supérieur pour des écoulements microscopiques avec des Kn finis

ID : Kim-2008

Contenu pertinent :

Etude de la précision jusqu’à l’ordre 11 pour la quadrature de Gausse-Hermite avec la méthode de diffuse scattering et comparaison avec la DSMC pour Poiseuille et Couette.

La conclusion principale est que le modèle D2Q16 reste le plus efficace en prédisant correctement les zones de transition et de glissement.

Les méthodes de haut Kn prédisent la couche de Kn jusqu’à 1. Après, parce que le nombre de vitesses est déterminé, la couche disparaît.

Néanmoins, les méthodes utilisées ici ne prédisent pas le comportement asymptotique de l’équation de Boltzmann pour des Kn très hauts.

Références pour l’équation de Boltzmann d’ordre supérieur en l’approximant dans la base de Hermite en termes d’espace des vitesses

Article : Inversion de la vitesse dans un écoulement de Couette micro-cylindrique : étude par LBM

ID : Guo-2011

Contenu pertinent :

D2Q9, explication de la MRT (référence sur LALLEMAND)

Slip BC proposée par EPL (Einzel, Panzer et Liu) où l’effet de la courbure de la surface est mep.

Volonté de trouver une BC correcte dans le cas où il y a glissement. Dans le cas de murs courbés, le HWBB-specular reflection ou bien le schéma de diffusion discrète de Maxwell marche pas.

Solution proposée : mélange de Bounceback et de Maxwell diffuse et application à un écoulement de Couette cylindrique

Article : Calcul de la perméabilité dans un milieu poreux avec la LBM

ID : Eshghinejadfard -2016

Contenu pertinent :

Calcul de la perméabilité en 3D pour des écoulements laminaires, en utilisant différentes conditions limites et différents méthodes de relaxation pour 3 structures, 1 en tomo et 2 en face centered cube et body centered cube.

Usuellement, la perméabilité déterminée analytiquement est limitée à de simples géométries et des Re faibles ie écoulements laminaires en résolvant l’équation de Stokes.

La loi de Darcy permettant de calculer la perméabilité est indépendante des propriétés du fluide pour des Re très faibles inférieur à 1.

Pour des Re importants, d’autres effets doivent être pris en compte, ajoutant au calcul de perméabilité un terme de correction : c’est la traînée de Forchheimer.

Guo et al.(2002) et Shan-Chen(1993) donnent des schémas pour l’inclusion de force driven flows.

On a des valeurs de comparaison, mais il n’est pas décrit comment faire le calcul de perméabilité….

Des conditions de HWBB sont appliqués sur les nœuds solides et périodiques pour inlet/outlet.

Article : Vérification et validation 2D/3D de la LBM

ID : Portinari-2015

Contenu pertinent :

ZH ordre 2 : utile dans le cas où l’objectif est de représenter une condition limite avec une vitesse donnée.

D’autres conditions limites sont possibles :

* Conditions limites avec populations à l’équilibre : on imagine des populations rentrantes dans le domaine avec les variables macroscopiques voulues 🡪simple mais introduit des erreurs pour la vitesse.
* Conditions limites libres : les distributions sont égales aux distributions adjacentes à la limite
* Conditions limites pour des frontières curvilignes (Bouzidi)

Explication de la MRT

Article : Perméabilité effective d’un média poreux avec l’effet Klinkenberg

ID : Li-2016

Contenu pertinent :

Lorsque la distance parcourue moyenne des particules de gaz est proche de la taille d’un pore, les molécules glissent à la surface et ont un effet important sur le calcul de la perméabilité d’un gaz dans un média poreux.

Le glissement doit être pris en compte à partir de 0.01<Kn<0.1.

Lorsque Kn>10, le phénomène prépondérant est la diffusion des molécules de gaz.

Beskok et Karniadakis (1999) ont développé un modèle unifié pour l’écoulement raréfié à échelle micro et nano, pour des petits Mach. Néanmoins, le coefficient de raréfaction doit être déterminé empiriquement.

Florence (2007) donne une relation polynomiale entre le Kn et la perméabilité (dans le cas d’une faible perméabilité).

La géométrie utilisée est un modèle de fractale.

Perméabilité analytique :

* Débit exprimé en fonction du coefficient de raréfaction, du facteur de glissement, de la viscosité du gaz, de la perte de charge et du diamètre du pore.
* Différence entre la perméabilité (Darcy) et la perméabilité effective avec une terme de correction en fonction de Kn
* Dans un milieu poreux, le diamètre effectif est déterminé en utilisant le débit (et en faisant une intégration sur les différents diamètres présents dans les pores

Article : Modèle LBM à deux temps de relaxation pour des écoulements raréfiés

ID : Esfahani-2014

Contenu pertinent :

Nouvelle relation pour un facteur de réflexion pour le bounce back/réflexion spéculaire avec deux temps de relaxation.

Pour 0.1<Kn<0.5, la viscosité effective marche comme technique pour utiliser les équations de NS ; les équations de Burnett décrivent aussi la raréfaction et la compressibilité des écoulements microscopiques.

Les conditions inlet/outlet sont du/dx et dv/dy = 0, et il faut des quantités modifiées pour la densité pour inlet/outlet pour l’étape de collision, et garantissant que les conditions de pression imposées en inlet/outlet corrèlent avec l’écoulement.

PS : CBSSR n’est pas obligé d’avoir r et 1-r comme coefficient, on peut avoir r et q avec r+q différent de 1

Résultats : difficulté de convergence du code pour Kn>0.6 et il faudrait modifier le maillage pour avoir plus de résultats.

Conclusion : le modèle peut prédire le minimum de Knudsen, il est plus stable que le SRT, pour un Kn, le glissement est plus important pour des viscosités plus importantes.

Article : Ecoulement de gaz à travers des conduits microscopiques dans le régime de transition

ID : Deng-2016

Contenu pertinent : MRT LBM pour un écoulement de Couette avec des rugosités caractérisés par des géométries fractales.

On rappelle : régime de transition : 0.001<Kn<0.1

Boundary condition : Combined bounce-back specular reflection

fi(x) = r\*fibounce-back(x)+(1-r)\*fispecular-reflection(x) et inlet/outlet avec conditions périodiques

Peut être pas très pertinent pour la partie avec la géométrie fractale, juste regarder comment implanter la CBBSR.

Article : Effets discrets sur les conditions limites de la LBM pour des écoulements de gaz à échelle microscopique

ID : Guo-2007

Contenu pertinent : Etude de deux conditions limites cinétiques : la CBBSR et le schéma discret de Maxwell.

Une méthode pour ajuster les paramètres des deux conditions pour mettre en place une condition de glissement précise. Les simulations montrent la fiabilité et la robustesse des conditions.

Article : MRT 3D de la LBM

ID : D’Humières-2002

Contenu pertinent : exemple D3Q15 et D3Q19 de la MRT LBM, avec la cavité entraînée pour des hauts Re, montrant que les simulations à haut Re sont bien plus stables.

Les valeurs propres de la matrice S (qui remplacent le 1/tau) sont entre 0 et 2, cad que les quantités non conservées ont des temps de relaxation plus importants que l’échelle de temps hydrodynamique. Le BGK est le cas particulier où toutes les valeurs propres sont identiques.

Le stencil utilisé doit être suffisamment discret pour représenter la masse volumique, le momentum, la pression et un tenseur d’ordre 2 (comme le tenseur de contraintes), ie les quantités conservées et leurs flux doivent approximés suffisamment bien les grandeurs continues.

Article : Modélisation par la LBM d’un écoulement dans un canal microscopique dans le régime de glissement

ID : Verhaeghe-2009

Contenu pertinent :

Etude en MRT d’un 2D Poiseuille avec gradient de pression

Utilisation de DBB