



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Comptes Rendus Mecanique

www.sciencedirect.com



Discrete simulation of fluid dynamics

Foreword



The lecture series “Discrete Simulation of Fluid Dynamics” (DSFD) began in 1986 in Los Alamos thanks to Gary D. Doolen’s initiative. Since then, this annual conference has allowed researchers to take stock of the progress being made in fluid mechanics simulation using kinetic methods on networks. The many topics covered in this lecture series include lattice Boltzmann schemes, particulate dissipative approaches, particle hydrodynamics, direct Monte Carlo methods, etc.

The Scientific Committee of the International Conference DSFD proposed that Paris welcomes its 23th edition in 2014. This choice stemmed from the international reputation of the city of Paris both scientifically and culturally. In addition, the discrete kinetic approach to fluid mechanics was born in the years 1970–1990 between the mechanics lab at the “Université Pierre-et-Marie-Curie” (Paris 6 University) and the physics lab of the “École normale supérieure” in Paris. The lattice Boltzmann approach also uses theoretical tools inspired by the Boltzmann kinetic framework, which is a theme of excellence of the French school of mathematics.

Given the various physical areas covered by numerical methods exposed during DSFD conferences, one of the objectives of the 2014 edition, which took place at the “École normale supérieure” in Paris from 28 July to 1 August 2014, was to promote a multi-disciplinary approach by hosting conferences and lectures on highly theoretical subjects, such as those aimed at justifying the Boltzmann lattice algorithms, as well as on very applied topics and even industrial ones. At the fundamental level, conference-goers noted the lattice Boltzmann models of high order, multi-speed models, boundary conditions, etc. Among the numerous applications which may be mentioned are optimization of the aerodynamic shape of a car, the problems of multiphase flow for the oil industry, colloidal suspensions, simulation of micro-fluidic devices, etc.

Lattice Boltzmann methods (LBM) have developed in recent decades in all countries of the world. It is sufficient to be convinced to read the list of the 13 members of the International Scientific Committee of the conference DSFD 2014: Ilya Karlin (Chairman, *Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Switzerland*), Santosh Ansumali (*Jawaharlal Nehru Centre for Advanced Scientific Research, Bangalore, India*), Bruce Boghosian (*Boston, USA and American University of Armenia, Yerevan, Armenia*), Jean-Pierre Boon (*Université Libre of Brussels, Belgium*), Bastien Chopard (*University of Geneva, Switzerland*), Paul Dellar (*University of Oxford, United Kingdom*), Jens Harting (*Technical University, Eindhoven, Netherlands*), Takaji Inamuro (*Kyoto University, Japan*), Paulo Cesar Philippi (*Federal University of Santa Catarina, Brazil*), Marisol Ripoll (*Forschungszentrum Jülich, Germany*), Shan Xiaowen (*Beijing Aero-Science & Technology Research Institute, China*), Sauro Succi (*National Research Council (CNR), Italy*), and Alexander Wagner (*North Dakota State University, USA*).

During the DSFD 2014 conference, we counted 155 participants, including 60 students or post-docs, with more than 30 nationalities from five continents. The conference was structured in 24 sessions, some specialized on granular materials, rarefied gases, particles in the flow, compressible flow, turbulence, rheology, porous media, biophysics, and one of them entirely dedicated to industrial applications, particularly in industrial simulation software from the “LaBS” project (Lattice Boltzmann Solver).

The Local Organizing Committee DSFD 2014, composed of Stéphane Dellacherie (*CEA, centre de Saclay, France and École Polytechnique de Montréal, Canada*), François Dubois (*CNAM Paris and Université Paris-Sud, France*), Stéphan Fauve (*École normale supérieure, Paris, France*), Renée Gagnon (*Université Pierre-et-Marie-Curie, Paris, France*), and Dominique d’Humières (*CNRS and École normale supérieure, Paris, France*), was responsible for contacts with the journal *Comptes rendus Mecanique* of the French Academy of Sciences for publishing a thematic issue.

This issue, entitled “Lattice Boltzmann methods for solving problems in Mechanics” brings together eight selected contributions proposed by the Local Organizing Committee and validated by the International Scientific Committee. Each contribution has led to a review process by two referees.

This special issue includes articles where numerical simulations are performed using conventional lattice Boltzmann methods or newer methods such as lattice Boltzmann using two relaxation time (TRT LB) or relative velocities.

Among the themes, three were about porous media. First, for these modeled as a homogeneous medium, a detailed discussion was presented on the impact of boundary conditions adopted on the middle of the transport coefficients. Second, a study was made on the absorption of sound by a porous medium, the noise being induced by an unsteady flow.

Finally, modeling by homogenization, a two-dimensional array of square cylindrical obstacles, analyzed from lattice Boltzmann schemes and finite elements, used to analyze the performance of LBM methods. Four articles are principally about two-phase media with various applications: the flow of a drop of oil in a pore, variable section, of a porous medium; the study of Rayleigh–Taylor and Kelvin–Helmholtz instabilities using LBM schemes for multiphase fluids; the simulation of the liquid–vapor phase change using a LBM model based on the development of the distribution function in Hermite polynomials; the simulation of particle deposition induced by acoustic effects by LBM method combined with a scheme of finite differences. For compressible fluids, the numerical stability properties of a lattice Boltzmann scheme with relative velocities applied to the Navier–Stokes equations are analyzed.

We hope that with this special issue, we have demonstrated the performance of lattice Boltzmann methods, and also the wide variety of mechanical problems that these methods allow us to study. Let us add that these simulation methods, because of their ease of implementation and adaptation to numerous physical problems, represent a huge potential both from the point of view of basic research as well as industrial applications.

Avant-propos

La série de conférences « Discrete Simulation of Fluid Dynamics (DSFD) » a commencé en 1986 à Los Alamos à l'initiative de Gary D. Doolen. Depuis, cette conférence annuelle permet aux chercheurs spécialistes de la simulation en mécanique des fluides à l'aide de méthodes cinétiques sur réseau de faire le point sur les progrès en cours. Parmi les nombreux sujets traités dans cette série de conférences, on nommera les schémas de Boltzmann sur réseau, les approches particulières dissipatives, l'hydrodynamique particulière, les méthodes directes de Monte Carlo, etc.

Le comité scientifique de la conférence internationale DSFD a proposé que Paris accueille en 2014 sa 23^e édition. Ce choix s'est imposé de par le rayonnement international de la ville de Paris, tant au plan scientifique qu'au plan culturel. De plus, l'approche cinétique discrète pour la mécanique des fluides est née dans les années 1970–1990 entre les laboratoires de mécanique de l'université Pierre-et-Marie-Curie (université Paris-6) et de physique de l'École normale supérieure à Paris. Les schémas de Boltzmann sur réseau utilisent en outre des outils théoriques inspirés de l'approche cinétique de Boltzmann, qui est un thème d'excellence de l'école mathématique française.

Compte tenu des domaines physiques variés couverts par les méthodes numériques exposées lors des conférences DSFD, un des objectifs de l'édition 2014, qui a eu lieu à l'École normale supérieure, à Paris, du 28 juillet au 1^{er} août 2014, a été de favoriser la pluridisciplinarité en accueillant des conférences et exposés ayant pour thème autant des aspects théoriques, justifiant par exemple les algorithmes de type Boltzmann sur réseau, que des aspects très appliqués issus de l'industrie. Au niveau fondamental, on notera les modèles *lattice Boltzmann* d'ordre élevé, les modèles multi-vitesses, les conditions aux limites, etc. Parmi les très nombreuses applications, on citera l'optimisation de la forme aérodynamique d'une voiture, les problèmes d'écoulements multiphasiques relatifs à l'industrie pétrolière, les suspensions colloïdales, la simulation de dispositifs de micro-fluidique, etc.

Les méthodes *lattice Boltzmann* (LBM) se sont développées au cours de ces dernières décennies dans tous les pays du monde. Il suffit pour s'en convaincre de consulter la liste des 13 membres du comité scientifique international de la conférence DSFD-2014 : Ilya Karlin (président, *Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Suisse*), Santosh Ansumali (*Jawaharlal Nehru Centre for Advanced Scientific Research, Bangalore, Inde*), Bruce Boghosian (*Boston, États-Unis* et *American University of Armenia, Erevan, Arménie*), Jean-Pierre Boon (*Université libre de Bruxelles, Belgique*), Bastien Chopard (*Université de Genève, Suisse*), Paul Dellar (*University of Oxford, Grande-Bretagne*), Jens Harting (*Technical University, Eindhoven, Pays-Bas*), Takaji Inamuro (*Kyoto University, Japon*), Paulo Cesar Philippi (*Federal University of Santa Catarina, Brésil*), Marisol Ripoll (*Forschungszentrum Jülich, Allemagne*), Xiaowen Shan (*Beijing Aero-Science & Technology Research Institute, Chine*), Sauro Succi (*National Research Council (CNR), Italie*) et Alexander Wagner (*North Dakota State University, États-Unis*).

Lors de la conférence DSFD-2014, nous avons compté 155 congressistes présents, dont 60 étudiants ou post-docs, avec plus de 30 nationalités représentées, provenant des cinq continents. La conférence a été structurée en 24 sessions, dont certaines spécialisées sur les matériaux granulaires, les gaz raréfiés, les particules dans les écoulements, les fluides compressibles, la turbulence, la rhéologie, les milieux poreux, la biophysique, et l'une d'elles entièrement consacrée aux applications industrielles, en particulier au logiciel industriel de simulation issu du projet « LaBS » (*Lattice Boltzmann Solver*).

Le comité local d'organisation de DSFD-2014, composé de Stéphane Dellacherie (CEA, centre de Saclay, France et École polytechnique de Montréal, Canada), François Dubois (CNAM Paris et université Paris-Sud, France), Stéphan Fauve (École normale supérieure, Paris, France), Renée Gagnol (université Pierre-et-Marie-Curie, Paris, France) et Dominique d'Humières (CNRS et École normale supérieure, Paris, France), a été chargé des contacts avec la revue *Comptes rendus Mécanique* (Académie des sciences, Paris), en vue de l'édition d'un numéro thématique.

Celui-ci, intitulé « Méthodes de Boltzmann sur réseau pour la résolution de problèmes de mécanique » rassemble huit contributions choisies et proposées par le comité local d'organisation, et validées par le comité scientifique international. Chaque contribution a donné lieu à un processus de lecture par deux rapporteurs.

Ce numéro thématique rassemble des articles où les simulations numériques sont réalisées en utilisant des méthodes de Boltzmann sur réseau classiques (LBM) ou bien plus récentes, telles que les méthodes de Boltzmann sur réseau utilisant deux temps de relaxation (LB TRT) ou un décentrement en vitesse.

Parmi les thèmes traités, trois ont pour sujet les milieux poreux. Premièrement, pour ceux-ci, modélisés comme un milieu homogène, une discussion approfondie est présentée sur l'impact des conditions aux limites adoptées sur les coefficients de transport du milieu. Deuxièmement, une étude est faite de l'absorption du son par un milieu poreux, le bruit étant induit par un écoulement instationnaire. Enfin, la modélisation, par homogénéisation, d'un réseau bidimensionnel carré d'obstacles cylindriques, analysée à partir de schémas LBM et d'éléments finis, permet d'approfondir les performances des méthodes LBM. Quatre articles ont pour thème principal les milieux diphasiques avec des applications variées : l'écoulement d'une goutte d'huile dans un pore, de section variable, d'un milieu poreux ; l'étude des instabilités de Rayleigh–Taylor et de Kelvin–Helmholtz à l'aide de schémas LBM pour fluides multiphasiques ; la simulation du changement de phase liquide–vapeur en utilisant un modèle LBM basé sur le développement de la fonction de distribution en polynômes d'Hermite ; la simulation du dépôt de particules induit par des effets acoustiques par une méthode LBM jointe à un schéma de différences finies. Pour des fluides compressibles, les propriétés de stabilité numérique d'un schéma LBM à vitesse relative appliqué aux équations de Navier–Stokes sont analysées.

Nous espérons avec ce numéro thématique, avoir montré les performances des méthodes de gaz de Boltzmann sur réseau (LBM) et aussi l'extrême variété des problèmes de mécanique que ces méthodes permettent d'étudier. Ajoutons que ces méthodes de simulation, de par leur simplicité d'implémentation et leur adaptation à de très nombreux problèmes physiques, correspondent à un énorme potentiel, tant du point de vue des recherches fondamentales que des applications industrielles.

Stéphane Dellacherie

CEA, centre de Saclay, France

École polytechnique de Montréal, Canada

E-mail addresses: stephane.dellacherie@cea.fr, stephane.dellacherie@polymtl.ca

François Dubois

CNAM, Paris, France

Université Paris-Sud, France

E-mail address: francois.dubois@math.u-psud.fr

Stéphan Fauve

École normale supérieure, Paris, France

E-mail address: stephan.fauve@lps.ens.fr

Renée Gatignol

Université Pierre-et-Marie-Curie, Paris, France

E-mail address: renee.gatignol@upmc.fr

Available online 8 September 2015