



UNIVERSITY OF AMSTERDAM

## UvA-DARE (Digital Academic Repository)

### Large Scale Lattice-Boltzmann Simulations: Computational Methods and Applications

Kandhai, B.D.

**Publication date**  
1999

[Link to publication](#)

#### **Citation for published version (APA):**

Kandhai, B. D. (1999). *Large Scale Lattice-Boltzmann Simulations: Computational Methods and Applications*. Universiteit van Amsterdam.

#### **General rights**

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

#### **Disclaimer/Complaints regulations**

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

# Large Scale Lattice-Boltzmann Simulations

Computational Methods and Applications

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT

ter verkrijging van de graad van doctor  
aan de Universiteit van Amsterdam  
op gezag van de Rector Magnificus  
prof.dr J. J. M. Franse

ten overstaan van een door het college voor promoties ingestelde  
commissie, in het openbaar te verdedigen in de Aula der Universiteit  
op donderdag 16 december 1999, te 13.00 uur

door

Bhagwatpersad Drona Kandhai

geboren te Paramaribo (Suriname)



UBA003000245

## Stellingen bij het proefschrift

1. Dat de rooster-Boltzmann methode uitermate geschikt is voor simulatie van vloeistofstromingen in complexe geometrieën is vooral te danken aan de bounce-back methode. Desalniettemin is het belangrijk zich terdege bewust te zijn van de artefacten van deze methode (hoofdstukken 3, 6 en 7).
2. Het probleem rond de specificatie van generieke randvoorwaarden in rooster-Boltzmann simulaties, die tweede-orde nauwkeurig en ook nog stabiel zijn, is onopgelost (zie o.a. hoofdstuk 3).
3. Naast efficiënte parallellisatie kan een kritische verfijning van het algoritme, zoals in de IMR techniek, resulteren in een wezenlijke versnelling van de rooster-Boltzmann simulaties (hoofdstukken 4 en 5).
4. De uitstekende overeenkomst tussen de eindige elementen berekeningen en de rooster-Boltzmann simulaties voor stroming in de SMRX statische mixer is veelbelovend; het systematisch lager uitvallen van de experimentele metingen in de orde van ongeveer 20% t.o.v. de simulaties daarentegen, suggereert dat of beide simulatiemodellen niet dezelfde condities nabootsen als in het experiment, of dat de experimentele data bestaande uit een vrij beperkt aantal meetpunten uiterst twijfelachtig is (hoofdstuk 6).
5. Simpele correlaties voor het beschrijven van transport eigenschappen van complexe fiber media, zoals de Kozeny-

Carman vergelijking en de analytische oplossing van Jackson en James, blijken in de praktijk verrassend goed te werken (hoofdstuk 7).

6. In tegenstelling tot de veel gebruikte porositeit-metriek, is de bepalende factor voor de doorlaatbaarheid van fiber media, de gemiddelde afstand tussen de vezels. De distributie van de "inter-fiber" afstanden voor ongeordende fiber media van Ogston, verschaft daarom veel inzicht in het vrij simpele exponentiële verband tussen de doorlaatbaarheid en de porositeit van ongeordende fiber media (hoofdstuk 7).
7. De afrondingsfase van een promotieonderzoek is in zekere zin vergelijkbaar met de convergentie van een rooster-Boltzmann simulatie: naarmate het einde nadert, vordert het onderzoek steeds langzamer en wordt het moeilijker tot een uiteindelijk resultaat te komen.
8. Als alle rij-examinatoren het rijexamen nog eens zouden afleggen, dan slaagt 50% niet; immers, het rijexamen vertoont heel veel overeenkomsten met een uniform verdeeld stochastisch proces.
9. Rijden in een Golf IV TDI met open ramen, leidt bij een snelheid van 180 km per uur tot ongeveer 20 – 40% extra brandstofverbruik (gebaseerd op een zelfstandig uitgevoerd *illegaal* experiment).
10. Op weg naar God leert men zich zelf kennen (met dank aan D. Bisai).

# Large Scale Lattice-Boltzmann Simulations

Computational Methods and Applications

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT

ter verkrijging van de graad van doctor  
aan de Universiteit van Amsterdam  
op gezag van de Rector Magnificus  
prof.dr J. J. M. Franse

ten overstaan van een door het college voor promoties ingestelde  
commissie, in het openbaar te verdedigen in de Aula der Universiteit  
op donderdag 16 december 1999, te 13.00 uur

door

**Bhagwatpersad Drona Kandhai**

geboren te Paramaribo (Suriname)

- Promotor: prof. dr P.M.A. Sloot (Universiteit van Amsterdam)
- Co-Promotor: dr. ir A.G. Hoekstra (Universiteit van Amsterdam)
- Commissie: prof. dr D. Frenkel (Universiteit van Amsterdam)  
prof. dr P. Iedema (Universiteit van Amsterdam)  
dr B. Chopard (University of Geneva)  
prof. dr P. Hemker (Universiteit van Amsterdam)  
prof. dr ir H. Bal (Vrije Universiteit Amsterdam)
- Faculteit: Wiskunde, Informatica, Natuurkunde en Sterrenkunde

The work that is described in this thesis was financially supported by:

- Universiteit van Amsterdam
- Nederlandse organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO), under the Massively Parallel Computing program (Portable Parallel Simulation of Crystal Nucleation and Growth project)
- Los Alamos National Laboratory (LANL)
- Power Computing & Communications UvA B.V.

ISBN 9057760371

Copyright ©1999 by B.D. Kandhai

Printed at PrintPartners Ipskamp, Enschede, The Netherlands

# Contents

## 1 Introduction

### 1 Computer simulations in fluid dynamics

1.1 Fluid dynamics	3
1.2 Computational fluid dynamics	4
1.3 Lattice BGK hydrodynamics	7
1.4 Research motivation and outline	10

## 2 Theoretical background

2.1 Lattice-Boltzmann models	13
2.2 The general Lattice Boltzmann equation	14
2.3 The lattice-BGK model	18
2.3.1 Single time-scale $\tau$ -approximation	18
2.3.2 The two-scale distribution function	19
2.3.3 Lattice symmetries	19
2.4 The Navier-Stokes equations	20
2.5 Boundary and LBM models	21
2.6 Recovery of LBA and LBM	22

## 11 Computational Methods

### 3 Boundary Conditions and checkerboard effects in Lattice-BGK models

3.1 Introduction	25
3.2 The checkerboard boundary condition	30
3.3 Comparison between half-way and pseudo boundary	35
3.4 Checkerboard effects in the $g_{\alpha}^i$ and $g_{\alpha}^i g_{\beta}^j$ models	38
3.5 Conclusions	43

### 4 Parallel Numerical Algorithms for Fast Lattice-Boltzmann Simulation



The first part of the book is devoted to the study of the
 structure of the real numbers. In the second part, the
 author discusses the construction of the real numbers
 from the rational numbers. The third part is devoted
 to the study of the properties of the real numbers.
 The fourth part is devoted to the study of the
 properties of the real numbers. The fifth part is
 devoted to the study of the properties of the real
 numbers. The sixth part is devoted to the study of
 the properties of the real numbers. The seventh part
 is devoted to the study of the properties of the real
 numbers. The eighth part is devoted to the study of
 the properties of the real numbers. The ninth part
 is devoted to the study of the properties of the real
 numbers. The tenth part is devoted to the study of
 the properties of the real numbers.

ISBN 90-319-0071-1

Copyright ©1990 by R.H. Koster

Printed in Frontmatter by the author, The Netherlands