

# THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 596

*Matière, Molécules, Matériaux*

Spécialité : *Physique Théorique*

Par

**Grégoire PIHAN**

## **Dynamics of fluctuations in heavy-ion collisions**

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 26/09/2022

Unité de recherche : Laboratoire SUBATECH, UMR 6457

### **Rapporteurs avant soutenance :**

Jean-Yves OLLITRAULT, C.E.A Saclay  
Marucs BLEICHER, Goethe Universität Frankfurt am Main

### **Composition du Jury :**

Président :	Gines MARTINEZ	Directeur de recherche, CNRS
Examineurs :	Pol-Bernard GOSSIAUX	Professeur, IMT Atlantique
	Chun SHEN	Assistant Professor, Wayne State University
	Beatrice RAMSTEIN	Directrice de recherche CNRS, IJCLAB
Dir. de thèse :	Taklit SAMI	Maitre de Conférence classe exceptionnelle, Nantes Université
Co-dir. de thèse :	Marlene NAHRGANG	Maitre Assistante, IMT Atlantique

### **Invité(s) :**

Marcus BLUHM Maitre de conférence contractuel, Nantes Université

---

**Titre :** Dynamique des fluctuations dans les collisions d'ions lourds

**Mot clés :** Dynamique des fluides fluctuante ; Collisions d'ions lourds ; Transition de phase ; Point critique

**Résumé :** L'univers a un jour été composé d'une soupe de matière appelé le plasma de quark et de gluons. Aujourd'hui on observe des états liés de quark et de gluons, les hadrons. L'étude de la transition de phase entre ces deux états de la matière nucléaire est primordiale dans la compréhension de l'univers actuel. Il est désormais possible de reproduire des conditions similaires à celles de l'univers primordial dans les collisions d'ions lourds relativiste et ainsi d'étudier la transition expérimentalement. Les fluctuations des nombres net de baryon, charge électrique et d'étrangeté sont des observables de choix dans cette approche, en particulier pour la recherche d'un éventuel point critique (CP). Les collisions d'ions lourds sont des expériences dynamiques, l'équilibre thermodynamique n'est peut-être pas atteint pendant la collision, rendant les études dynamiques indispensables. Dans cette thèse, on étudie l'impact de la dynamique des collisions d'ions lourds sur l'évolution diffusive des fluctuations de densités des charges conservées. On démontre la grande sensibilité des signaux provenant du point aux coefficients de diffusion ainsi qu'à la température de freeze-out révélant ainsi un grand impact de la dynamique. Une première approche de diffusion couplée avec des coefficient de diffusion réalistes montre que le signal peut survivre longtemps dans le phase hadronique.

---

**Title:** Dynamics of fluctuations in heavy-ion collisions

**Keywords:** Fluctuating fluid dynamics; Heavy-ion collisions, Phase transitions, Critical point

**Abstract:** The universe was once made up of a soup of matter called the quark-gluon plasma. Today we observe bound states of quarks and gluons, the hadrons. The study of the phase transition between these two states of nuclear matter is essential to understand our current universe. It is now possible to produce similar conditions as those of primordial universe in relativistic heavy-ion collisions and thus to study the transition experimentally. Fluctuations of net-baryon, net-electric charge and net-strangeness numbers have proven to be observables of choice in this approach, in particular for the search of a possible QCD critical point (CP). Heavy-ion collisions are dynamic experiments and thermodynamic equilibrium may not be reached during the collision, making non-equilibrium studies is a necessity. In this thesis, we study the impact of the heavy-ion collision dynamics on the diffusive evolution of conserved charge density fluctuations. We demonstrate the great sensitivity of the signals from the CP to the diffusion coefficients and the freeze-out temperature, thus revealing a significant impact of the dynamics. A first study of the coupled evolution with realistic diffusion coefficients shows that the critical signal can survive for a long time in the hadronic phase.