

THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 641
*Mathématiques et Sciences et Technologies
de l'Information et de la Communication*
Spécialité : *Mathématiques et leurs Interactions*

Par

Damien PREL

**Méthodes particulières multi-échelles pour des équations ciné-
tiques présentant des collisions et de fortes oscillations**

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 22 Novembre 2024
Unité de recherche : Laboratoire de Mathématiques Jean Leray (LMJL)

Rapporteurs avant soutenance :

Frédérique CHARLES Professeure des universités, Université Grenoble Alpes
Luc MIEUSSENS Professeur des universités, Bordeaux INP

Composition du Jury :

Examineurs :	Emmanuel FRANCK	Chargé de recherche, INRIA centre de l'Université de Lorraine
	Julien MATHIAUD	Professeur des universités, Université de Rennes
Rapporteurs :	Frédérique CHARLES	Professeure des universités, Université Grenoble Alpes
	Luc MIEUSSENS	Professeur des universités, Bordeaux INP
Dir. de thèse :	Christophe BERTHON	Professeur des universités, Nantes Université
Co-dir. de thèse :	Nicolas CROUSEILLES	Directeur de recherche, INRIA centre de l'Université de Rennes
Co-end. de thèse :	Anaïs CRESTETTO	Maître de conférences, Nantes Université

Titre : Méthodes particulières multi-échelles pour des équations cinétiques présentant des collisions et de fortes oscillations

Mot clés : Vlasov ; multi-échelles ; uniformément précis ; oscillations ; collisions

Résumé : Cette thèse porte sur le développement de méthodes particulières pour des modèles cinétiques issus de la physique des plasmas et de la physique des gaz raréfiés. Les équations présentent de fortes oscillations ainsi que de la dissipation, sous forme d'un opérateur de collision. Les équations sont filtrées afin de considérer le modèle moyenné, limite du modèle initial lorsque la fréquence des oscillations tend vers l'infini. Ces équations sont largement étudiées sans collisions, cependant ces dernières sont importantes dans certaines applications. Des études théoriques et numériques sont présentées dans ce mémoire, notamment pour comprendre comment les oscillations modifient les équilibres maxwelliens. Les discrétisations en temps uti-

lisées sont uniformément précises en la fréquence des oscillations et se basent sur la formulation double-échelles des équations.

Bien que particulièrement adaptées aux équations de transport, les méthodes particulières nécessitent des développements pour être appliquées aux opérateurs de collisions. On considère dans cette thèse les opérateurs de Bhatnagar-Gross-Krook (BGK) ainsi que Fokker-Planck (et des variantes). Pour le premier, une relaxation des poids est considérée. Pour le second, une approche à poids constant est considérée : on étend des travaux récents où l'opérateur de collision est régularisé afin de pouvoir dériver des équations sur les particules.

Title: Multiscales particle methods for kinetic equations with collisions and strong oscillations

Keywords: Vlasov; multiscales; uniformly accurate; oscillations; collisions

Abstract: This thesis deals with the development of particle methods for kinetic models from plasma physics and rarefied gas physics. The equations exhibit strong oscillations and dissipation, in the form of a collision operator. The equations are filtered to consider the averaged model, the limit of the initial model when the frequency of oscillations tends towards infinity. These equations are largely studied without collisions, although the latter are important in certain applications. Theoretical and numerical studies are presented in this thesis, in particular to understand how oscillations modify Maxwellian equilibria. The time

discretizations used are uniformly accurate in the frequency of oscillations and are based on a two-scale formulation of the equations.

Although particularly well-suited to transport equations, particle methods require further development before being applied to collision operators. The Bhatnagar-Gross-Krook (BGK) and Fokker-Planck (and variants) operators are considered in this thesis. For the former, weight relaxation is considered. For the latter, a constant-weight approach is considered: we extend recent work where the collision operator is regularized in order to derive particle equations.