

Suspensions turbulentes d'impuretés

Concentrations, interactions et applications astrophysiques et environnementales

Directeur : Alain Noullez

Co-directeur : Jérémie Bec

Laboratoire d'accueil : Laboratoire Cassiopée, UMR6202
Observatoire de la Côte d'Azur, Nice.

Contexte

Les impuretés transportées par un écoulement, comme des poussières, des gouttelettes ou des bulles ont généralement une taille finie et une densité de masse différente de celle du fluide. Elle ne suivent donc pas exactement le mouvement du fluide environnant et leur dynamique est très influencée par leur inertie. Dans un écoulement turbulent, les tourbillons agissent alors comme de petites centrifugeuses éjectant les particules inertielles lourdes et concentrant les légères.

La description statistique de ce mécanisme reste à ce jour une question très largement ouverte avec de nombreuses applications non seulement industrielles, mais aussi astrophysiques, géophysiques et environnementales. Citons notamment les sprays fortement dilués apparaissant dans les moteurs Diesel ou à réaction ou dans les fours à charbon pulvérulent ; l'optimisation de la combustion nécessite une représentation suffisamment précise de la distribution de concentration.

Un champ d'application important des particules inertielles est la formation des planètes dans le système solaire. La poussière contenue dans le disque protoplanétaire se comporte comme des particules inertielles suspendues dans l'écoulement turbulent du gaz. Leur concentration favorise l'accrétion par gravitation et la formation des planétésimaux, petits corps dont les tailles varient de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres. Une compréhension détaillée de l'agrégation des particules est nécessaire pour la détermination des échelles de temps caractéristiques de la formation de ces objets. Un autre problème d'échelles de temps concerne le processus de précipitation dans les nuages chauds. Une bonne estimation du taux de grossissement des gouttelettes d'eau doit impérativement prendre en compte les effets inertiels qui favorisent les collisions et donc la croissance par coalescence des gouttes de pluie.

Finalement, les particules inertielles constituent aussi une bonne modélisation du transport de spores, de pollens, de poussières ou de polluants dans les écoulements géophysiques. Par exemple, les dégâts importants liés à l'émission naturelle ou accidentelle d'impuretés peuvent être évités si ceux-ci restent suffisamment dilués et la turbulence de l'atmosphère participe bien entendu à leur dispersion. Toutefois, l'inertie des particules peut conduire à l'apparition de très fortes concentrations, les densités locales pouvant alors atteindre des niveaux dangereux et dépasser les seuils où apparaissent irritations et allergies. Une compréhension détaillée des propriétés statistiques des particules inertielles et des mécanismes physiques fondamentaux entrant dans leur dynamique est indispensable au développement d'outils de prédiction, de gestion des risques ou d'aide à la décision utilisés dans nombre de disciplines scientifiques et technologiques (météorologie, océanographie, hydrologie, ingénierie civile et environnementale...).

Objectifs

L'objet de cette thèse est l'analyse systématique d'un modèle simple pour la dynamique des particules dans lequel on a décidé d'isoler l'effet principal induit par leur inertie, à savoir leur frottement visqueux avec le fluide. Les outils analytiques utilisés iront de la phénoménologie de la mécanique des fluides aux propriétés fines des systèmes dynamiques, en passant par la théorie des processus stochastiques et la physique statistique.

Les travaux s'articuleront autour de trois grands objectifs :

- Concentrations de particules

Il s'agira là de déterminer, d'une part, les propriétés d'échelle de la distribution de masse des particules et d'autre part, les corrélations entre la position de celles-ci et la structure spatiale de l'écoulement qui les transporte. Ceci sera fait aussi bien dans des écoulements modèles que dans des écoulements turbulents dont les caractéristiques sont proches des situations réelles.

- Interactions entre particules et formation des planétésimaux

L'objectif sera de mesurer et de proposer des estimations des échelles de temps associées à différents types d'interactions entre des particules inertielles (collisions, réactions chimiques, gravité...). Une des applications de ces travaux sera de mieux identifier les mécanismes d'agrégation de la poussière dans le disque protoplanétaire. Cette étude nécessitera un effort important de modélisation sur un sujet qui, pour l'instant, a surtout été abordé de façon purement empirique.

- Application à la dispersion de polluants dans l'atmosphère

Dans nombre d'applications environnementales, les outils de prédiction du transport dans l'atmosphère d'un gaz ou de contaminants se basent sur la dispersion d'une unique particule, et donc sur une estimation du champ de concentration moyen. Il est toutefois bien connu que la turbulence de l'écoulement porteur peut provoquer de très fortes fluctuations locales de cette concentration qu'il est aussi important de pouvoir quantifier. De telles fluctuations sont liées à l'évolution temporelle de la variance de la séparation entre deux particules. Il s'agira dans un premier temps de comprendre dans quelle mesure les différents régimes (Batchelor et Richardson-Obukhov) présents dans le cas de traceurs sont modifiés par l'inertie des particules. Dans un second temps, il sera question d'étudier comment les particules émises de façon continue en temps par une source localisée en espace se dispersent selon que le fluide environnant est soumis ou non à un écoulement moyen.

Les travaux seront accompagnés de simulations numériques massives, aussi bien dans des écoulements de géométrie simple périodique que dans des conditions plus réalistes avec par exemple des parois. Le traitement algorithmique des interactions entre particules et la parallélisation des calculs permettront au candidat de développer de solides connaissances en calcul scientifique.

Le candidat bénéficiera d'un contexte local et international fort. Cette étude sera effectuée en interaction étroite avec des membres de l'équipe de planétologie du Laboratoire Cassiopée pour les applications des particules inertielles à la formation planétaire et de l'Institut Non Linéaire de Nice pour les aspects relatifs à la dispersion. Une partie des travaux sera le sujet d'une collaboration avec l'Université de Rome dans le cadre d'un projet européen DEISA Extreme Computing Initiative. À noter finalement que les études sur la dispersion d'impuretés à partir d'un point source seront le pendant numérique-théorique d'expériences menées à l'École Normale Supérieure de Lyon.

Contact

Jérémie Bec

tel: 04 92 00 31 19

e-mail: jeremie.bec@obs-nice.fr