



ECOLE DOCTORALE
ED 468
« Mécanique, Energétique, Génie Civil, Procédés »



Proposition de sujet de thèse- Contrats Doctoraux MESRI 2022-2025
Démarrage septembre 2022

Titre du sujet	Focalisation inertielle de particules en canaux courbes
Directeur de thèse* *HDR	BALDAS Lucien INSA Toulouse lucien.baldas@insa-toulouse.fr ; 05 61 17 11 01
Co-Directeur de thèse* *HDR	Co-encadrant non HDR : MAGAUD Pascale Université Paul Sabatier pascale.magaud@iut-tlse3.fr ; 05 61 17 11 02
Laboratoire	Institut Clément Ader (ICA UMR CNRS 5312) 3, rue Caroline Aigle 31400 TOULOUSE

Description du sujet

On sait depuis les travaux de Poiseuille en 1836 que des particules en écoulement dans des micro-canaux peuvent migrer vers des positions d'équilibre spécifiques où elles se concentrent. Malgré l'existence de nombreux travaux depuis ceux de Segré et Silberberg en 1962, la connaissance des mécanismes à l'origine de ce phénomène naturel de focalisation inertielle est cependant encore insuffisamment développée. L'objectif de ce projet de thèse est d'améliorer la compréhension des phénomènes physiques qui contrôlent la migration de particules inertes sphériques en écoulement dans des micro-canaux coudés et spiralés de section carrée. L'étude, essentiellement expérimentale, sera basée sur l'observation *in situ* puis l'analyse des distributions de particules au sein des micro-canaux. Ce travail contribuera ainsi, par l'analyse prédictive des trajectoires de particules dans des micro-canaux coudés, au développement de dispositifs innovants de séparation et d'analyse intégrables sur des laboratoires sur puce.

Ce projet s'intègre dans un projet initié en 2011 et associant plusieurs équipes de différents laboratoires toulousains (ICA, LGC, TBI), collaborant dans le cadre de la fédération FERMaT. Cette mise en commun d'approches expérimentales et numériques a déjà permis l'obtention de résultats originaux sur la migration latérale de particules dans des micro-canaux rectilignes, concernant notamment l'existence de trois régimes de migration à inertie faible, modérée et élevée (Abbas et al. 2014, Gao et al. 2021), la formation de trains de particules (Gao et al. 2017), le comportement de suspensions bidisperses de particules sphériques (Gao et al. 2019) et celui de suspensions de particules rigides non sphériques (Tohme et al. 2021). Les résultats obtenus ont confirmé le fort potentiel applicatif de la focalisation inertielle en termes de séparation, détection et/ou concentration de particules en suspension à micro-échelle. Pour permettre l'intégration d'une telle technologie sur des laboratoires sur puce, nous envisageons à présent de travailler sur sa compacité en utilisant des canaux spiralés. La présence, dans un canal courbe, d'écoulements secondaires appelés vortex de Dean introduit une nouvelle force de trainée sur les particules qui modifie l'équilibre des forces et par conséquent la migration latérale des particules. L'analyse approfondie du transport de particules en micro-canaux courbes s'avère donc indispensable pour une meilleure compréhension des phénomènes mis en jeu.

Ce travail sera basé sur une approche expérimentale réalisée à l'ICA à l'aide d'outils, déjà développés lors de nos précédents travaux, basés sur de la microscopie optique et sur l'analyse statistique d'images. Nous nous intéresserons dans un premier temps à la migration des particules de suspensions monodisperses dans un canal plan coudé. Ces premiers travaux seront ensuite complexifiés par l'utilisation d'un canal spiralé.



ECOLE DOCTORALE ED 468

« Mécanique, Energétique, Génie Civil, Procédés »



Enfin, nous étudierons l'effet des interactions hydrodynamiques entre particules sur leur migration en introduisant des populations mixtes dans les canaux coudés et spiralés.

Ces travaux pourraient aboutir à la conception d'un premier prototype de séparateur innovant.

Programme prévisionnel :

- Synthèse bibliographique
- Adaptation du banc expérimental existant à l'analyse des écoulements en micro-canaux coudés
- Simulations numériques (Ansys-Fluent ou OpenFoam) pour quantifier l'effet des conditions d'écoulement sur les vortex de Dean
- Campagne expérimentale : particules sphériques en suspension mono-disperse en canal courbé
- Développement technique et méthodologique pour la fabrication de microsystèmes spiralés permettant la visualisation
- Campagne expérimentale : particules sphériques en suspension mono-disperse en canal spiralé
- Analyse des résultats ; mise en évidence des phénomènes physiques mis en jeu et modélisation numérique (collaboration LGC)
- Campagne expérimentale : particules sphériques en suspension bi-disperse en canal courbé et spiralé
- Analyse des résultats ; prise en compte des effets collectifs ; proposition d'outils d'aide à la conception d'un micro-système de séparation
- Synthèse (rédaction bilan, publications)

Bibliographie

- Segre G, Silberberg A (1962) Behaviour of macroscopic rigid spheres in Poiseuille flow Part 2. Experimental results and interpretation. *Journal of fluid mechanics* 14:136-157
- Abbas M, Magaud P, Gao Y, Geoffroy S (2014) Migration of finite sized particles in a laminar square channel flow from low to high Reynolds numbers *Physics of Fluids* (1994-present) 26:123301
- Gao, Y.; Magaud, P.; Baldas, L.; Wang, Y. (2021) Inertial Migration of Neutrally Buoyant Spherical Particles in Square Channels at Moderate and High Reynolds Numbers. *Micromachines*, 12, doi.org/103390.
- Martel JM, Toner M (2013) Particle focusing in curved microfluidic channels. *Sci Rep* 3:3340

Compétences attendues du candidat

- Titulaire d'un Master ou équivalent
- Formation solide en mécanique des fluides
- Bonne connaissance de Matlab
- Bonnes capacités de communication écrite et orale en anglais
- Une expérience dans le domaine de la microfluidique et/ou des techniques expérimentales en mécanique des fluides serait un plus

Rémunération

Un contrat doctoral du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche de 36 mois (rémunération brute mensuelle de l'ordre de 1769 €) sera proposé pour réaliser ces travaux.

Candidature :

Envoyer CV, relevés de notes des 2 dernières années et lettre de motivation avant le **8 avril 2022** à pascale.magaud@iut-tlse3.fr et lucien.baldas@insa-toulouse.fr



ECOLE DOCTORALE ED 468

« Mécanique, Energétique, Génie Civil, Procédés »



Research project description:

Since the work of Poiseuille in 1836, it is well known that particles flowing in a micro-channel can migrate towards equilibrium positions where they concentrate. However, despite the numerous works following those of Segré and Silberberg in 1962, the understanding of the mechanisms underlying the natural inertial migration phenomenon is still insufficiently developed. The aim of this thesis project is thus to improve knowledge of the physical mechanisms controlling the transport of spherical micro-particles flowing in curved and multi-loop square channels. The experimental study will be based on the *in situ* observation of particles flowing in curved microchannels and on the analysis of their distributions. The predictive analysis of the particles trajectories will lead to new ideas for breakthrough technologies for the design of innovative micro-separators that can be integrated on a lab-on-a-chip.

This work takes place in a large project started in 2011 and associating several teams from different laboratories (ICA, LGC, LISBP) collaborating in the research federation FERMAT located in Toulouse. This collaboration between experimental and numerical approaches enabled original results concerning, in particular, the existence of three different migration regimes at low, moderate and high inertia (Abbas et al. 2014, Gao et al. 2021), the trains formation (Gao et al. 2017), the migration behaviour of bidisperse suspensions of spherical particles (Gao et al. 2019) and that of complex shapes ones (Tohme et al. 2021). The obtained results confirm the high applicative potential of inertial focusing in terms of separation, detection and/or concentration of flowing particles at micro-scale. In order to develop micro-systems based on the inertial focusing technology that can be integrated on a lab-on-chip, we aim now to work on their compacity by using curved channels. The forces equilibrium and thus the particles lateral migration are modified in curved channels due to the emergence of a new drag force induced by the presence of secondary flows called Dean vortices. An in-depth analysis of the particles transport in curved micro-channels is thus needed.

This work will rely on the experimental set-ups already developed at ICA during previous works based on classical microscopy and images statistical analysis. First, we will focus on the inertial focusing of particles in a monodisperse suspension flowing in a plane curved channel. The configuration will then be complicated by the use of a multi-loop channel. Finally, the hydrodynamic interactions between migrating particles will be studied by introducing mixed populations in the curved and multi-loop channels.

This work could lead to the design of the first prototype of an innovative micro-separator for biological applications.

Requirements

The candidates are required to have the following qualifications:

- Master-level (5 years) degree in Engineering or Physics or Applied Mathematics with high standard results;
- very good background in fluid mechanics
- good communication skills and written/verbal knowledge of the English language;
- high autonomy and adaptability skills;
- if the candidate has some experience in microfluidics and/or in experimental techniques adapted to fluid flows, this would be a benefit.

Financial information / Salary

A 36 month Doctoral Contract from the French Ministry of Higher Education and Research will be proposed to the PhD Student. Monthly gross salary is around 1 769 €.

Application :

Send a CV, the transcripts of records of last 2 years and a motivation letter before April 8, 2022 to pascale.magaud@iut-tlse3.fr and lucien.baldas@insa-toulouse.fr