




ECOLE DOCTORALE  
ED 468

« Mécanique, Energétique, Génie Civil, Procédés »



**Sujet de thèse ICA Toulouse - démarrage septembre 2017**

<b>Titre du sujet</b>	<b>Migration de particules de forme complexe dans des micro-canaux</b>
<b>Responsables</b>	Pascale MAGAUD et Lucien BALDAS  05 61 17 11 02 ou 05 61 17 11 01 <a href="mailto:pascale.magaud@insa-toulouse.fr">pascale.magaud@insa-toulouse.fr</a> <a href="mailto:lucien.baldas@insa-toulouse.fr">lucien.baldas@insa-toulouse.fr</a>
<b>Laboratoire</b>	<b>Institut Clément Ader (ICA UMR CNRS 5312)</b>  3, rue Caroline Aigle 31400 TOULOUSE <a href="http://www.institut-clement-ader.org">www.institut-clement-ader.org</a> 

**Objectif:**

Notre objectif est d'améliorer la prédiction des trajectoires de particules inertes non sphériques soumises à un écoulement liquide dans des micro-canaux. Les connaissances acquises sur ces particules modèles de forme complexe contribueront au développement de dispositifs innovants de séparation et d'analyse de bio-particules.

**Contexte**

De nombreux travaux ont démontré que la distribution spatiale de particules en écoulement dans des micro-canaux pouvait devenir hétérogène même dans des configurations d'écoulements très simples. Des sphères en suspension iso-dense, par exemple, migrent sous certaines conditions vers des positions d'équilibre préférentielles (on observe notamment une concentration annulaire dans une conduite de section circulaire). Ce phénomène mis en évidence par Segré et Silberberg, dû à l'interaction entre la particule rigide et la courbure du profil de vitesse de l'écoulement confiné, pourrait être plus largement exploité pour des opérations de concentration et/ou de tri. Pour des particules de forme plus complexe que la sphère rigide, malgré l'existence de quelques travaux récents (Di Carlo *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* 2011), les phénomènes de migration restent insuffisamment étudiés, bien que ce soit dans ce cadre que se situent le plus grand nombre d'applications potentielles, en particulier dans le cas des microorganismes (contrôles sanitaires, tri, isolement, quantifications...). L'objectif de ce projet est donc d'étudier la migration de particules inertes non sphériques dans des micro-canaux. Cette étude permettra de mieux comprendre les mécanismes physiques qui contrôlent les trajectoires de particules anisotropes dans des écoulements confinés, afin d'en améliorer la prédiction.

Ce travail s'intègre dans un projet initié en 2011 et associant plusieurs équipes de différents laboratoires toulousains (Institut Clément Ader, Laboratoire de Génie Chimique, Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Biologiques et des Procédés, Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse), collaborant dans le cadre du thème « Microfluidique et Microréacteurs » 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 sphériques dans des  $\mu$ canaux. Le travail réalisé par Yanfeng GAO, boursier du CSC-Chine et doctorant à l'ICA depuis sept. 2013 co-encadré par Pascale MAGAUD et Lucien BALDAS, a permis de développer des outils expérimentaux basés sur de la microscopie (matériel Fermat) et d'analyser les positions de particules sphériques iso-denses dans des écoulements faiblement et modérément inertiels en micro-canaux de sections carrées et circulaires [Lafforgue-Baldas *et al.*, *J. Flow Chem* 2013]. Les résultats obtenus ont

été corroborés par des simulations numériques (réalisées par Micheline ABBAS au LGC) qui ont permis d'obtenir les trajectoires de particules pendant leur migration dans les mêmes conditions d'écoulement [Abbas *et al.*, *Phys. Fluids* 2014]. Ces études ont mis en évidence le rôle de la géométrie (forme du canal, rapport de taille particule/canal...) et des conditions d'écoulement sur le mécanisme de migration.

Nous envisageons maintenant d'étendre cette démarche à l'étude des trajectoires de particules inertes de formes plus complexes dans des conditions d'écoulement similaires (écoulement laminaire à nombre de Reynolds modéré). Les géométries des particules que nous souhaitons utiliser dans un premier temps se rapprochent de la morphologie de levures (*Saccharomyces cerevisiae*) et sont commercialement disponibles. L'étude de micro-canaux de sections carrées et rectangulaires (de quelques dizaines à quelques centaines de  $\mu\text{m}$  de côté) sera privilégiée. Dans un premier temps, le doctorant s'attachera à analyser les trajectoires de particules isolées et l'orientation de ces particules anisotropes. Il sera pour cela nécessaire de développer des méthodologies expérimentales spécifiques, en particulier des méthodes de visualisation 3D. Par la suite, l'effet des interactions hydrodynamiques entre particules sur leur comportement sera considéré (effets collectifs). Ces travaux pourraient aboutir à la conception d'un premier prototype de séparateur innovant.

### **Programme prévisionnel:**

- Synthèse bibliographique
- Prise en main du matériel existant et développements techniques et méthodologiques (en particulier visualisation 3D)
- Essais préliminaires
- Analyse des résultats et ajustement de la méthodologie
- Campagne expérimentale – particules isolées
- Analyse des mécanismes de migration et d'orientation
- Etude des effets collectifs
- Conception d'un micro-séparateur prototype
- Synthèse (rédaction bilan, publications)

### **Bibliographie**

- 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
- Bhagat AAS, Kuntaegowdanahalli SS, Papautsky I (2008) Enhanced particle filtration in straight microchannels using shear-modulated inertial migration *Physics of Fluids* (1994-present) 20:101702
- Di Carlo D, Irimia D, Tompkins RG, Toner M (2007) Continuous inertial focusing, ordering, and separation of particles in microchannels *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:18892-18897

### **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 1685 €) sera proposé pour réaliser ces travaux.

### **Candidature :**

Envoyer CV, relevés de notes des 2 dernières années et lettre de motivation avant le **6 mai 2017** à [pascale.magaud@insa-toulouse.fr](mailto:pascale.magaud@insa-toulouse.fr) et [lucien.baldas@insa-toulouse.fr](mailto:lucien.baldas@insa-toulouse.fr)

## **Research project description:**

It is now well known that the distribution of particles flowing in a micro-channel could become inhomogeneous even in very simple flow and geometrical configurations. For example, iso-dense spheres flowing in micro-channels under specific flow conditions migrate towards equilibrium positions located near the channel walls. Despite recent works [Di Carlo et al., Appl. Phys. Lett. 2011], the migration phenomenon is still unclear and insufficiently explored for other kinds of inert particle morphologies although most of the possible applications (microbial control in food industry, biological fluids analysis ...) concern particles with complex shapes and more particularly micro-organisms. The aim of this project is thus to study the migration phenomena of inert non-spherical particles in micro-channels. It will lead to an improved knowledge of the physical mechanisms controlling the transport of complex shape micro-particles. This will permit to build a relevant tool to predict the response of such particles suspensions flowing in micro-channels. The fundamental aspects developed in this project will be helpful to improve the performances of existing separation processes and more importantly can yield new ideas for breakthrough technologies for the design of innovative micro-separators for biological applications.

This work takes place in a large project started in 2011 and associating several teams from different laboratories (ICA, LGC, LISBP, IMFT) collaborating in the research federation FERMAT located in Toulouse. Experimental set-ups based on classical microscopy have already been developed and used for spherical particles by Y.GAO PhD student working at ICA since September 2013 and supervised by P.Magaud and L.Baldas [Lafforgue-Baldas et al., J. Flow Chem 2013]. Spheres trajectories in similar conditions have been obtained by numerical simulations [Abbas et al., Phys. Fluids 2014] based on the Force Coupling Method. These studies have shown the role of the geometrical (channel shape, particle to channel size ratio ...) and operating (Reynolds number) parameters on the migration mechanism.

This approach will now be applied to inert particles with more complex shapes in similar flow conditions (laminar flow at low and moderate Reynolds numbers). The geometry of the first particles to be studied is close to yeast morphology (*Saccharomyces cerevisiae*). In a first phase, the PhD student will analyse the trajectories of single anisotropic particles and their orientation when flowing in rectangular or square micro-channels (of a few tens to a few hundreds of  $\mu\text{m}$  in width). Specific experimental methodologies will have to be developed for that, in particular 3D visualisation methods. In a second step, hydrodynamic interactions between particles will be studied in order to analyse collective effects. Finally, 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 1 685 €.

## **Application :**

Send a CV, the transcripts of records of last 2 years and a motivation letter before **May 6, 2017** to [pascale.magaud@insa-toulouse.fr](mailto:pascale.magaud@insa-toulouse.fr) and [lucien.baldas@insa-toulouse.fr](mailto:lucien.baldas@insa-toulouse.fr)