

Contexte : Les fluides complexes abondent autour de nous que ce soient les fluides biologiques (sang, mucus), les boues d'érosion ou les pâtes industrielles. Du point de vue théorique, la caractérisation de ces milieux est confrontée d'une part à l'extrême diversité de dimension et forme des particules qui les composent, et d'autre part au couplage entre les échelles macroscopique et microscopique : la distribution spatiale des particules (*i.e.* la microstructure de la suspension) contrôle l'écoulement du fluide, mais l'écoulement (macroscopique) rétroagit et modifie cette microstructure. Du point de vue expérimental, la caractérisation de ces milieux nous amène à développer de nouveaux outils. En effet, l'utilisation de méthodes d'imagerie optique est limitée à des suspensions diluées ou à des suspensions concentrées transparentes (grâce à une technique iso-indice) qui sont peu représentatives des suspensions présentes dans l'environnement, l'industrie ou les fluides biologiques.

Notre approche est de développer et valider un outil ultrasonore (US) pour sonder la microstructure des suspensions pour lesquelles les techniques optiques ne sont plus envisageables. Le principe est basé sur la mesure US du facteur de structure, qui est lié à la transformée de Fourier de la fonction de corrélation de paires. Pour mesurer le caractère anisotrope de la microstructure, nous avons développé un dispositif expérimental de mesures US selon plusieurs angles d'insonification (Fig. 1a). Pour des suspensions denses cisillées, il existe, à l'échelle du grain, une région déplétée en particules dont nous observons pour la première fois la signature US (Fig.1b). Pour les suspensions denses mélangées "à la main", cette signature ultrasonore est isotrope comme attendu (Fig.1c).

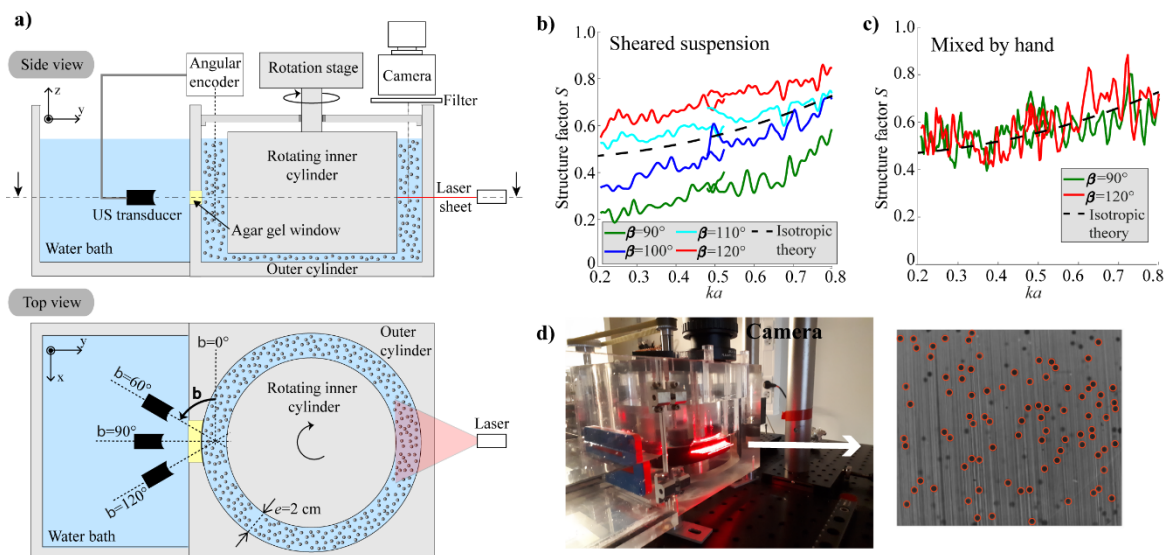


Figure 1 : (a) Schéma du dispositif de Couette combiné à un transducteur ultrasonore pour sonder la suspension suivant plusieurs angles d'insonification β et à une nappe laser pour visualiser la microstructure. (b-c) Facteurs de structure mesurés par ultrasons pour différents angles β pour une même suspension de particules (b) cisillée et (c) mélangée "à la main". (d) Photo du dispositif expérimental et visualisation de l'arrangement spatial des particules au sein d'une suspension iso-indice.

Objectifs : Le(la) stagiaire de Master aura pour objectif de mener conjointement sur ce dispositif de Couette des mesures ultrasonore et optique sur des suspensions denses, l'imagerie optique servant de mesure de référence. Les suspensions consisteront en des sphères rigides de PMMA ou déformables de PDMS dans un fluide suspendant ajusté en indice de réfraction avec les particules (Fig.1d), ce qui permettra la détermination optique de la fonction de corrélation de paires. La confrontation ultrasons/optique permettra de valider l'outil ultrasonore pour caractériser la microstructure des suspensions, et envisager à terme la caractérisation et l'étude de la microstructure des suspensions opaques de particules déformables (globules rouges), pour lesquelles la rhéologie est encore mal comprise. Les expériences pour la production de billes déformables seront menées en collaboration avec le laboratoire INPHYNI à Nice.

Contacts :

Emilie Franceschini email : franceschini@lma.cnrs-mrs.fr web : <http://www.lma.cnrs-mrs.fr/spip.php?auteur14>
 Laurence Bergougnoux email : laurence.bergougnoux@univ-amu.fr

Profil : Le(la) candidat(e) recherché(e) aura des compétences en physique, mécanique des fluides et/ou acoustique, une bonne maîtrise de la programmation Matlab ou Python et un intérêt pour l'expérimental.

Durée du stage : 4 à 6 mois à partir de février 2024

Gratification : 600 €/ mois

Possibilité de poursuite en thèse : oui, suivant le classement à l'école doctorale (si bourse ministérielle)

[1] Blanc, Lemaire, Meunier, Peters, *Microstructure in sheared non-brownian concentrated suspensions*, Journal of rheology 57 (2013)

[2] Lombard, Rouyer, Debieu, Blanc, Franceschini, *Ultrasonic backscattering and microstructure in sheared concentrated suspensions*, J. Acoust. Soc. Amer. 147 (2020)

Ultrasound to probe the microstructure of sheared suspensions

Context. Complex fluids are ubiquitous in nature and in industry: biological fluids (blood, mucus), erosion sludge or industrial pastes. From a theoretical point of view, the characterization of these media is confronted firstly to the huge variety of particle size and shape that compose them, and secondly to the coupling between the macroscopic and microscopic scales: the flow is controlled by the spatial distribution of the particles (*i.e.*, the microstructure of the suspension), but the macroscopic flow back-acts and modifies this microstructure. From an experimental point of view, it is crucial to develop tools to investigate the microstructure of concentrated suspensions. The use of optical methods is limited to diluted suspensions or transparent concentrated suspensions (by using an iso-index technique) that are not representative of natural or industrial conditions.

Our approach is to develop and validate an ultrasonic tool (US) to probe the microstructure of suspensions for which optical techniques are no longer possible. The principle is based on the US measurements of the structure factor, which is related to the Fourier transform of the pair correlation function. To measure the anisotropy of the microstructure, we developed an experimental device for US measurements at several angles of insonification (Fig. 1a). For dense sheared suspensions, there is a region depleted in particle pairs observed for the first time by ultrasound scattering (Fig.1b). Whereas, for dense suspensions mixed "by hand", the ultrasonic signature is isotropic as expected (Fig.1c).

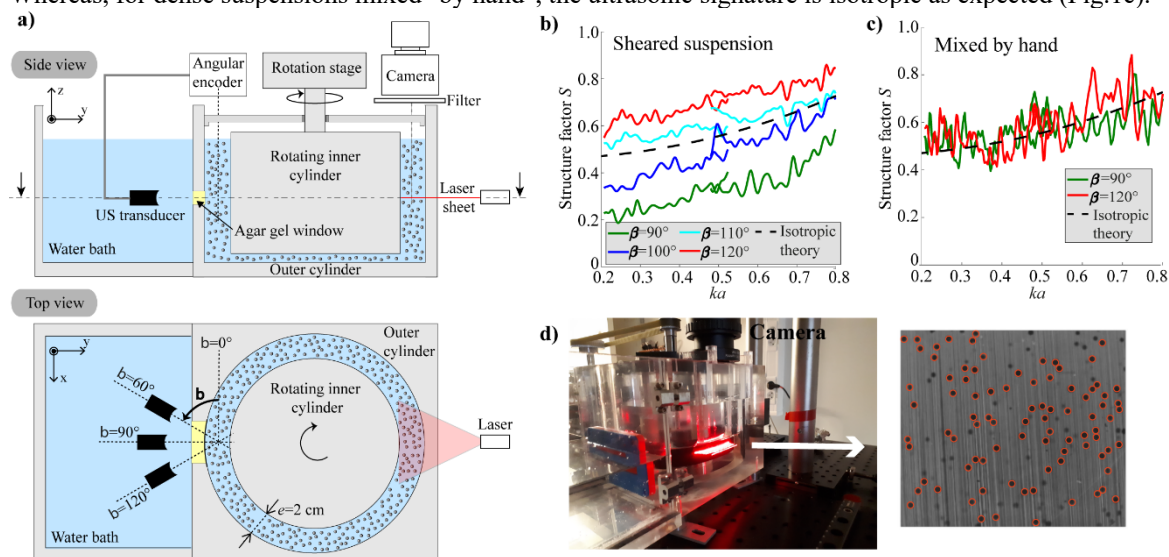


Figure 1. (a) Diagram of the Couette setup combined with an ultrasonic transducer to probe the suspension at several insonification angles β and a laser sheet to visualize the microstructure. (b-c) Ultrasonically measured structure factors for different insonification angles β for the same particle suspension (b) sheared and (c) mixed "by hand". (d) Photo of the experimental device and visualization of the spatial arrangement of particles within an iso-index suspension.

Objectives. The aim of this M2 internship is to carry out ultrasonic and optical measurements on concentrated suspensions sheared in the same Couette flow device, using the optics as a reference measurement. The suspensions will consist of rigid spheres of PMMA or of deformable PDMS in a suspending fluid adjusted in refractive index with the particles (Fig.1d), which will enable the optical determination of the pair correlation function. **The ultrasonic/optical confrontation will allow the validation of the ultrasound tool to characterize the microstructure of concentrated suspensions** and will make it possible to consider in the future the characterization of the microstructure of opaque suspensions with deformable particles (red blood cells), for which the rheology is still poorly understood. Experiments for the production of deformable beads will be conducted in collaboration with the INPHYNI laboratory in Nice.

Contacts :

Emilie Franceschini email: franceschini@lma.cnrs-mrs.fr web: <http://www.lma.cnrs-mrs.fr/spip.php?auteur14>
Laurence Bergognoux email: laurence.bergognoux@univ-amu.fr

Profiles. Candidates with skills in physics, fluid mechanics and/or acoustics, a good level on Matlab or Python programming and having an interest in experiments are welcomed to apply.

Duration of the internship. 4 to 6 months from February 2024

Grant. 600 € / month

Possibility of Phd. yes, according to the ranking at the doctoral school (if ministerial scholarship)

[1] Blanc, Lemaire, Meunier, Peters, *Microstructure in sheared non-brownian concentrated suspensions*, Journal of rheology 57 (2013)

[2] Lombard, Rouyer, Debieu, Blanc, Franceschini, *Ultrasonic backscattering and microstructure in sheared concentrated suspensions*, J. Acoust. Soc. Amer. 147 (2020)