

## Les ultrasons pour sonder la microstructure des suspensions cisillées

\*\*\*

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, il est nécessaire de développer des outils permettant d'accéder à la microstructure des suspensions concentrées. 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) peu représentatives de celles présentes dans l'environnement ou dans l'industrie.

Notre objectif est de développer un outil ultrasonore pour mesurer la microstructure des suspensions denses de particules. Le principe est basé sur la mesure expérimentale du facteur de structure, qui est lié à la transformée de Fourier de la fonction de corrélation de paires. Nous avons récemment observé la signature ultrasonore anisotrope causée par la modification de la microstructure au sein de suspensions denses cisillées [1] (cf. Figure 1). Cette étude est limitée à un régime basses fréquences (où la longueur d'onde  $\lambda$  est plus grande que la taille des particules  $a$ ) et nécessite d'être étendue aux hautes fréquences ( $\lambda \approx a$ ) pour caractériser par ultrasons la microstructure.

**Le(la) post-doctorant(e) aura pour objectif de mener conjointement sur un dispositif de Couette (Fig. 1a) 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 de diamètre de l'ordre de 100 $\mu$ m) dans un fluide suspendant ajusté en indice de réfraction avec les particules, 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.

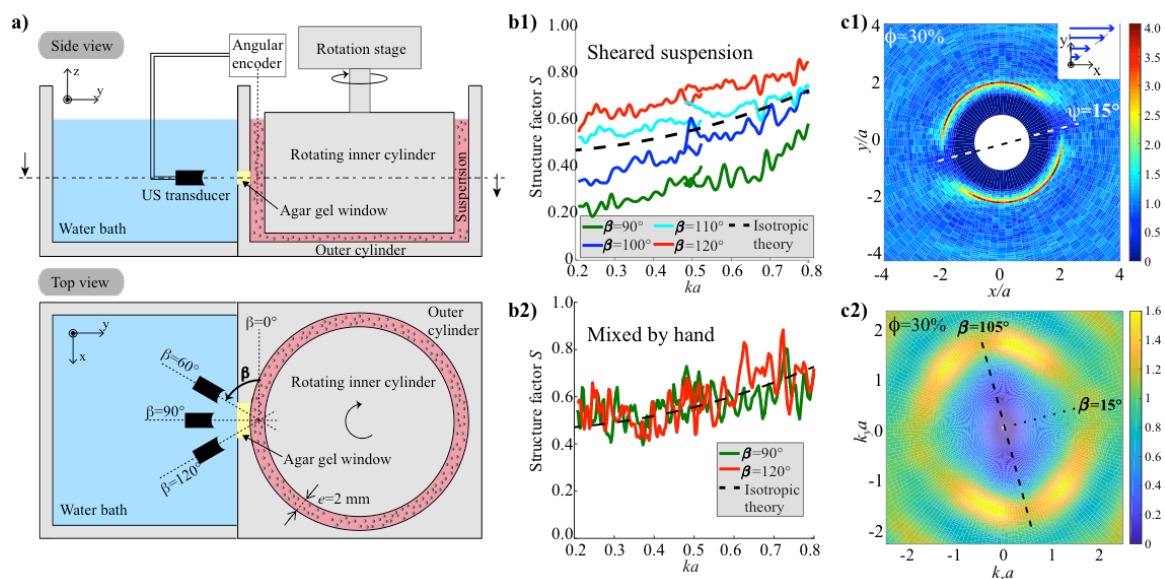


Figure 1. (a) Schéma du dispositif de Couette combiné à un transducteur ultrasonore mono-élément. (b1) et (b2) Exemples de facteurs de structure mesurés par ultrasons pour différents angles d'insonification  $\beta$  pour une suspension de microsphères de PMMA (b1) cisillée et (b2) agitée manuellement de façon homogène. (c1) Fonction de distribution de paires  $g$  issue des simulations numériques de Blanc et al. [2] pour une suspension de microsphères. La fonction de corrélation de paire est anisotrope avec une région déplétée en particules autour de son axe pseudo-symétrique  $\psi=15^\circ$  dans l'espace dual  $(x,y)$ . (c2) Facteur de structure  $S$  correspondant avec son axe pseudo-symétrique à  $\beta=105^\circ$  dans l'espace dual  $(k_x, k_y)$  [1].

### Contacts :

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

**Profils :** Expérimentateur(trice) en physique, mécanique des fluides et/ou acoustique. Le(la) post-doctorant(e) est financé(e) pour 12 mois, et débutera en Septembre 2020 à l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie (laboratoires LMA/IUSTI à Marseille) sous la supervision de Emilie Franceschini et Laurence Bergognoux. Il(elle) participera à des séquences d'enseignements telles que l'encadrement d'un stagiaire M2 et/ou d'un projet d'initiation à la recherche, et un séminaire de présentation d'activités de recherche à un public étudiant.

[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 for probing the microstructure in sheared concentrated suspensions

\*\*\*

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 goal is to develop an ultrasonic tool for measuring the microstructure of concentrated suspensions of particles. The principle is based on the experimental measurement of the structure factor, which is related to the Fourier transform of the pair correlation function. We have recently observed the anisotropic ultrasonic signature caused by the modification of the microstructure in sheared concentrated suspensions [1] (see Figure 1). This study was limited to a low frequency regime (where the wavelength  $\lambda$  is larger than the particle size  $a$ ) and should be extended to higher frequencies ( $\lambda \sim a$ ) to characterize by ultrasound the microstructure.

**The aim of the post-doctoral fellow will be to carry out ultrasonic and optical measurements on concentrated suspensions sheared in the same Couette flow device (Fig. 1a), using the optics as a reference measurement.** The suspensions will consist of rigid spheres of PMMA (with diameter around 100 $\mu$ m) in a suspending fluid having the same refractive index as the particles, which will enable the optical determination of the pair correlation function. The ultrasound/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.

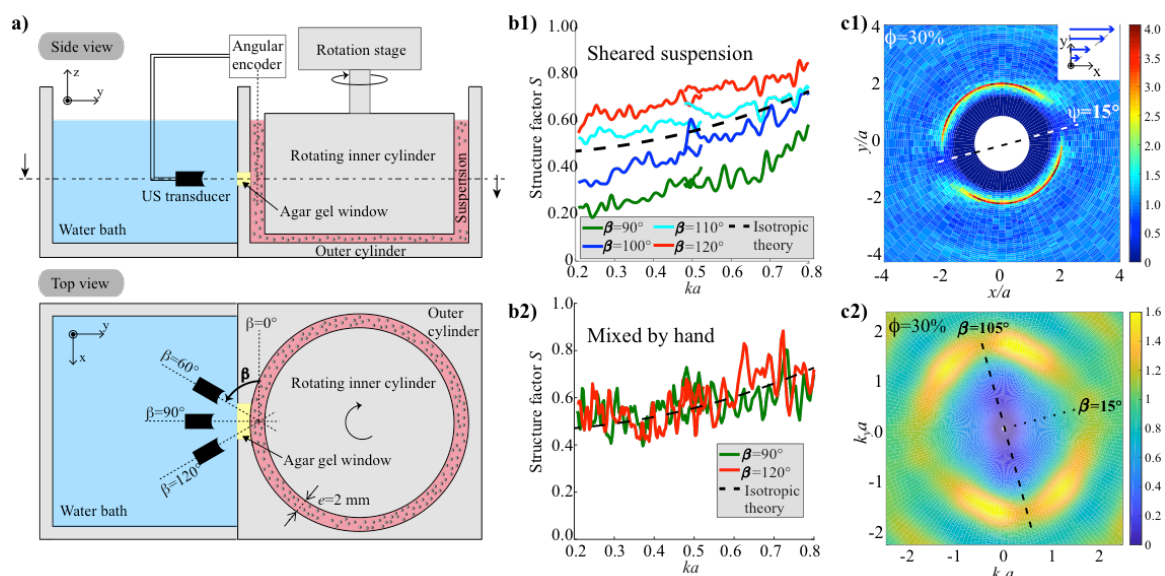


Figure 1. (a) Schematic diagram of a Couette device combined with a single-element ultrasonic transducer (b1) and (b2) Examples of ultrasonically measured structure factors for different insonification angles  $\beta$  (b1) for a sheared suspension and (b2) for a suspension homogeneously mixed by hand. (c1) Pair correlation function from computer simulations of Blanc et al. [2] for a sheared suspension of volume fraction 30%. (c2) Corresponding structure factor [1].

### Contacts :

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

**Profile :** Highly motivated candidates with a PhD degree in physics, fluid mechanics and/or acoustics with a strong experimental skills. The post-doc position is funded for one year and will start in September/October 2020 at the Institute of Mechanics and Engineering (laboratories LMA/IUSTI Marseille) under the supervision of Emilie Franceschini and Laurence Bergougnoux.

[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)