

Proposition de thèse de l'École doctorale MEGEP - Toulouse

Étude expérimentale de la fragmentation de gouttes visqueuses à interface complexe pour le développement de dispositifs d'émulsification

Contacts

Olivier Masbernat, Directeur de Recherche, Laboratoire de Génie Chimique (olivier.masbernat@ensiacet.fr)
Frédéric Risso, Directeur de Recherche, Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (frisso@imft.fr)

Contexte

La fragmentation de gouttes d'huile au sein d'une phase aqueuse dans le but de former une émulsion constitue un enjeu majeur pour de nombreux procédés industriels [1]. Ce processus est assez mal compris dans les situations où les gouttelettes sont très visqueuses et les interfaces entre l'huile et l'eau sont couvertes de molécules tensioactives qui leur confèrent des propriétés mécaniques complexes [2]. Pourtant, cette situation est rencontrée dans de nombreuses applications avec des procédés mettant en jeu des émulsions, que ce soit dans l'industrie agro-alimentaire (lait, beurre, ...), pharmaceutique et cosmétique (émulsions parentérales, crèmes...), pétrochimique, ou pour la fabrication de matériaux (émulsions bitumineuses...). L'optimisation du processus d'émulsification est de première importance, avec pour objectif de produire, à coût énergétique maîtrisé, des émulsions stables et monodisperses, ce qui est complexe dans le cas où la phase interne est très visqueuse.

Ainsi, le projet FRAGOVISIC (Fragmentation of high viscosity droplets with complex interfaces: models for emulsification), financé par l'Agence Nationale de la Recherche, vise à mieux comprendre, à l'aide de simulations numériques et d'expérimentations, les mécanismes mis en jeu et à proposer des moyens nouveaux de produire des émulsions aux propriétés maîtrisées. Il est mené en collaboration entre deux laboratoires toulousains, le LGC et l'IMFT. Ce projet, démarré en mars 2024, se déroule sur 4 ans et comportera deux thèses de doctorat qui auront lieu en parallèle.

Cette proposition de thèse en constitue la partie expérimentale. Elle se basera sur des expériences développées en canaux microfluidiques. A l'échelle d'une goutte, ces expériences seront destinées à étudier la physique de la rupture d'une phase visqueuse dans un milieu externe moins visqueux, puis à développer des modèles physiques de ce phénomène. Ensuite, des dispositifs expérimentaux seront conçus (par impression 3D par exemple) pour assurer des fragmentations de gouttes visqueuses en série et permettre la production d'émulsions. L'objectif sera de proposer des dispositifs d'émulsification à façon, qui seront ajustés en fonction des propriétés physico-chimiques du système (phases fluides et nature des tensio-actifs utilisés pour stabiliser l'émulsion). Différentes émulsions-types seront étudiées pour couvrir des applications variées.

Sujet

La première partie du travail consistera à mettre au point un dispositif expérimental dans lequel un filament liquide visqueux est produit et étiré au sein d'un tube à section circulaire ($\varnothing \approx 500\mu\text{m}$) par l'écoulement d'un autre liquide. (La figure 1 montre un premier essai dans un prototype, réalisé

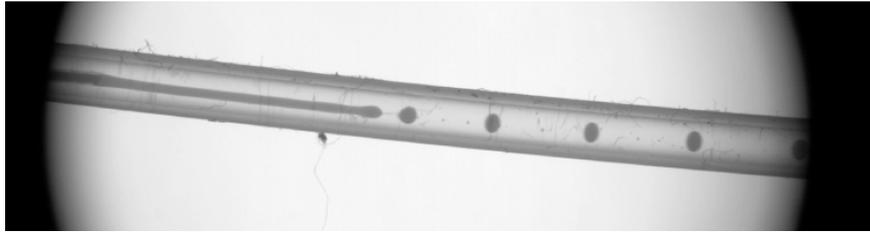


Figure 1: Rupture d'un filament visqueux dans un système microfluidique

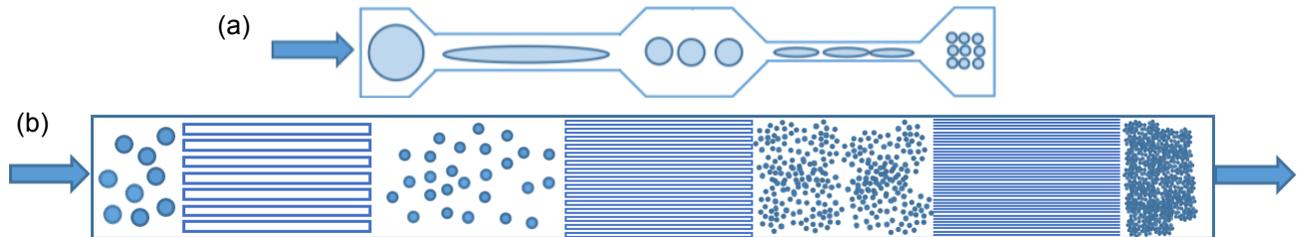


Figure 2: Dispositifs microfluidiques

au LGC.) Les paramètres physiques seront ajustés de manière à ce que la dynamique de l'interface (déformation) soit pilotée par les forces de surface plutôt que par les contraintes visqueuses au sein des fluides. Pour différents tensio-actifs, la forme de l'interface au cours du temps sera analysée afin de déterminer les paramètres physiques (viscosité et élasticité de surface) de la loi constitutive de l'interface. Les résultats expérimentaux seront pour cela croisés avec les simulations numériques axisymétriques de gouttes visqueuses à interface viscoélastique, en collaboration avec d'autres acteurs du projet FRAGOVISIC. Une fois l'interface caractérisée pour différents systèmes de fluides, le rapport entre forces de surface et forces visqueuses de volume sera varié pour étudier les différents régimes de fragmentation possible, à partir de la mesure des temps de déformation, des déformations maximales atteintes et des tailles de fragments.

Dans un deuxième temps, un dispositif expérimental d'écoulements en canaux de section carrée de quelques dizaines de micromètres sera développé, dans le but d'assurer la production de gouttes puis leurs fragmentations successives. Les connaissances obtenues à l'échelle submillimétrique seront mises à profit pour rechercher les conditions optimales de production de gouttelettes dans le système microfluidique. Ces conditions seront adaptées pour chaque type de système de fluides et de nature d'interface.

On commencera avec un canal unique, avant de considérer des paquets de canaux en séries pour réduire progressivement la taille des gouttes de l'émulsion (Fig. 2a) et finir par des paquets de canaux en parallèle pour tendre vers un système permettant la production d'un grand nombre de gouttes calibrées par unité de temps (Fig. 2b).

Références

- [1] O. Masbernat, F. Risso, B. Lalanne, S. Bugeat, M. Berton, Prediction of size distribution in dairy cream homogenization. *J. Food Eng.* 324, 110973 (2022).
- [2] N. Abi Chebel, A. Piedfert, B. Lalanne, C. Dalmazzone, C. Noïk, O. Masbernat, F. Risso, Interfacial Dynamics and Rheology of a Crude-Oil Droplet Oscillating in Water at a High Frequency. *Langmuir* 35, 9441-9455 (2019)

Compétences recherchées

Personne titulaire d'un Master 2 en mécanique des fluides, physique ou génie des procédés, attirée par la recherche expérimentale et les applications aux procédés.

Période et salaire

Le financement de thèse est assuré. Il peut commencer au 1er octobre 2024 (ou dès fin septembre). Le salaire sera de 2400 euros brut par mois. L'étudiant recruté pourra aussi, s'il le souhaite, réaliser quelques heures d'enseignement dans nos formations (rémunérées en supplément) en tant que vacataire.