



LABORATOIRE DE PHYSIQUE
UMR CNRS 5672
ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE LYON

- SUJET DE STAGE DE M2 ET/OU DE THÈSE -

Écoulements de fluides viscoélastiques.

Éric Freyssingeas (M_dC - HDR, ENS de Lyon)

Contact : eric.freyssingeas@ens-lyon.fr ; 04 72 72 81 93

Les fluides newtoniens visqueux, comme l'eau, l'huile, le miel, résistent à un écoulement en cisaillement et présentent une déformation qui augmente linéairement avec le temps lorsqu'une contrainte est appliquée, les matériaux élastiques eux se déforment lorsqu'ils sont contraints, et retournent rapidement à leur état d'origine une fois la contrainte retirée. Les fluides viscoélastiques sont des fluides présentant un comportement intermédiaire entre celui d'un solide élastique idéal et celui d'un liquide visqueux newtonien. Quel que soit le type de contrainte, la réponse à une sollicitation d'un matériau viscoélastique dépend du temps (ou de la fréquence, lors d'expériences dynamiques). Aux temps courts (ou aux hautes fréquences) on observe, sonde, le comportement élastique de ces fluides, aux temps longs (ou aux basses fréquences) leur comportement visqueux. Le comportement élastique, symbolisé par un module élastique G , traduit la capacité de ces fluides à conserver et restituer de l'énergie après déformation, alors que le comportement visqueux, symbolisé par une viscosité η , traduit leur capacité à dissiper de l'énergie. Les principaux fluides viscoélastiques sont les fondus de polymères, les solutions semi-diluées de polymères ou de micelles géantes. Depuis plus de quarante ans, de très nombreuses études de recherche fondamentale ont été menées, aussi bien sur le mouillage que sur la rhéologie de ces fluides. Néanmoins, la connaissance de la rhéologie de ces systèmes, comme de leurs interactions avec les surfaces, ne permet pas actuellement de comprendre leur écoulement dans des géométries qui ne sont pas celles utilisées en rhéologie.

Le projet proposé porte sur l'étude expérimentale de la vidange d'un réservoir rempli de fluides viscoélastiques. Pour un fluide simple, *i.e.* newtonien, le débit de vidange d'un réservoir à travers un orifice est fonction de la viscosité et des propriétés de mouillages du fluide ainsi que de la pression exercée sur ce fluide [1] ; à l'intérieur de la cuve le fluide se comporte comme un fluide parfait. Dans le cas d'un fluide viscoélastique, la situation est nettement plus compliquée [1,2]. L'objectif de ce travail est de comprendre et caractériser ces écoulements et de faire le lien entre les propriétés caractéristiques de ces fluides (propriétés rhéologiques, mouillage), la pression appliquée et leur écoulement. Cette étude sera menée à bien grâce à la combinaison de différentes expériences. Des expériences classiques de matière molle : rhéologie, mouillage et diffusion de la lumière afin de caractériser complètement la rhéologie, le mouillage, la structure et la dynamique des fluides étudiés, ainsi que des expériences utilisant des dispositifs originaux que nous avons déjà montés [1,2] et qui permettent d'étudier la vidange d'un réservoir 3D ou quasi 2D, à travers un orifice (Figure 1).

Différents fluides viscoélastiques seront étudiés afin de sonder différentes rhéologies et propriétés de mouillage. Ce travail de thèse impliquera des efforts expérimentaux ; en particulier, afin de caractériser pleinement l'écoulement du fluide viscoélastique à l'intérieur de la cuve, il faudra coupler, à l'expérience de vidange 3D, une mesure non-invasive du champ de vitesse à l'intérieur de la cuve par PIV (*Particle Image Velocimetry*, Figure 2) [3]. Mais aussi le développement d'outils pour l'analyse des données et un effort théorique pour comprendre le lien entre les échelles micro-, méso- et macroscopiques.

Ce projet bénéficiera d'interactions fortes avec d'autres chercheurs du Laboratoire de Physique à l'ENS de Lyon : Sylvain Joubaud et Thibaut Divoux, ainsi que du laboratoire MSC (UMR 7057 Université Paris-Diderot/CNRS) : Sandra Lerouge.

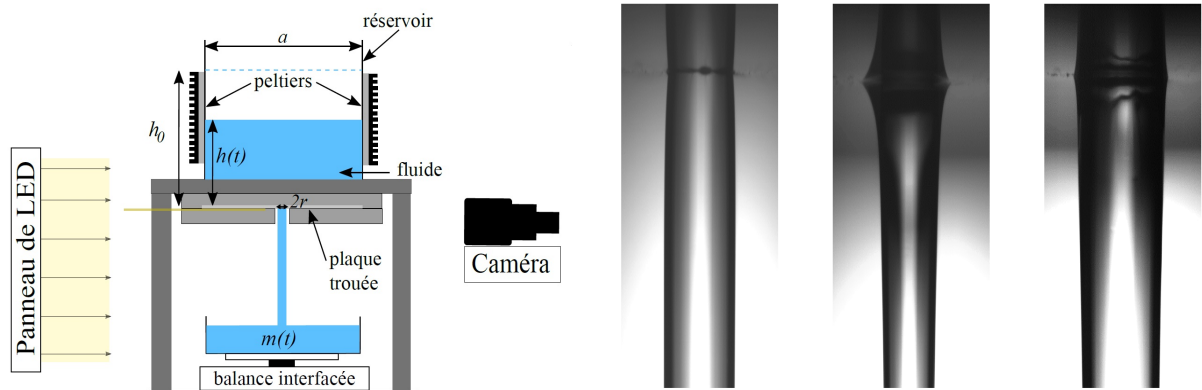


FIGURE 1 – Gauche : schéma du dispositif expérimental du silo [1,2]. Droite : écoulement en sortie du trou (diamètre 3,5 mm) lors de la vidange d'un réservoir 3D pour une solution viscoélastique (solution semi-diluée de polymères -PEG) ; pour les 3 écoulements les matériaux utilisés pour la plaque de fond du réservoir sont différents [1].

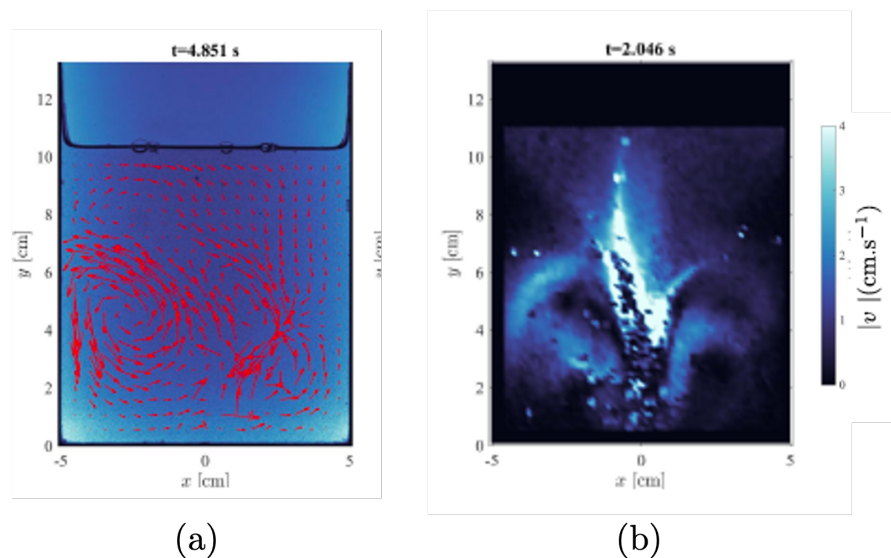


FIGURE 2 – (a) Champ de vitesse dans la cuve, et (b) norme du champ de vitesse dans la cuve, obtenus par PIV lors d'une expérience de vidange d'un reservoir quasi 2D à travers un orifice de 3,5 mm de diamètre pour une solution viscoélastique (solution semi-diluée de micelles géantes du système CTAB/NaSal équimolaire à $c = 0.005$ mol/L) [2].

Références.

1. Jérémy FERRAND, *Écoulements et écrasements de fluides : effet du mouillage et de la rhéologie*, Thèse de Doctorat de l'Université de Lyon/ École Normale Supérieure de Lyon, N°2017LYSEN048, 2017.
2. Lucile FAVREAU, *Écoulements forcés par gravité de fluides simples et de fluides complexes*, Thèse de Doctorat de l'Université de Lyon/École Normale Supérieure de Lyon, N° 2020LYSEN023, 2020.
3. PIV : technique de suivi du mouvement de traceurs dispersées dans le fluide, selon une vision lagrangienne de l'écoulement. Y. Dossmann, B. Bourget, C. Brouzet, T. Dauxois, S. Joubaud, P. Odier. *Mixing by internal waves quantified using combined PIV/PLIF technique*. Experiments in Fluids, 2016.