



**HAL**  
open science

# Étude de l'étirement d'un fluide viscoélastique par holographie numérique.

Robin Noury, Marie-Charlotte Renoult, G. Godard, Denis Lebrun

► **To cite this version:**

Robin Noury, Marie-Charlotte Renoult, G. Godard, Denis Lebrun. Étude de l'étirement d'un fluide viscoélastique par holographie numérique.. Optique Nice 2022, Jul 2022, Nice, France. hal-03770277

**HAL Id: hal-03770277**

**<https://hal.science/hal-03770277v1>**

Submitted on 6 Sep 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# ETUDE DE L'ETIREMENT D'UN FLUIDE VISCOELASTIQUE PAR HOLOGRAPHIE NUMERIQUE

Robin Noury, Marie-Charlotte Renoult, Gilles Godard et Denis Lebrun

UMR 6614 - CORIA, Normandie Université, CNRS, Université et INSA de Rouen, 76801, Saint-Etienne-du-Rouvray, France

[robin.noury@coria.fr](mailto:robin.noury@coria.fr)

## RÉSUMÉ

L'holographie numérique, dans sa configuration « in-line » est utilisée pour mesurer la position et vitesse 3D de fines gouttelettes qui se forment lorsque l'on étire un fluide viscoélastique dans des conditions bien maîtrisées. Nous présentons le dispositif utilisé pour étirer les fluides et le système d'enregistrement et de traitement des hologrammes mis en œuvre pour étudier et caractériser la dynamique tridimensionnelle des perles.

**MOTS-CLEFS :** *Holographie numérique, Fluides viscoélastiques*

## 1. INTRODUCTION

De nombreux fluides, comme ceux de l'industrie agro-alimentaire ou pharmaceutique, sont viscoélastiques. La viscoélasticité est due à la présence de polymères de poids moléculaire élevé en solution dans ces fluides. Pour certaines concentrations en polymères, lorsque l'on étire ces fluides, on observe l'apparition de gouttelettes (ou perles) en mouvement sur le filament [1,2]. L'holographie numérique permet d'accéder à la position 3D d'objets micrométriques transportés dans les écoulements. Dans sa configuration à deux longueurs d'ondes, il est possible, de mesurer aussi la vitesse 3D des objets [3]. Le but de cette communication est de présenter le montage expérimental mis au point en mettant l'accent sur la méthode de traitement des hologrammes permettant une mesure précise des positions et donc des vitesses axiales des perles (selon l'axe optique).

## 2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental utilisé pour l'enregistrement des hologrammes est donné par la figure 1. Le fluide est illuminé par deux sources lasers pulsées ( $\tau < 1 \mu s$ ) qui émettent aux longueurs d'onde  $\lambda_V = 520 \text{ nm}$  et  $\lambda_R = 660 \text{ nm}$ . Les hologrammes sont enregistrés à l'aide d'un capteur CCD d'une résolution de 4096 pixels x 4096 pixels et dont le pas d'échantillonnage spatial est  $p = 5.5 \mu m$ . Le dispositif holographique en configuration « in-line » permet ainsi d'enregistrer sur le capteur les interférences produites par la superposition de l'onde directe et l'onde diffractée par l'échantillon.

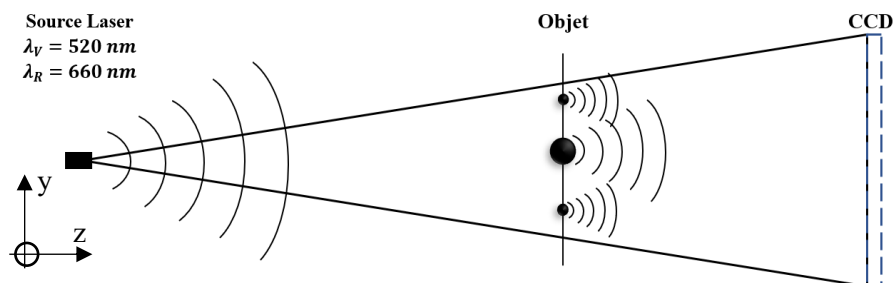


Figure 1: Dispositif expérimental pour l'enregistrement d'un hologramme de gouttelettes issues de l'étirement d'un fluide viscoélastique.

L'étirement du fluide viscoélastique est réalisé à l'aide d'un dispositif de référence appelé CaBER<sup>1</sup> montré en figure 2. C'est un système constitué d'un support mobile qui étire le fluide et dont le déplacement est parfaitement contrôlé. Le dispositif est placé entre la source Laser et le capteur CCD de manière à ce que l'axe optique soit normal à la direction d'étirement du fluide.

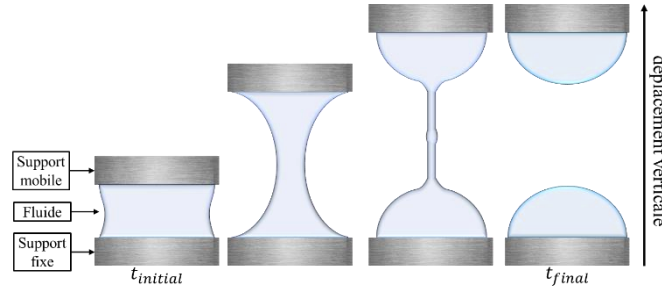


Figure 2: Schéma du dispositif CaBER pour l'étirement des fluides viscoélastiques.

### 3. TRAITEMENT DES HOLOGRAMMES

La restitution des hologrammes est réalisée par convolution avec le noyau de Fresnel. Dans un objectif de calculer la vitesse des particules il est nécessaire d'estimer précisément la distance des images restituées. La mise au point s'effectue souvent en se basant sur des critères de netteté de l'image ou encore de la variance des niveaux de gris. Dans notre étude, nous nous sommes intéressés à la variation de la phase restituée selon l'axe optique [4]. Nous avons pu observer qu'à l'approche de la distance de restitution exacte un saut de phase est mesuré. La figure 3 montre un exemple de l'étude de la phase de l'hologramme de perles et son utilisation dans notre cas d'étude.

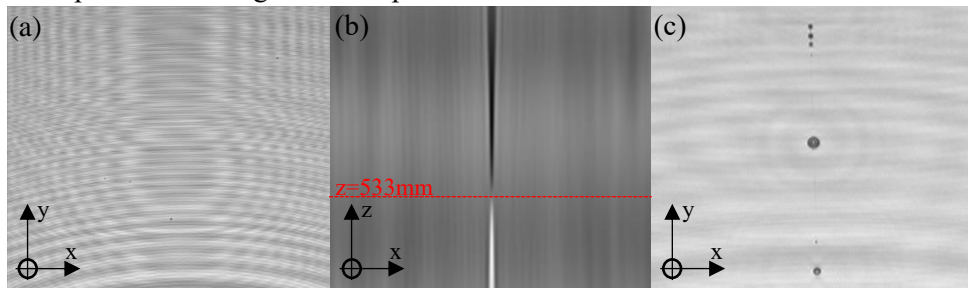


Figure 3: (a) Hologramme de perles issu de l'étirement d'un fluide viscoélastique. (b) Localisation d'une perle par étude de la carte de phase selon les axes  $(x,z)$ . (c) Restitution optimale de l'hologramme à  $z = 533$  mm.

### 4. CONCLUSION

Les résultats issus d'hologrammes simulés et expérimentaux montrent que la méthode de mise au point par traitement de la phase de l'hologramme est possible. Cette technique possède l'avantage d'être plus rapide et plus robuste que les méthodes de mise au point traditionnelles.

[1] Bhat, P., Appathurai, S., Harris, M. *et al.* Formation of beads-on-a-string structures during break-up of viscoelastic filaments. *Nature Phys* **6**, 625–631 (2010). <https://doi.org/10.1038/nphys1682>

[2] M. Kozulic, M. Mirzaei, G. Godard, D. Lebrun, O. Crumeyrolle, MC. Renoult. 3D monitoring of a pearling instability. *APS Division of Fluid Dynamics*, 2019, Portland, United States. ([hal-02418339](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02418339)) V0034, 72th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (November 23, 2019 — November 26, 2019). DOI: <https://doi.org/10.1103/APS.DFD.2019.GFM.V0034>

[3] S. Grare, D. Allano, S. Coëtmelec, G. Perret, F. Corbin, M. Brunel, G. Gréhan, D. Lebrun, "Dual wavelength digital holography for 3D Particle Image Velocimetry: experimental validation", *App.Optics.*, Vol. 55 (3), A49-A53, (2016), doi: [10.1364/AO.55.000A49](https://doi.org/10.1364/AO.55.000A49)

[4] Weidong Yang, Alexander B. Kostinski, and Raymond A. Shaw, "Phase signature for particle detection with digital in-line holography," *Opt. Lett.* **31**, 1399-1401 (2006)

<sup>1</sup> Capillary Breakup Extensional Rheometer