



**HAL**  
open science

## Caractérisation d'un fluide viscoélastique par holographie numérique

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

► **To cite this version:**

Robin Noury, Marie-Charlotte Renoult, Gilles Godard, Denis Lebrun. Caractérisation d'un fluide viscoélastique par holographie numérique. Optique Normandie 2024, Société française d'optique, Jul 2024, Rouen, France. hal-04670580

**HAL Id: hal-04670580**

**<https://hal.science/hal-04670580v1>**

Submitted on 12 Aug 2024

**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.

# Caractérisation d'un fluide viscoélastique par holographie numérique

Robin NOURY, Marie-Charlotte RENOULT, Gilles GODARD, Denis LEBRUN

CORIA ROUEN, 76801 Saint-Étienne-du-Rouvray, France

denis.lebrun @coria.fr, robin.noury@coria.fr

## RESUME

Un dispositif holographique est utilisé pour mesurer les propriétés rhéologiques d'un fluide viscoélastique. L'automatisation complète du banc de mesure permet d'étudier un filament sur un échantillon statistique de grande envergure : plus de 500 étirements par heure sont effectués pour un même fluide (une goutte) et plus de 10 000 images sont exploitées pour chaque expérience. Le recours à un montage d'holographie in-line permet d'effectuer des mesures de taille, même lorsque la position 3D de l'échantillon fluide (filament ou gouttelettes) est inconnue. L'évolution de la phase de l'amplitude restituée est exploitée pour réaliser l'étape de mise au point sur les images, ce qui constitue une originalité dans le traitement des hologrammes. Les résultats statistiques caractérisent de manière quantitative l'amincissement du filament et les perles issus de la rupture d'un filament viscoélastique.

**MOTS-CLEFS :** *Holographie numérique ; Fluides viscoélastiques ; Rhéologie*

## 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 dont la masse molaire est élevée en solution dans ces fluides. Pour certaines concentrations en polymères, lorsque l'on étire ces fluides, on observe l'apparition de gouttelettes en mouvement sur le filament [1]. L'holographie numérique in-line est appliquée ici pour étudier l'évolution tridimensionnelle du filament et des gouttelettes au cours du temps. La figure 1 montre un exemple d'images restituées à plusieurs stades de l'expérience.

Un effort important est consacré à l'automatisation complète de l'expérience ce qui ouvre la voie à un traitement des données à grande échelle, permettant ainsi d'accéder à l'évolution statistique des caractéristiques de ces fluides au cours du temps. Nous présentons le dispositif expérimental, le principe de mesure et les résultats expérimentaux.

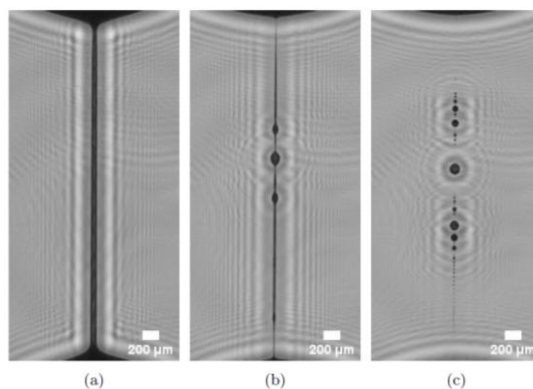


Figure 1 @Robin : peux-tu mettre les images originales ? (@Denis, que veux tu dire par originales ?)  
((@Robin : l'image ci-dessus est une copie d'écran. Je me dis que les fichiers d'origine sont peut-être de

*meilleure qualité*) : Image de perles-sur filament restituées par holographie. (a) Amincissement du filament, (b) formation des perles, (c) rupture du filament/régime de perles.

## 2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le fluide viscoélastique est placé dans un dispositif d'étirement mécanique conçu entièrement au laboratoire. C'est un système constitué d'un support mobile qui étire le fluide et dont les paramètres d'étirage sont parfaitement contrôlés.

Le filament est éclairé par un faisceau collimaté provenant de deux lasers à fibre, émettant aux longueurs d'ondes  $\lambda_V = 520 \text{ nm}$  et  $\lambda_R = 660 \text{ nm}$  et modulés indépendamment au moyen de deux cellules acousto-optiques. Les hologrammes, enregistrés sur un capteur CCD ( $2048 \times 2048$ ,  $p = 11 \mu\text{m}$ ) à une cadence d'acquisition de 12 images/s, sont restitués par convolution avec le noyau de Fresnel. Les images reconstruites (filament ou perles) sont ensuite localisées par analyse de l'amplitude complexe restituée  $A_R(x, y, z)e^{i\varphi(x, y, z)}$ . Notons au passage qu'une méthode originale a été utilisée pour exploiter l'allure asymptotique (en  $1/z$ ) de la phase afin d'extraire la coordonnée axiale  $z_0$  des échantillons étudiés [2]. Il faut préciser que le milieu dans lequel évolue le fluide est faiblement perturbé (pas de gradients d'indice) ce qui autorise une exploitation des cartes de phase restituées.

Dans le but d'obtenir une grande fiabilité sur la mesure d'amincissement du filament, une automatisation complète du banc de mesure a été réalisée : dépôt du fluide, étirement, enregistrement. Cela permet alors de réaliser un très grand nombre d'essai sur un échantillon unique sans contrainte de temps (environ 500 étirements par heure). Les paramètres de l'expérience étant complètement contrôlables, il est possible de choisir entre un temps d'expérience court ou long afin de mesurer, par exemple, l'impact du vieillissement de la solution lié à sa dégradation mécanique et/ou chimique. Enfin, le traitement des images holographiques étant réalisé à posteriori de l'expérience statistique, aucune intervention humaine n'est nécessaire pour effectuer la mise au point sur une éprouvette de fluide qui se serait déplacée suite à d'éventuelles turbulences atmosphériques.

## 3. RESULTATS

Plusieurs fluides viscoélastiques aux caractéristiques différentes ont été étudiés. Pour chaque fluide, le régime d'amincissement du filament et de perles a été caractérisé de manière statistique. Les résultats de l'étude montrent une faible dispersion des grandeurs mesurées ainsi qu'une forte répétabilité et reproductibilité lié à l'expérience de rupture d'un filament viscoélastique. Le temps de relaxation est une propriété rhéologique directement liée au régime d'amincissement du filament, la mesure de cette propriété sur un grand nombre d'échantillon nous permet d'obtenir des résultats statistiquement fiables pour la caractérisation des propriétés viscoélastiques des fluides étudiés. Les résultats expérimentaux mettent en avant l'évolution du temps de relaxation en fonction de la concentration en polymère, du vieillissement mécanique et chimique des solutions et des conditions d'étirements. La dynamique des perles de fluides viscoélastiques issues de la rupture du filament montre également la variabilité des propriétés viscoélastiques du fluide en fonction des facteurs d'influence mentionnés ci-dessus.

## REFERENCES

---

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

---

<sup>2</sup> R. Noury, MC Renoult, G. Godard and D. Lebrun, "Phase analysis for focus plane detection in digital inline holography: application to three-dimensional locations of drops and threads in a beads-on-a-string structure," *Appl. Opt.* 62, 6241-6252 (2023), <https://doi.org/10.1364/AO.494647>.