



HAL
open science

Comportement de gouttes dynamiques sur surfaces polymères texturées

Elise Contraires, Marie-Caroline Solignac, Matthieu Guibert, Stéphane Valette, Stéphane Benayoun, Alain Le Bot

► **To cite this version:**

Elise Contraires, Marie-Caroline Solignac, Matthieu Guibert, Stéphane Valette, Stéphane Benayoun, et al.. Comportement de gouttes dynamiques sur surfaces polymères texturées. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03444794

HAL Id: hal-03444794

<https://hal.science/hal-03444794>

Submitted on 23 Nov 2021

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.

Comportement de gouttes dynamiques sur surfaces polymères texturées

**Elise CONTRAIRES, Marie-Caroline SOLIGNAC, Matthieu GUIBERT,
Stéphane VALETTE, Stéphane BENAYOUN, Alain LE BOT**

Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR5513, Ecole Centrale de Lyon,
36 avenue Guy de Collongue, 69134 Ecully cedex

elise.contraires@ec-lyon.fr

Résumé :

La question du mouvement de la ligne triple formée entre une phase liquide, une phase solide et une phase gazeuse autour de la topographie d'une surface est au centre de ce travail. Des surfaces de polymères avec des topographies particulières ont été soumises à des vibrations contrôlées de faible fréquence (autour de 50Hz) et de faible amplitude (autour de 500µm), à partir d'un montage expérimental spécifique. Ces vibrations permettent d'amplifier la déformation de la courbure de la goutte, suivie par analyse d'images, et ainsi de contrôler l'avancée et la reculée de la ligne triple. Le mouvement des gouttes est alors contrôlé et le rôle de la topographie de surface dans l'accrochage ou l'imbibition peut être développé.

Les résultats obtenus pour des surfaces de polydiméthylsiloxane (PDMS) mettent en évidence une transition dépendant de l'amplitude du mouvement entre une goutte statique et une goutte mobile sur la surface, en cohérence avec la littérature. Sur les surfaces texturées, un déphasage est observé entre le mouvement de la surface et le mouvement de la goutte, pouvant s'expliquer par l'accrochage de la ligne triple autour des aspérités.

Les résultats sur le polypropylène (PP) sont également présentés et permettent de discuter l'impact de l'énergie de surface, plus grande pour le PP que pour le PDMS.

Abstract :

The motion of the triple line formed between a liquid phase, a solid phase and a gaseous phase around topographical defects of a surface is the central question of this work. Polymeric surfaces with designed topographies were submitted to controlled vibrations of low frequencies (around 50Hz) and low amplitude (around 500µm) through a home-made apparatus. These vibrations enhance the deformation of the droplet profile, which is followed by image-analysis, and thus help to control advancing and receding of the triple line. With a controlled displacement of the droplet, the role of topography in pinning and imbibition can be explained.

Results on polydimethylsiloxane (PDMS) surface show an amplitude-dependent transition from a static to a mobile droplet, consistent with previous work from literature. On textured surfaces, a dephasing is observed between the droplet's motion and the surface's motion. This dephasing could be explained by a pinning of droplet around surface's asperities.

Results obtained on polypropylene (PP) are also presented, in order to discuss the impact of surface energy, which is higher for PP than for PDMS.

Mots clefs : Mouillage, vibrations, surface texturée, anisotropie

1 Introduction

Lorsqu'on dépose une goutte de faible volume (typiquement quelques microlitres) sur une surface, le contact qui s'établit et la forme que prend la goutte sont bien établis et dépendent des tensions de surface du liquide, du solide et du gaz en présence[1]. La topographie de la surface importe également et l'angle de contact de la goutte sur la surface peut être décrit par des modèles simples, comme les modèles de Wenzel ou Cassie-Baxter[2], ou par des modèles plus complexes[3]–[5].

Lorsque la goutte se met en mouvement, la ligne triple qui définit l'interface entre le liquide, le solide et le gaz se déplace. Le déplacement de cette ligne triple et son interaction avec les défauts de la surface (topographie, défauts chimiques...) sont aujourd'hui encore mal compris, notamment aux petites échelles de rugosité[6]–[8]. La ligne triple peut être bloquée sur les aspérités[9] ou encore avancer par imbibition[10] autour de celles-ci éventuellement en présence d'un film précurseur. Ces phénomènes vont modifier le comportement en mouillage de la surface.

Pour générer le déplacement d'une goutte sur une surface lisse ou texturée, une sollicitation dynamique peut être apportée aux systèmes via une vibration horizontale ou verticale[11]–[13]. L'énergie supplémentaire apportée par la vibration permet à la goutte d'augmenter son angle de contact jusqu'à l'avancée de la ligne triple ou inversement de le diminuer jusqu'à la reculée. Le mouvement de la ligne triple peut donc être mieux contrôlé, permettant d'améliorer la compréhension de son interaction avec la topographie de la surface. Le contrôle du mouvement de gouttes peut par ailleurs être exploité dans des domaines variés comme le transport automobile, la microfluidique, l'impression par jet d'encre ou 3D.

2 Outils et méthodes

2.1 Montage expérimental

Les expériences ont été réalisées sur un montage expérimental développé spécifiquement au laboratoire pour soumettre une surface à une vibration contrôlée. Un bâti commercial de mesure de mouillage (Krüss, DSA 30) a été équipé d'un pot vibrant (Bruel & Kjaer), d'un amplificateur hifi (Teac) et d'une carte de génération de signal (National Instrument) pilotée par un programme Labview©. La surface reçoit un signal sinusoïdal dont la fréquence varie entre 20 Hz et 500 Hz. L'amplitude en volts, fixe au cours de l'essai, varie en 1 et 10 Volts.

Une goutte d'eau d'environ 3 μ L est déposée sur la surface et une caméra rapide (Miro 310, Phantom) permet de suivre en vue de côté le mouvement de la surface et de la goutte. La cadence choisie est comprise entre 700 et 2000 images par seconde.

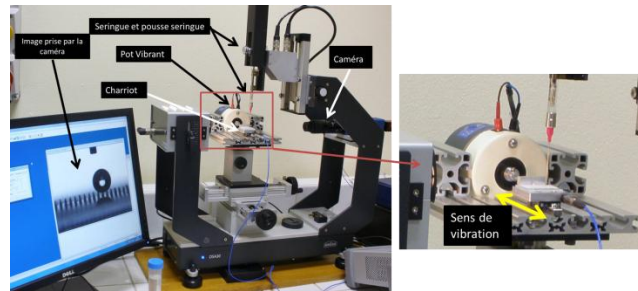


Figure 1 : Montage expérimental de génération de vibrations

Les images sont analysées numériquement à partir d'un code Matlab© développé au laboratoire. Le profil de la goutte permet de déterminer pour chaque image les angles de contact, la position du centre de gravité de la goutte, la position du point triple et la position de la surface.

2.2 Surfaces utilisées

Les surfaces de polymères utilisées dans cette étude sont texturées par méthode indirecte. Des canaux de quelques dizaines de microns sont réalisés sur un moule en acier par texturation laser femtoseconde[14]. Ce moule est utilisé pour répliquer les canaux dans du polydiméthylsiloxane (PDMS) ou dans du polypropylène (PP). Ces réplifications sont faites par moulage du PDMS lors de sa réticulation ou par injection pour le PP.

Les surfaces sont ensuite analysées par interférométrie laser pour déterminer leur topographie. Les surfaces de PDMS et de PP présentent un caractère fortement anisotrope en raison des canaux qui les constituent. Ceux-ci ont une période de 50 μm et une profondeur de 30 μm .

3 Résultats

L'analyse d'images permet de suivre le mouvement du centre de la goutte par rapport au mouvement de la surface. Pour une fréquence donnée, lorsque l'amplitude de vibrations augmente, le mouvement de la surface et de la goutte augmentent. Lorsque la surface est lisse, on observe une transition entre une goutte immobile (dont l'aire de contact est fixe sur la surface) et une goutte mobile (dont l'aire de contact se déplace sur la surface).

Cette transition est liée à l'accélération de la goutte, son angle de contact ainsi que son hystérèse. Ici, la transition a lieu entre 0,6 V et 0,8 V, soit pour une accélération comprise entre 5 m/s^2 et 10 m/s^2 . Ce résultat est tout à fait cohérent avec les résultats énoncés par Noblin *et al.*[11], qui donnaient une transition pour une accélération de 8,35 m/s^2 .

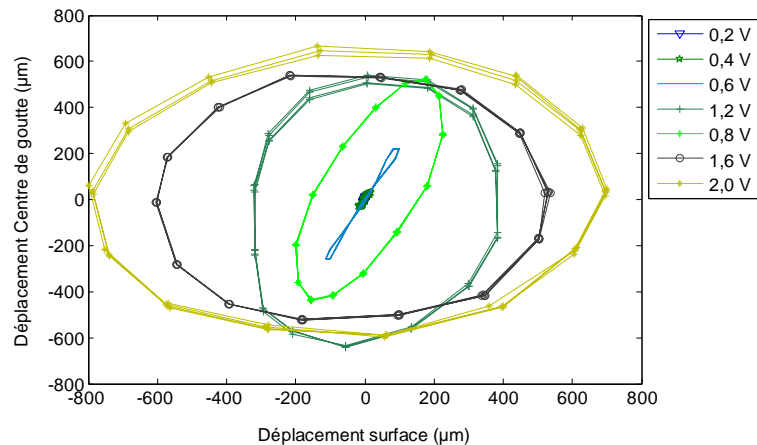


Figure 2 : Déplacement relatif du centre de la goutte d'eau par rapport à la surface lisse de PDMS pour différentes amplitudes; $F=50\text{Hz}$

Lorsque la surface est texturée, la même transition est obtenue pour une valeur d'amplitude équivalente. Cependant, on observe un déphasage entre le mouvement de la goutte et le mouvement de la surface, qui augmente avec l'amplitude. Le déplacement de la goutte sur la surface texturée est donc moindre comme l'indique la figure 3.

Le décalage entre le mouvement du centre de la goutte et le déplacement du point triple peut être expliqué par des effets d'adhérence de la ligne triple sur la surface, que celle-ci soit lisse ou texturée.

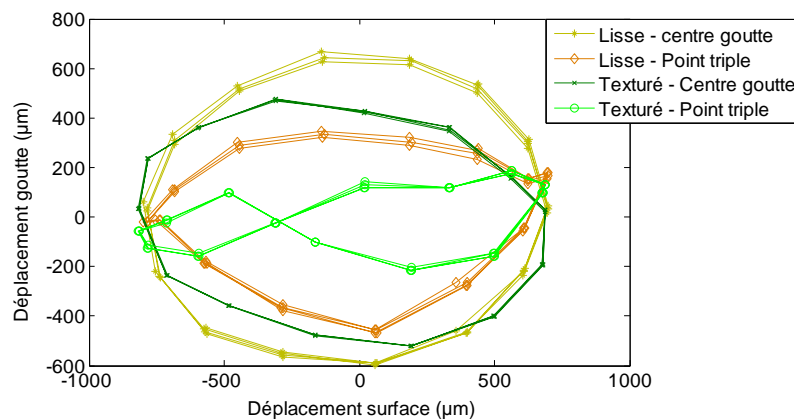


Figure 3 : Déplacement du centre de la goutte et du point triple par rapport à la surface de PDMS lisse et texturée ; $F= 50\text{Hz}$; $A=2,0\text{V}$

La texturation de la surface peut donc modifier le mouvement de la goutte par des effets d'accrochage ou d'imprégnation. Les résultats sur des surfaces de différentes énergies (PDMS et PP) présentant les mêmes texturations seront présentés et analysés afin de mettre en évidence l'impact de la texturation et de l'énergie de surface sur la dynamique des gouttes.

Références

- [1] P.-G. de Gennes, F. Brochard-Wyart, et D. Quere, *Capillarity and Wetting Phenomena: Drops, Bubbles, Pearls, Waves*. Springer, 2004.
- [2] D. Quere, « Wetting and roughness », *Annu. Rev. Mater. Res.*, vol. 38, p. 71-99, 2008.
- [3] W. Choi, A. Tuteja, J. M. Mabry, R. E. Cohen, et G. H. McKinley, « A modified Cassie–Baxter relationship to explain contact angle hysteresis and anisotropy on non-wetting textured surfaces », *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 339, n° 1, p. 208-216, nov. 2009.
- [4] V. Belaud, M. Bigerelle, S. Valette, G. Stremmsdoerfer, et S. Benayoun, « Roughness and Wetting, a Multiscale Approach », présenté à 40th Leeds-Lyon Symposium on Tribology & Tribochemistry Forum 2013, Lyon, 2013.
- [5] K. J. Kubiak, M. C. T. Wilson, T. G. Mathia, et P. Carval, « Wettability versus roughness of engineering surfaces », *Wear*, vol. 271, n° 3-4, p. 523-528, juin 2011.
- [6] P. G. de Gennes, « Wetting: statics and dynamics », *Rev. Mod. Phys.*, vol. 57, n° 3, p. 827-863, juill. 1985.
- [7] A. Gauthier, M. Rivetti, J. Teisseire, et E. Barthel, « Role of Kinks in the Dynamics of Contact Lines Receding on Superhydrophobic Surfaces », *Phys. Rev. Lett.*, vol. 110, n° 4, p. 046101, janv. 2013.
- [8] L. Gao et T. J. McCarthy, « Contact Angle Hysteresis Explained », *Langmuir*, vol. 22, n° 14, p. 6234-6237, juill. 2006.
- [9] P. S. H. Forsberg, C. Priest, M. Brinkmann, R. Sedev, et J. Ralston, « Contact Line Pinning on Microstructured Surfaces for Liquids in the Wenzel State », *Langmuir*, vol. 26, n° 2, p. 860-865, janv. 2010.
- [10] J. Bico et D. Quéré, « Precursors of impregnation », *Europhys. Lett.*, vol. 61, n° 3, p. 348-353, 2003.
- [11] X. Noblin, A. Buguin, et F. Brochard-Wyart, « Vibrated sessile drops: Transition between pinned and mobile contact line oscillations », *Eur. Phys. J. E*, vol. 14, n° 4, p. 395-404, août 2004.
- [12] L. Dong, A. Chaudhury, et M. K. Chaudhury, « Lateral vibration of a water drop and its motion on a vibrating surface », *Eur. Phys. J. E*, vol. 21, n° 3, p. 231-242, nov. 2006.
- [13] P. Brunet, J. Eggers, et R. D. Deegan, « Motion of a drop driven by substrate vibrations », *Eur. Phys. J. Spec. Top.*, vol. 166, n° 1, p. 11-14, févr. 2009.
- [14] P. Bizi-Bandoki, S. Benayoun, S. Valette, B. Beaugiraud, et E. Audouard, « Modifications of roughness and wettability properties of metals induced by femtosecond laser treatment », *Appl. Surf. Sci.*, vol. 257, n° 12, p. 5213-5218, avr. 2011.