

# Entraînement retardé d'un film de liquide sur substrat mou en condition de mouillage partiel

Anthony Varlet<sup>1</sup>, Philippe Brunet<sup>1</sup>, Laurent Limat<sup>1</sup>, Julien Dervaux<sup>1</sup>, Matthieu Roché<sup>1</sup>

Laboratoire Matières et Systèmes Complexes (MSC), UMR 7057, Université Paris-Cité, France  
[anthony.varlet@u-paris.fr](mailto:anthony.varlet@u-paris.fr)

La technique du "dip-coating" est un procédé couramment utilisé dans l'industrie pour, par exemple, enduire de liquide de grandes surfaces de tissus ou encore du matériel médical. En laboratoire, ce système est utilisé pour étudier des problèmes de mouillage dynamique : il permet d'obtenir une ligne de contact assez rectiligne et d'imposer une vitesse de mouillage ou de dé-mouillage de manière bien contrôlée. Le principe de ce dispositif est d'extraire un solide d'un bain liquide, à vitesse constante, afin d'y déposer une couche fine de liquide. Les résultats d'expériences de dip-coating avec un solide rigide sont assez bien décrits. En mouillage total, le liquide recouvre systématiquement la surface du solide sous forme d'un film fin de liquide, d'épaisseur uniforme au dessus du ménisque relié au bain. Cette épaisseur est décrite par la relation de Landau-Levich Derjaguin (LLD) et varie proportionnellement au nombre capillaire à la puissance 2/3 [1] (nombre adimensionné de la vitesse du système comparant les forces visqueuses aux forces capillaires tel que  $C_a = \frac{\eta V}{\gamma}$ , avec  $\eta$  la viscosité dynamique du fluide et  $\gamma$  la tension de surface de l'ordre de 0.07 J/m<sup>2</sup>). En mouillage partiel, un film au contour trapézoïdal est observé car la ligne de contact sur les côtés recède lors de l'extraction [2] (il devient triangulaire aux temps longs [3]). Cette couche de liquide est déposée lorsque le nombre capillaire atteint une valeur seuil. En revanche, l'enduisage de surfaces déformables est peu exploré [4]. Nous utilisons ici des substrats avec un module d'Young  $Y$  de l'ordre du kPa. Lorsqu'un liquide s'étale sur un tel substrat, une déformation ("ridge") apparaît au niveau de la ligne triple, résultant de la compétition entre force capillaire et l'élasticité du substrat. La taille du ridge est défini par la longueur élastocapillaire  $l_s \sim \frac{\gamma}{Y}$  [5,6]. Si pour un substrat rigide ( $Y \sim$  GPa) cette longueur est inférieure au nanomètre, considérée comme négligeable, pour nos substrats mous, elle est de l'ordre de la dizaine de micromètre, assez significative pour pouvoir intervenir sur l'écoulement : sa présence et sa propagation conduisent à une dissipation d'énergie dans le solide.

Nos expériences ont mis en évidence le résultat suivant : contrairement au cas du solide rigide, où l'entraînement du liquide se fait instantanément, avec un substrat suffisamment déformable, et dans une plage de nombre capillaire intermédiaire, l'entraînement n'est pas instantané, mais plutôt retardé. On assiste donc ici à l'émergence d'une nouvelle plage de solutions, dans laquelle le liquide est entraîné après un transitoire allant de la seconde à plusieurs dizaines de secondes, durée entre le début de l'extraction du solide et le moment où le liquide fini par être entraîné. Ce retard, que l'on nomme temps d'entraînement, semble décroître avec le nombre capillaire et présente une divergence en-deçà d'une valeur seuil  $C_{a_1}$ . L'origine de ce retard reste encore à expliquer. Néanmoins, nous étudions la piste suivante : les substrats que nous utilisons contiennent des chaînes libres, et lorsqu'on les retire, ce retard semble "disparaître", ou du moins ne subsiste que dans une gamme de capillaire très petite. Ainsi, on pourrait expliquer ce retard à l'entraînement par une possible réorganisation lente de ces chaînes libres près de la ligne triple durant l'extraction.

## References

1. L. LANDAU., B. LEVICH, *Dynamics of Curved Fronts*, 141-153 (1988).
2. J. H. SNOEIJER, G. DELON, M. FERMIGIER, B. ANDREOTTI, *PHYSICAL REVIEW LETTERS*, **96**, 174504, (2006).
3. T. D. BLAKE, K. J. RUSHACK, *Nature*, **282**, 489-491, (1979).
4. V. BERTIN, J. H. SNOEIJER, E. RAPHAËL, T. SALEZ, *PHYSICAL REVIEW FLUIDS*, **7**, L102002 (2022).
5. L. LIMAT, *The European Physical Journal E*, **35**, 1-13 (2012).
6. R.W STYLE, E.R. DUFRESNES, *Soft Matter*, **8**, 7177 (2012).