

Dip-coating sur substrats déformables en mouillage partiel : observation d'un retard à l'entraînement de film liquide

Anthony Varlet¹, Philippe Brunet¹, Laurent Limat¹, Julien Dervaux¹, Matthieu Roché¹

Laboratoire Matières et Systèmes Complexes (MSC), UMR 7057, Université Paris-Cité, France
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 V , 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 Ca à la puissance $2/3$ [1] (nombre adimensionné de la vitesse du système comparant les forces visqueuses aux forces capillaires tel que $Ca = \frac{\eta V}{\gamma}$, avec η la viscosité dynamique du fluide et γ la tension de surface (J/m^2)). En mouillage partiel, un film au contour trapézoïdal est observé car la ligne de contact sur les côtés recède lors de l'extraction [2]. Cette couche de liquide est déposée lorsque Ca atteint une valeur seuil.

En revanche, l'enduisage de surfaces déformables est peu exploré [3]. Nous utilisons ici des substrats avec un module d'Young Y allant de l'ordre du kPa au MPa. 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 $l_s \sim \frac{\gamma}{Y}$ [4,5]. Si pour un substrat rigide ($Y \sim GPa$) cette longueur est inférieure au nanomètre, considérée comme négligeable, pour nos substrats mous, elle peut aller à 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 déformable, l'entraînement n'est pas instantané dans une plage de Ca intermédiaire, 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 Ca_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, qui peuvent contaminer la surface libre du liquide au cours de l'extraction [6], et ainsi modifier les conditions d'entraînement de liquide.

Références

1. L. LANDAU., B. LEVICH, *Dynamics of Curved Fronts*, 141-153 (1988).
2. J. H. SNOELJER, G. DELON, M. FERMIGIER, B. ANDREOTTI, *PHYSICAL REVIEW LETTERS*, **96**, 174504, (2006).
3. V. BERTIN, J. H. SNOELJER, E. RAPHAËL, T. SALEZ, *PHYSICAL REVIEW FLUIDS*, **7**, L102002 (2022).
4. L. LIMAT, *The European Physical Journal E*, **35**, 1-13 (2012).
5. R.W STYLE, E.R. DUFRESNES, *Soft Matter*, **8**, 7177 (2012).
6. A. HOURLIER-FARGETTE, A. ANTKOWIAK, A. CHATEAUMINOIS, S. NEUKIRCH, *Soft Matter*, **13** 3484-3491 (2017).