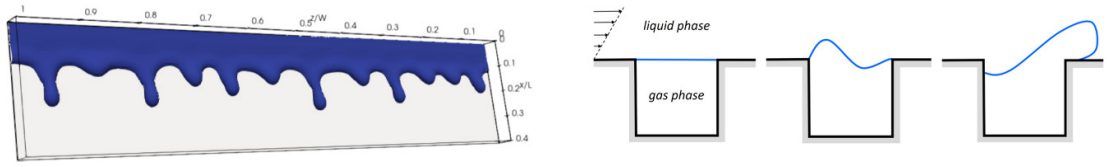
Titre du sujet	Simulation numérique de la déformation d'une interface gaz-liquide en contact avec une surface super-hydrophobe en écoulement cisaillé
Directeur de thèse HDR	Thomas Bonometti, MCF INPT – IMFT, thomas.bonometti@imft.fr
Co-Directeur HDR	Jacques Magnaudet, CNRS – IMFT, jacques.magnaudet@imft.fr
Laboratoire	IMFT – Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse 2 Allée Camille Soula, 31400 Toulouse
Durée	36 mois, plein temps, démarrage Automne 2023
Financement	ANR IDEFHYX (financement acquis)

Contexte de la thèse

Parmi les nombreuses variétés de matériaux innovants conçus pour répondre aux besoins industriels, les surfaces super-hydrophobes (SHS) ont reçu une attention toute particulière depuis une vingtaine d'années (Rothstein 2010). En contrôlant judicieusement leurs propriétés physico-chimiques, ces surfaces biomimétiques peuvent emprisonner une couche de gaz à l'intérieur de la rugosité de surface. Ce plastron gazeux joue alors le rôle d'un film lubrifiant qui limite le contact solide/liquide. Cette caractéristique également appelée « effet Lotus » peut se révéler très intéressante dans les applications où le contrôle de la mouillabilité est crucial. Un certain nombre d'études ont mis en évidence les effets bénéfiques des SHS dans la réduction du frottement pariétal à l'échelle du laboratoire dans des conditions de fonctionnement bien maîtrisées. Cependant, l'extrapolation de ces performances dans des conditions extrêmes, rencontrées en écoulements fortement cisaillés, représentatifs d'applications industrielles (cf. vêtements déperlants, coques de navires, systèmes anti givrages en aéronautique) est un enjeu majeur. En particulier, des travaux très récents ont souligné l'importance de la déformation de l'interface gaz/liquide, qui est actuellement négligée dans la phase de conception des SHS (Castagna *et al.* 2018).

Cette thèse de doctorat vise à apporter des éléments de réponse à cette problématique en s'appuyant sur une approche numérique de capture d'interfaces prenant en compte la géométrie complexe de la surface solide et la dynamique de l'interface en contact avec la surface. Elle s'inscrit dans le projet ANR IDEFHYX (modelling the Interface DEFormation on super-HYdrophobic surfaces in eXtreme conditions), en collaboration avec les laboratoires PRISME, DYNFLUID et MSC.



(a) (b)

Figure 1 : (a) simulation avec le code JADIM de l'IMFT de l'étalement d'une nappe liquide sur une surface solide (Lavale et al. 2020). (b) Schéma du comportement de l'interface gaz-liquide en fonction de l'intensité du cisaillement local (de gauche à droite) : cas statique, déformation modérée, mouvement des lignes de contact.

Objectifs de la thèse

Le laboratoire IMFT développe depuis plusieurs années le code JADIM utilisant une approche de capture d'interfaces qui lui permet de suivre une ou plusieurs interfaces gaz-liquide sur un maillage fixe (figure 1a). L'outil permet de plus de prendre en compte la dynamique de la ligne triple en contact avec le solide via un modèle d'angle de contact dynamique (Legendre & Maglio 2013). Enfin, il dispose d'un

module de frontières immergées permettant de considérer des objets solides de forme quelconque (Gsell *et al.* 2016).

L'objectif de cette thèse est double. D'une part, il consiste à « coupler » le module d'angle de contact dynamique avec le module de frontières immergées afin de pouvoir simuler la déformation d'interfaces en contact avec des surfaces solides de formes complexes. D'autre part, il s'agit d'étudier la dynamique d'une interface gaz-liquide initialement présente entre deux rugosités d'une surface super-hydrophobe, en fonction de l'intensité du cisaillement imposé par le milieu environnant (figure 1b). Les configurations considérées seront de complexité croissante, en partant d'un régime où l'interface reste statique, puis en allant vers des régimes où l'interface se déforme de façon modérée mais la ligne de contact reste fixe, jusqu'à enfin le régime où interface et ligne de contact sont mobiles. Plusieurs paramètres du problème seront balayés sur une gamme relativement large (nombre de Reynolds, nombre de Weber, état de surface des rugosités). Le logiciel JADIM étant parallélisé, les simulations pourront bénéficier des ressources du méso-centre CALMIP (https://www.calmip.univ-toulouse.fr/). Enfin, les résultats numériques obtenus seront comparés avec des mesures expérimentales faites par ailleurs dans le cadre du projet ANR IDEFHYX.

Profil recherché

Le/la candidat(e) devra être titulaire d'un Master 2 orienté vers la Physique ou la Mécanique des Fluides. Un goût pour les méthodes numériques et la programmation (langage Fortran, C, python,…) sera apprécié.

Références

Castagna, M., Mazellier, N. & Kourta, A. (2018) Wake of super-hydrophobic falling spheres: influence of the air layer deformation, *Journal of Fluid Mechanics*, **850**, 646-673.

Gsell, S., Bonometti, T., & Astruc, D. (2016). A coupled volume-of-fluid/immersed-boundary method for the study of propagating waves over complex-shaped bottom: Application to the solitary wave. *Computers & Fluids*, **131**, 56-65.

Lavalle, G., Sebilleau, J., & Legendre, D. (2020). Rivulet cascade from falling liquid films with side contact lines. *Physical Review Fluids*, **5**, 124001.

Legendre, D., & Maglio, M. (2013). Numerical simulation of spreading drops. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **432**, 29-37.

Rothstein, J. P. (2010) Slip on superhydrophobic surfaces. *Annu. Rev. Fluid Mech.* **42**, 89–109.