Mesure de la dynamique de condensation en film par résonance plasmonique

Porteur : Romain Collignon (CR CNRS)
(Le porteur s'engage à participer et présenter son projet aux journées de la GI-EIF)
Partenaires :
Laboratoire : CETHIL UMR 5008
Composante :

Nature du financement demandé : Stage de M2
Dates : mars à juillet 2027

Résumé : La condensation est un phénomène fondamental au cœur de très nombreux procédés industriels et de gestion de l'énergie. Bien que de études s'y soient intéressées, les mécanismes précoces de la nucléation, antérieurs à la croissance du condensat, demeurent flous. Le stage propose de développer l'application de la mesure optique par résonance de plasmon de surface pour quantifier l'épaisseur du film de condensat aux premiers instants de sa croissance (<20 nm). Bien que la faisabilité de la mesure d'épaisseur de film pour le changement de phase ait déjà été montrée, la quantification de la mesure reste encore à faire. Ce stage aura lieu au sein du groupe EHTIS du CETHIL. Il donc pour ambition d'étudier l'influence de l'épaisseur du condensat sur le phénomène mesuré afin de développer des corrélations. Pour cela, la sensibilité de la mesure aux conditions de développement expérimentales du condensat sera étudiée (pression, température de sous-refroidissement, inclinaison).

Sujet développé :

Dans le contexte d'un besoin de baisse des consommations énergétiques afin de limiter les effets du dérèglement climatique, la diminution de la consommation d'énergie globale constitue un enjeu capital. Les procédés à changement de phase sont très largement utilisés pour leur grande efficacité énergétique que ce soit pour la conversion ou le transport de l'énergie. Parmi les différentes transformation, deux se distinguent par l'étendue des procédés les mettant en jeu : l'évaporation et la condensation. Cependant, alors que ces deux transitions de phases ont été très largement étudiées, les mécanismes fondamentaux de la formation des premiers germes de liquide lors de la condensation (ou de vapeur pour l'évaporation) au sein des sites de nucléation sont encore mal connus. La description des premiers instants de la nucléation semble alors un enjeu fort au cœur de très nombreuses problématiques scientifiques mais elle est aujourd'hui peu investie.

La condensation est un processus de changement de phase au cours duquel la vapeur se refroidit et se transforme en liquide. De nombreuses applications tirent parti de ce processus pour transférer de la chaleur, comme la réfrigération, la distillation ou le refroidissement des centrales électriques. Généralement, ce processus de changement de phase est déclenché au contact d'une surface froide. Ainsi, l'amélioration de l'efficacité de la condensation entraîne une amélioration des performances de l'ensemble du processus. Des études ont montré que la topologie de la surface joue un rôle significatif dans l'amélioration de la condensation [1]. Outre la nature du fluide et les

conditions ambiantes, la nature de la surface influence le mode de condensation : soit par la formation d'un film liquide continu (condensation en film), soit par la formation de gouttes distinctes (condensation en gouttes). Ces deux modes entraînent des résultats différents en termes de capacité de transfert thermique. Dans le cas de la condensation en film, une résistance supplémentaire au transfert thermique entraîne une augmentation du gradient de température nécessaire à mesure que le processus évolue. Dans la condensation par gouttes, celles-ci ont tendance à glisser lorsqu'elles atteignent un diamètre critique et n'entraînent donc pas d'augmentation de la résistance au transfert thermique [2]. De nombreuses expériences ont été menées pour étudier l'intensification de la condensation aussi bien en configuration de condensation en film [3] qu'en condensation en gouttes [4]. Cependant, ces résultats ne suffisent pas à comprendre le mécanisme sous-jacent précédant la croissance de la phase liquide.

Afin de répondre à ce besoin de description, au sein du groupe EHTIS du CETHIL, nous souhaitons développer la méthode de mesure optique par résonance de plasmon de surface. La mesure à l'aide de cette technique a permis de détecter la formation des premiers germes d'ébullition au cours de de la thèse d'Al Masri [5] dans le cadre de l'ANR NUCLEI. Cependant la formation de bulle dans la zone d'observation a empêché de continuer le développement de la mesure dans cette direction. Par la suite, la preuve de faisabilité de la mesure d'épaisseur de film de condensation a été réalisée mais n'a pas permis d'obtenir une mesure quantifiée de l'épaisseur de liquide alors qu'elle se développe [6]. Des travaux récents ont pu quantifier l'épaisseur d'une couche d'alumine au cours de son dépôt entre 0 et 15 nm [7], ce qui a conduit les équipes du laboratoire Hubert Curien de Saint-Etienne et du CETHIL à Lyon de reconduire une collaboration dans le cadre du projet DACOREP de la fédération IngéLy'SE visant à obtenir une mesure quantifiée de l'épaisseur d'une couche de condensat alors qu'elle se forme.

Le travail attendu pour ce stage de M2 est la prise en main du banc expérimental et de la métrologie optique de plasmon de surface, tous deux existants car issus de l'ANR NUCLEI. L'étudiant aura pour rôle d'effectuer des mesures dans différentes configurations de condensation et d'évaluer la sensibilité de la réponse plasmonique aux conditions de fonctionnement (pression, températures et inclinaison) afin de déterminer les limites de la technique.

Références :

[1] F. M. Mancio Reis, P. Lavieille, et M. Miscevic, « Dropwise Condensation Enhancement Using a Wettability Gradient », *Heat Transf. Eng.*, vol. 38, nº 3, p. 377-385, févr. 2017, doi: 10.1080/01457632.2016.1189277.

[2] S. Khandekar et K. Muralidhar, *Dropwise condensation on inclined textured surfaces*. in SpringerBriefs in applied sciences and technology. SpringerBriefs in thermal engineering and applied science. New York: Springer, 2014.

[3] J. R. Thome, « Condensation in plain horizontal tubes: recent advances in modelling of heat transfer to pure fluids and mixtures », *J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 27, nº 1, mars 2005, doi: 10.1590/S1678-58782005000100002.

[4] J. W. Rose, « Dropwise condensation theory and experiment: A review », *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J. Power Energy*, vol. 216, nº 2, p. 115-128, janv. 2002, doi: 10.1243/09576500260049034.

[5] M. Al Masri, « Ebullition nucléée sur des surfaces ultra-polies : Influence de la topographie et du revêtement sur le phénomène de nucléation », Université de Lyon, 2017.

[6] J. Ibrahim *et al.*, « Condensation phenomenon detection through surface plasmon resonance », *Opt. Express*, vol. 25, nº 20, p. 24189, oct. 2017, doi: 10.1364/OE.25.024189.

[7] J. Dutems *et al.*, « In situ monitoring of thin alumina passive film growth by surface plasmon resonance (SPR) during an electrochemical process », *Sci. Rep.*, vol. 14, nº 1, p. 13804, juin 2024, doi: 10.1038/s41598-024-64378-w.