

Instabilités secondaires tridimensionnelles d'un film liquide s'écoulant sur un plan incliné

N. Kofman¹, S. Mergui¹, & C. Ruyer-Quil²

¹ Fluides, Automatique et Systèmes Thermiques - Bâtiment 502, Rue du Belvédère - Campus Universitaire d'Orsay - 91405 Orsay Cedex, France

² Université de Savoie - Polytech Annecy-Chambéry, LOCIE - Campus Scientifique, Savoie Technolac - 73376 Le Bourget du Lac Cedex, France

kofman@fast.u-psud.fr

Nous considérons l'écoulement d'un film liquide sur un plan incliné à nombre de Reynolds modéré. En appliquant un forçage temporel en entrée, on observe des ondes solitaires bidimensionnelles lorsque la fréquence est basse. A plus haute fréquence, les ondes sont quasi-sinusoidales; ces ondes plus lentes sont instables et évoluent en aval vers un régime d'ondes solitaires ([3],[6]). Nous étudions à la fois numériquement et expérimentalement les modes d'instabilité tridimensionnels qui apparaissent lorsque le nombre de Reynolds augmente.

Nous partons de modèles d'équations à petit nombre de degrés de liberté [2] et calculons les solutions 2D stationnaires par continuation. Puis nous réalisons l'étude de stabilité linéaire 3D grâce à une décomposition de Floquet qui a déjà été utilisée pour la stabilité des ondes lentes [6]. Nous analysons les résultats en faisant un bilan énergétique afin d'identifier quels sont les termes déstabilisants. Trois modes d'instabilité distincts sont mis en évidence : un mode capillaire, qui déforme aussi bien les ondes solitaires que les ondes lentes, un mode inertiel, dont l'évolution non-linéaire donne naissance à des structures très particulières (formes en fer à cheval [5] ou en Λ [1]) et un mode de cisaillement, marginal et dont le mécanisme reste inexpliqué.

Nous comparons ces prédictions théoriques à des résultats expérimentaux. L'expérience consiste en un film d'eau qui s'écoule sur une plaque de verre inclinée de 150 cm de longueur par 40 cm de largeur. L'angle d'inclinaison peut être augmenté jusqu'à 20 degrés. Le forçage en entrée est réalisé grâce à une plaque qui oscille au-dessus de la surface libre du liquide (la plage de fréquence s'étend de 2 à 20 Hz). Le nombre de Reynolds peut varier jusqu'à 100 environ. Une méthode Schlieren [4] a été adaptée à la configuration étudiée et permet d'obtenir une mesure spatiale et temporelle de l'épaisseur du film. Un dispositif confocal de mesure d'épaisseur en un point complète la méthode précédente. La visualisation des motifs peut s'effectuer aussi par ombroscopie. Nous comparons notamment les domaines d'existence des différents modes d'instabilité en fonction des paramètres ainsi que les longueurs d'onde et déformations induites avec les résultats numériques.

Références

- [1] Three-dimensional localized coherent structures of surface turbulence. II. Λ solitons
E.A. Demekhin, E.N. Kalaidin, S. Kalliadasis, S.Y. Vlaskin, Phys. Fluids **19**, 114104 (2007)
- [2] Falling liquid films
S. Kalliadasis, C. Ruyer-Quil, B. Scheid, M.G. Velarde, Springer
- [3] Three-dimensional instabilities of film flows
J. Liu, J.B. Schneider, J.P. Gollub, Phys. Fluids **7** (1), 55-67 (1995)
- [4] A Synthetic Schlieren method for the measurement of the topography of a liquid interface
F. Moisy, M. Rabaud, K. Salsac, Exp. in Fluids **46** (6), 1021-1036 (2009)
- [5] Three-dimensional wave dynamics on a falling film and associated mass transfer
C.D. Park, T. Nosoko, AIChE Journal **49** (11), 2715-2727 (1995)
- [6] Wave patterns in film flows : Modelling and three-dimensional waves
B. Scheid, C. Ruyer-Quil, P. Manneville, J. Fluid Mech. **562**, 183-222 (2006)