

Instabilités et dynamique de films tombants

Christian Ruyer-Quil

Laboratoire FAST, Univ. Paris 06, Univ. Paris-Sud, UMR CNRS 7608, bât. 502, campus universitaire, 91405 Orsay
ruyer@fast.u-psud.fr

La dynamique d'un film liquide s'écoulant par gravité a fait l'objet de nombreuses études en commençant par les travaux de Kapitza dans les années 1940 [1]. On peut en effet y observer une succession d'instabilités ou brisures de symétries menant d'un écoulement d'épaisseur uniforme à un désordre spatio-temporel organisé autour d'ondes très non-linéaires en interaction, ou ondes solitaires dont la forme rappelle celles des larmes. Ce "gaz de solitons" [2] est un exemple de *turbulence faible* [3] et résulte d'une instabilité hydrodynamique dont le mécanisme consiste en la compétition entre ondes cinématiques générées par la conservation de la masse, et ondes dynamiques, c'est à dire des ondes de gravité advectées par l'écoulement. De fait, un écoulement de film liquide est un exemple de milieu non-linéaire *actif* (génération d'ondes par instabilité), *dissipatif* et *dispersif* à mi-chemin de la turbulence de phase décrite par une équation de Kuramoto-Sivashinsky et de la dynamique de solitons capturée par une équation de Korteweg-de-Vries. Dans le cas des films liquides, la non-linéarité résulte de la dépendance cubique du débit local en fonction de l'épaisseur du film et est responsable du raidissement des fronts d'ondes et du transfert d'énergie pompée de l'écoulement de base (film uniforme) vers les ondes par l'instabilité primaire. Le mécanisme dissipatif est d'origine capillaire, les ondes courtes étant amorties par la tension de surface, tandis que la dispersion des ondes est produite par la viscosité du fluide. L'interaction entre ces différents effets physique génère une dynamique très riche qui n'est pas encore bien comprise. En particulier, les mécanismes d'instabilité secondaires et le rôle des motifs tridimensionnels qui en résultent (ondes solitaires en "fer à cheval", fronts obliques etc.) sur les propriétés de transfert de masse et de chaleur sont des sujets actuels de recherche avec des retombées en génie des procédés par exemple.

Un caractère important des films tombants est le fait que, dans le cas d'un plan vertical, l'instabilité primaire ne présente pas de seuil. De fait, les ondes sont observables même à faibles nombres de Reynolds et présentent un rapport de forme considérable, le film étant mince par rapport à la longueur des ondes. Cette situation est unique pour appliquer des méthodes d'élimination de la variable lente (ici la coordonnée normale au film) et décrire la dynamique du film en termes d'équations moyennées, généralisant les équations de Saint-Venant [4].

Dans cet exposé, je m'efforcerai de décrire et de comparer les différentes méthodes existantes pour formuler des modèles cohérents et je m'attarderai sur la méthode aux résidus pondérés que Paul Manneville et moi-même avons contribué à développer [5,6].

Références

1. P.L. KAPITZA AND S.P. KAPITZA, Wave flow of thin layers of a viscous fluid. *Collected Papers of P. L. Kapitza* (1965) (ed. D. T. Haar), pp. 690-709. Pergamon.
2. S.R. TAILBY AND S. PORTALSKI, The hydrodynamics of liquid films flowing on vertical surfaces. *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, **38**, 324-330 (1960).
3. P. MANNEVILLE, *Dissipative Structures and Weak Turbulence* Academic Press, New York (1990).
4. E. D. FERNÁNDEZ-NIETO, P. NOBLE, AND J.-P. VILA, Shallow water equations for Non-Newtonian fluids. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, **165** : 712-732 (2010).
5. C. RUYER-QUIL AND P. MANNEVILLE, Improved modeling of flows down inclined planes. *Eur. Phys. J. B*, **15**, 357-369 (2000).
6. B. SCHEID, C. RUYER-QUIL, AND P. MANNEVILLE, Wave patterns in film flows : modelling and three-dimensional waves. *J. Fluid Mech.*, **562**, 183-222 (2006).