

Instabilités d'un film liquide en écoulement sur une fibre verticale

C. Duprat¹, F. Giorgiutti-Dauphine, & C. Ruyer-Quil

Laboratoire FAST, Orsay
duprat@fast.u-psud.fr

L'écoulement d'un film liquide induit par gravité autour d'une fibre met en jeu deux mécanismes, l'un capillaire, dû à la tension de surface et la courbure de la fibre (instabilité de Rayleigh-Plateau), l'autre hydrodynamique (instabilité initialement étudiée par Kapitza). Le film liquide se déstabilise systématiquement, montrant une grande variété de phénomènes non linéaires dus au couplage non trivial des deux mécanismes d'instabilité, tels l'apparition d'ondes solitaires, et peut conduire à un régime désordonné. Ce système est donc idéal pour étudier la complexité des écoulements ouverts. Un montage expérimental permettant de contrôler précisément le débit dans le film et les conditions initiales (forçage) a été réalisé.

Pour des débits élevés et des fibres de grand rayon, l'instabilité est surtout provoquée par des effets inertiels comme observé dans le cas de films tombants sur des surfaces planes. Le système se comporte alors comme un amplificateur de bruit : le film, au départ d'épaisseur uniforme, se brise spontanément en un train d'onde quasi régulier dont la fréquence correspond à la fréquence la plus amplifiée en espace prédite par une analyse de stabilité linéaire. Pour des fibres de rayons plus faibles, à bas débit, le mécanisme d'instabilité domine sur l'advection des ondes par l'écoulement : on observe alors un train d'onde régulier, avec une fréquence propre bien définie. Ce train d'onde reste stable et envahit tout le domaine (mode global). Nous identifions le débit critique auquel la transition entre les instabilités absolue (régime régulier) et convective (amplificateur de bruit) se produit. Les résultats expérimentaux sont en bon accord avec la transition obtenue en résolvant l'équation d'Orr-Sommerfeld (analyse de stabilité de linéaire) [1].

Le train d'ondes primaire est déstabilisé en aval par une instabilité secondaire, menant à un régime désordonné. Nous étudions expérimentalement la réponse spatiale du système à un bruit blanc (bruit ambiant) ou à une perturbation périodique dans une large gamme de fréquence de forçage. Nous identifions la fréquence de coupure du système comme la fréquence à laquelle le forçage n'affecte plus la dynamique. Pour des fréquences de forçage plus faibles, nous obtenons un train périodique d'ondes stationnaires saturées appelées *travelling waves*. Nous avons formulé, dans l'hypothèse de lubrification, un modèle par prise de moyenne sur l'épaisseur des équations du mouvement. Nous obtenons alors deux équations couplées non linéaires pour l'évolution du débit q et de l'épaisseur du film h , correspondant à un bilan de masse et au bilan de quantité de mouvement dans la direction de l'écoulement [2]. Afin de considérer les différents mécanismes d'instabilité, ce modèle prend en compte l'inertie et la tension de surface, ainsi que la dispersion d'origine visqueuse. Les données expérimentales (fréquence, vitesse, forme et épaisseur des ondes) sont en très bon accord avec les solutions du modèle.

Références

1. C. DUPRAT, C. RUYER-QUIL, S. KALLIADASIS AND F. GIORGIUTTI-DAUPHINÉ, Absolute and Convective Instabilities of a Viscous Film Flowing Down a Vertical Fiber, *Physical Review Letters*, **98**, 244502 (2007).
2. C. RUYER-QUIL, P. TREVELEYAN, F. GIORGIUTTI-DAUPHINÉ, C. DUPRAT AND S. KALLIADASIS, Modelling film flows down a fibre, *submitted to Journal of Fluid Mechanics*