

Optimisation d’échangeurs de chaleur à film ruisselant

Nicolas CELLIER
Laboratoire LOCIE
Campus Universitaire Savoie Technolac
73376 Le Bourget du Lac

contact@nicolas-cellier.net — +336 71 37 74 67



Introduction

Phénomène observable dans les rues durant une averse particulièrement intense, le film ruisselant est un écoulement complexe qui trouve des applications au sein du génie des procédés industriels.

Échangeurs de chaleur, évaporateurs sont des équipements technologiques pouvant tirer profit des caractéristiques particulières de ce phénomène.

En s’écoulant sur une surface plane et sous certaines conditions hydrodynamiques, un fluide pourra commencer à se déstabiliser et présenter des séries d’ondelettes à sa surface. Ce phénomène s’accompagne d’une forte intensification des transferts (thermiques et matière).



FIGURE 1 – Film d’eau ruisselant le long d’une rue en pente

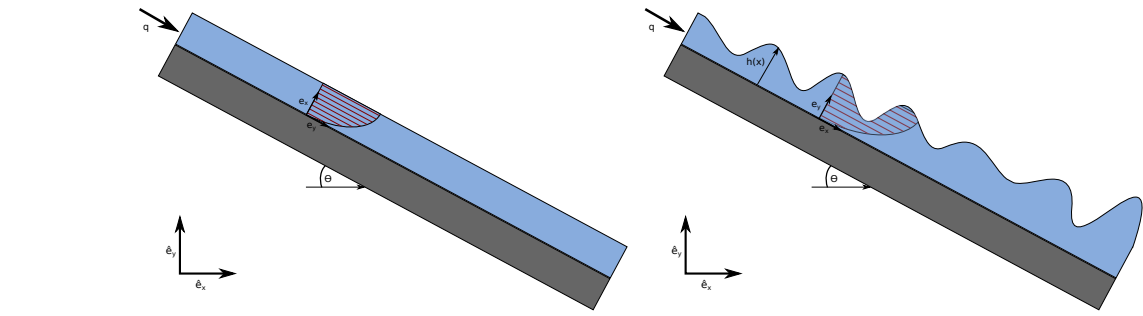


FIGURE 2 – Schéma d’un film ruisselant, avant et après déstabilisation

Problématique

- Couplage entre l’hydrodynamique et les phénomènes de transfert relativement peu étudié.
- Sa maîtrise peut mener à une intensification des phénomènes au cœur d’équipements technologiques et à la réduction de leur encombrement.
- Nécessité de modéliser correctement l’hydrodynamique du film, et le couplage avec les transferts de chaleurs / de masse.

Les modèles

- Modèles industriels nombreux, mais imparfaits [KG01]
 - Beaucoup de corrélations basés sur films plats.
 - Les films ruisselants verticaux sont instables quelque soit le Reynolds MILLER [Mil98].
 - Incompréhension des interactions hydro / thermique menant à l’intensification de transfert
- Simulation numérique direct, couteuse
 - Basé sur la résolution directe des équations de Navier et Stokes et de Fourier.
 - Le coût calcul interdit un travail d’optimisation en des temps raisonnables.
- Modèles asymptotiques (méthode retenue)
 - Basé un développement en couche limite adapté aux films ruisselants
 - Limité à un domaine de paramètres restreints (faible Reynolds et Peclet).
 - Travail important sur les équations en amont.

ρ	masse volumique	q	débit local
u	champs de vitesse	f	force volumique
p	pression	Ct	Facteur de pente
τ	tenseur des contraintes	Re	Nombre de Reynolds
h	hauteur de l’interface	We	Nombre de Weber

Travaux engagés

Modélisation hydrodynamique

Modèle asymptotique intégré sur la hauteur du film a été développé, basé sur les travaux de RUYER-QUIL et MANNEVILLE [RM00].

$$\begin{aligned} \partial_t h &= -\partial_x q \\ 3Re\partial_t q &= \frac{5}{6}h \left(1 - Ct\partial_x h + We\partial_{x,x}h \right) \\ &\quad - \frac{5}{2} \frac{q}{h^2} - \frac{5}{4} M\partial_x \theta \\ &\quad + 3Re \left(\frac{9}{7} \frac{q^2}{h} \partial_x h - \frac{17}{7} \frac{q}{h} \partial_x q \right) \end{aligned}$$

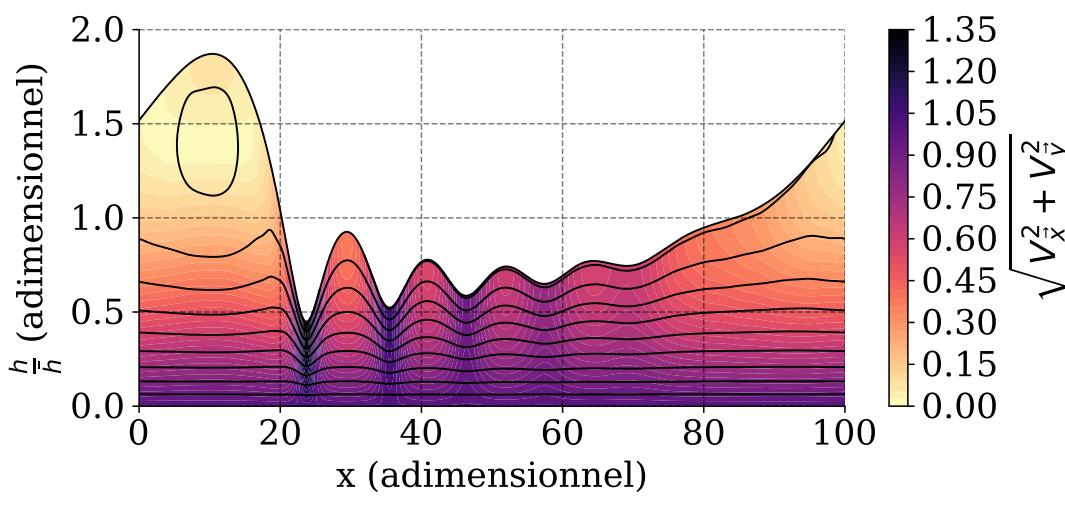


FIGURE 3 – Lignes de courants dune onde propa-gative, film vertical. (Re = 20, We = 30)

On observe nettement les effets de recirculation au sein de l’onde décrits par BRAUNER [Bra89], YOSHIMURA, NOSOKO et NAGATA [YNN96] ou MIYARA [Miy99].

Couplage thermique

Suivant un développement analogue, un modèle asymptotique a été écrit basé sur les équations de Fourier (publication en cours d’écriture).

Impact de la fréquence de forçage

Sur l’hydrodynamique

Les simulations ont été faite avec un bruit blanc en entrée additionné d’un forçage sinusoï-dale.
figure
Pour de haute et de basses fréquences, les ondes naturelles dominant.

Sur l’intensification de transfert

Impact de la géométrie

Suite des travaux

Prise en compte de la turbulence

Effet Marangoni et dry patches

Encadrement de thèse :
— C. Ruyer - Quil (LOCIE)
— N. Caney (LEGI)
— P. Bandelier (CEA - Liten)
Partenaire industriel : CIAT
Mis en place et soutenu par la région Rhône-Alpes

Références

[Bra89] N. BRAUNER. “Modelling of wavy flow in turbulent free falling films”. In : *International Journal of Multiphase Flow* 15.4 (1989), p. 505–520.

[KG01] Jesse D. KILLION et Srinivas GARIMELLA. “A critical review of models of coupled heat and mass transfer in falling-film absorption”. en. In : *International Journal of Refrigeration* 24.8 (déc. 2001), p. 755–797.

[Mil98] William MILLER. “The Experimental Analysis of Aqueous Lithium Bromide Vertical Film Absorption”. In : *Doctoral Dissertations* (1998).

[Miy99] A MIYARA. “Numerical analysis on flow dynamics and heat transfer of falling liquid films with interfacial waves”. In : *Heat and Mass Transfer* 35.4 (1999), p. 298–306.

[RM00] Christian RUYER-QUIL et Paul MANNEVILLE. “Improved modeling of flows down inclined planes”. In : *The European Physical Journal B* 15.2 (2000), p. 357–369.

[YNN96] P.N. N YOSHIMURA, T. NOSOKO et T. NAGATA. “Enhancement of mass transfer into a falling laminar liquid film by two-dimensional surface waves—Some experimental observations and modeling”. en. In : *Chemical Engineering Science* 51.8 (avr. 1996), p. 1231–1240.

Sources, données et contenu additionnel :