

Evaporation d'un film mince liquide déposé par un ménisque récessif dans un tube capillaire chauffé

Institut Pprime : V. Ayel, Y. Bertin, C. Romestant, N. Chauris, B. Mehta, I. Demeyer

Introduction

Ecoulement de Taylor : amélioration des transferts

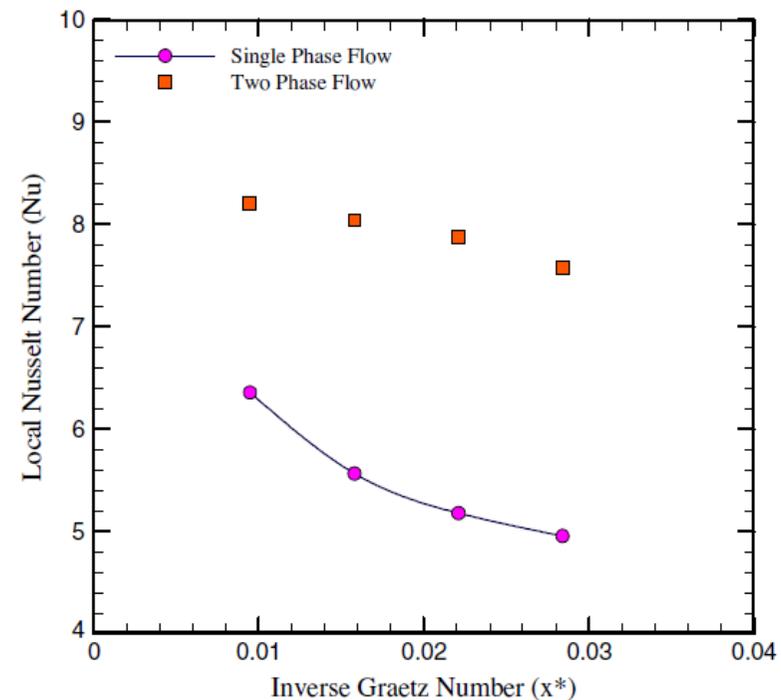
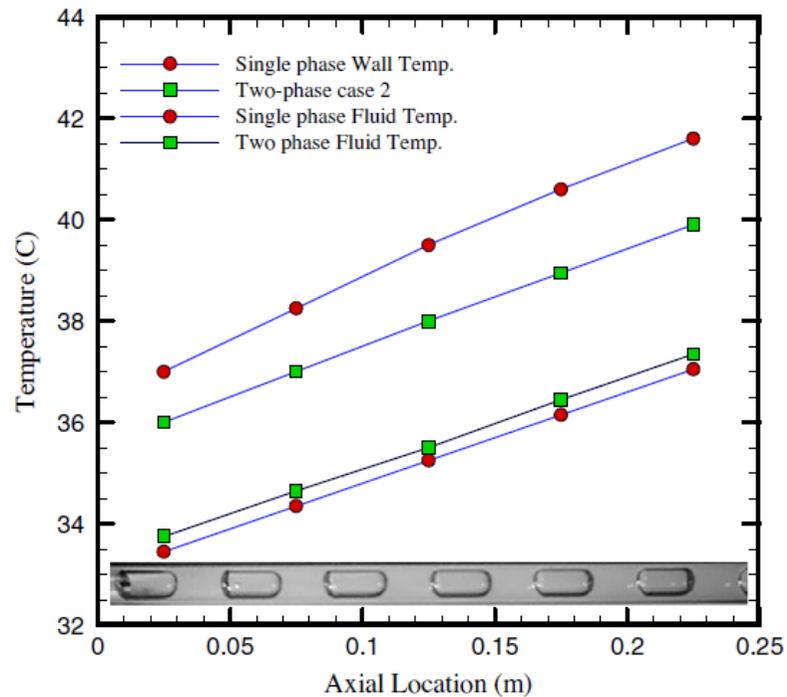
[Mehta et al, IJHMT, 2016]



(a)



(b)



- Nu fonction de la vitesse des bulles, de leur longueur, de la fraction volumique de vapeur, etc...

22/04/16

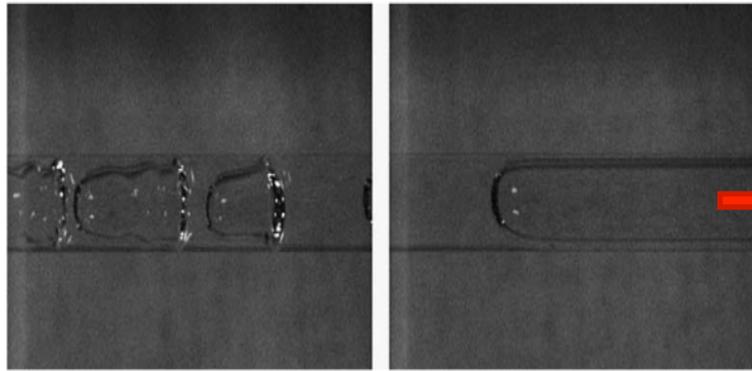
[Mehta et al, IJHMT, 2016]

2

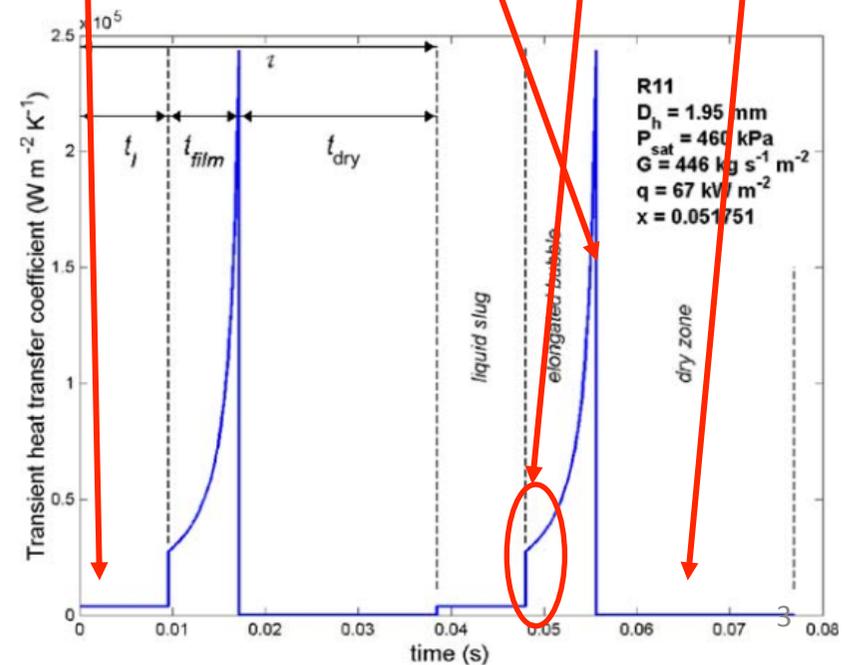
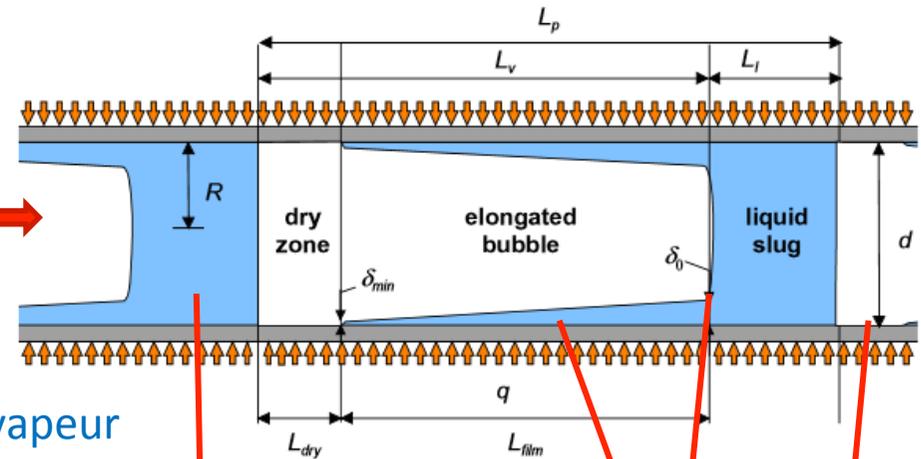
Introduction

Écoulement de Taylor : amélioration notable des transferts

[Thome et al, IJHMT, 2004]



succession de bouchons liquides / bulles de vapeur



Intensification par dépôt de film mince

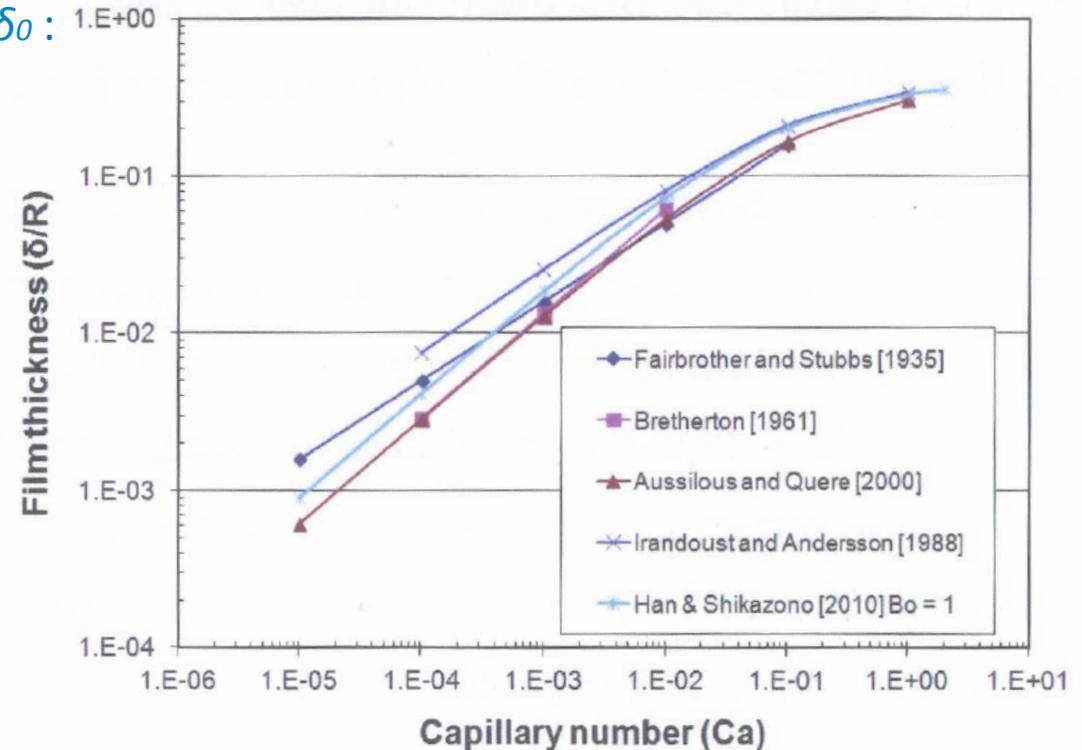
- Epaisseur de film mince déposé δ_0 :
- Fonction de :

$$Ca = \frac{\mu l v_{men}}{\sigma}$$

$$\delta_0 \sim Ca^{2/3}$$

$$Re = \frac{\rho l v_{men} D_i}{\mu l}$$

$$We = \frac{\rho l v_{men}^2 D_i}{\sigma}$$



- Différentes corrélations :

[Han and Shikazono, IJHFF, 2009]

$$\frac{\delta_0}{D_i} = \frac{0.67Ca^{2/3}}{1 + 3.13Ca^{2/3} + 0.504Ca^{0.672} Re^{0.589} - 0.352We^{0.629}}$$

(Re < 2000)

Fairbrother and stubbs [1935]

$$\frac{\delta}{R} = 0.50(Ca)^{1/2}$$

Irandoust and Andersson [1988]

$$\frac{\delta}{R} = 0.36[1 - \exp(-3.08(Ca)^{0.54})]$$

Bretherton [1961]

$$\frac{\delta}{R} = 1.34(Ca)^{2/3}$$

Aussilous and Quere [2000]

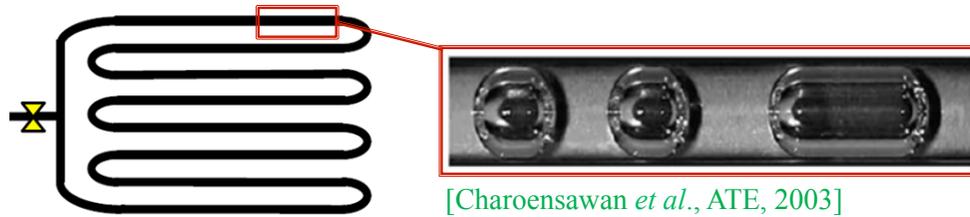
$$\frac{\delta}{R} = \frac{1.34(Ca)^{2/3}}{1 + 2.5(1.34(Ca)^{2/3})}$$

Han & Shikazono [2010]

$$\frac{\delta}{R} = 2 \cdot \left(\frac{0.968 \cdot Ca^{2/3} Bo^{-0.414}}{1 + 4.838 Ca^{2/3} Bo^{-0.414}} \right)$$

Introduction

Dans un PHP :

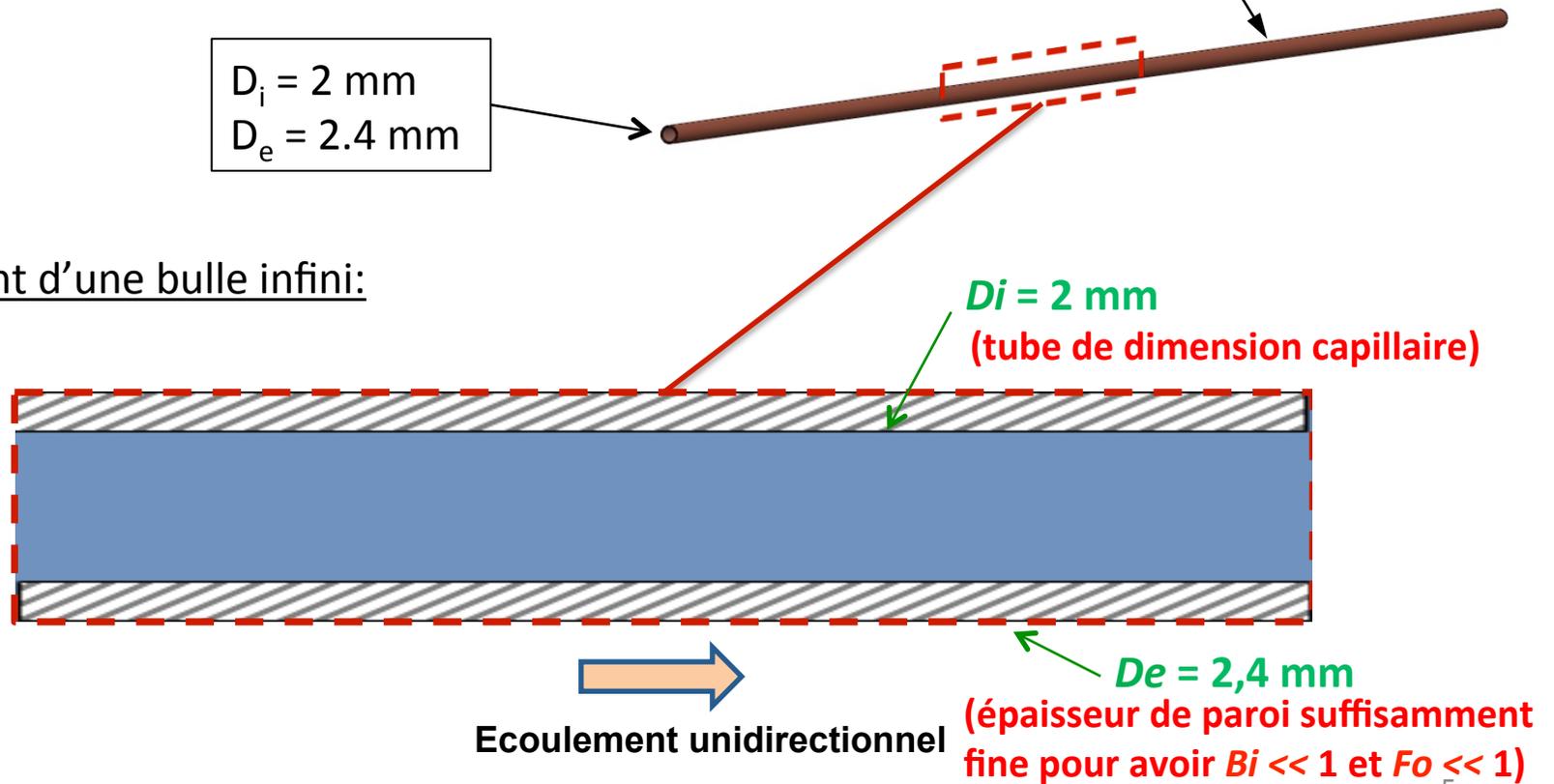


Isolement d'une branche/tube:

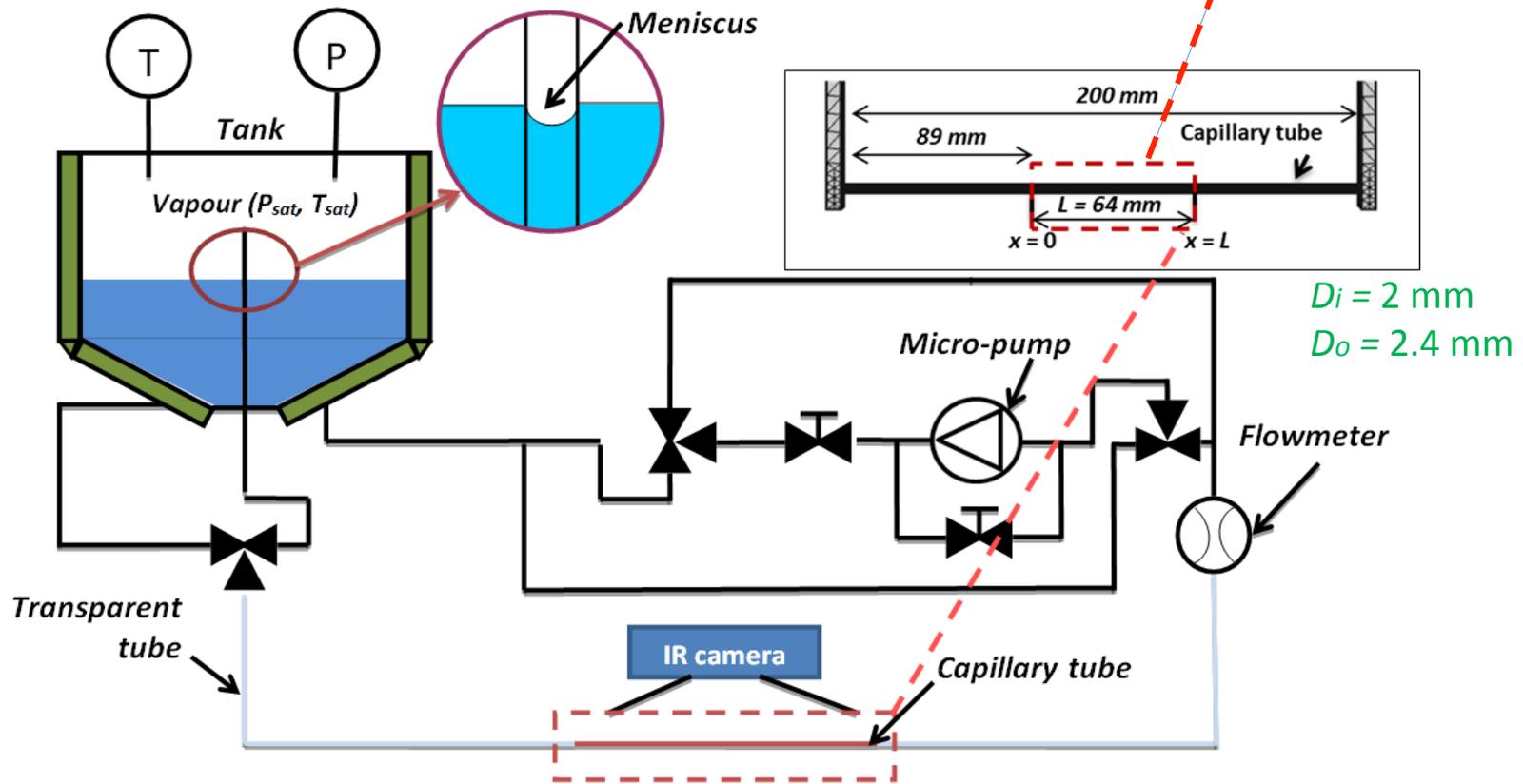
Tube capillaire en cuivre
(chauffage par effet Joule)

$D_i = 2 \text{ mm}$
 $D_e = 2.4 \text{ mm}$

Ecoulement d'une bulle infini:



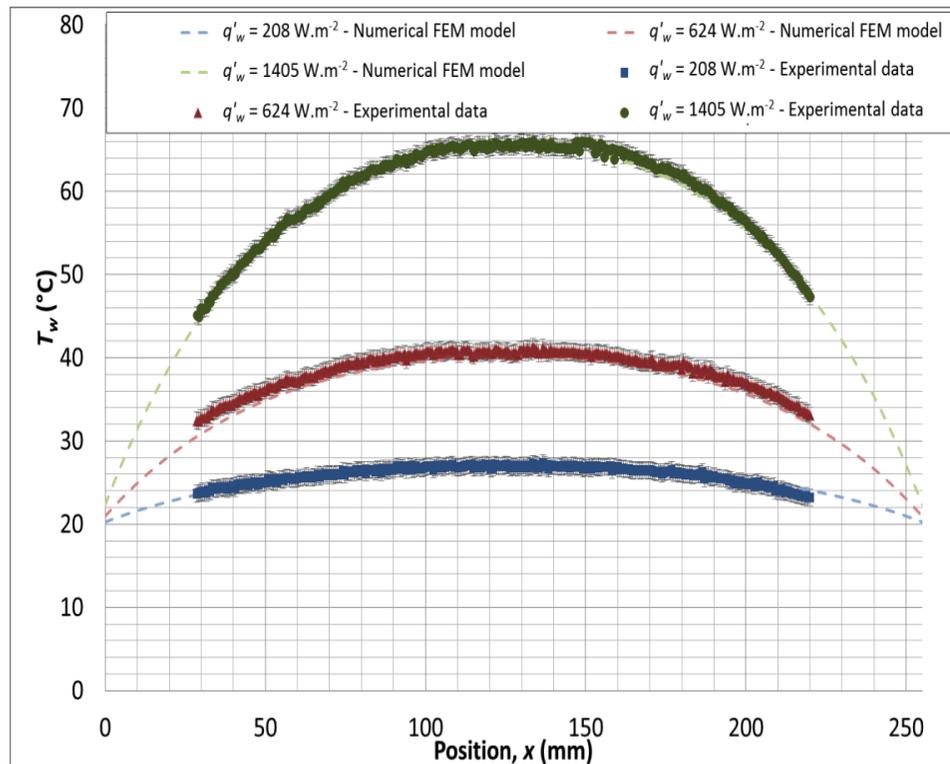
Banc expérimental



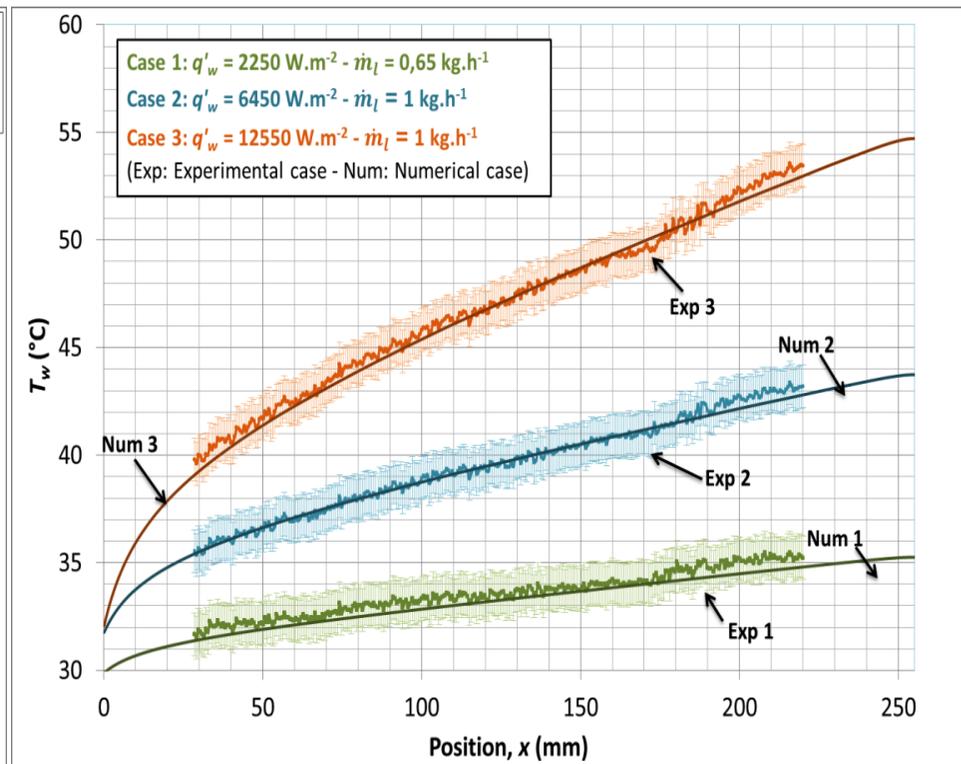
Validation du dispositif expérimental

Comparaison résultats expérimentaux avec calculs numériques FEM :

Tube vide

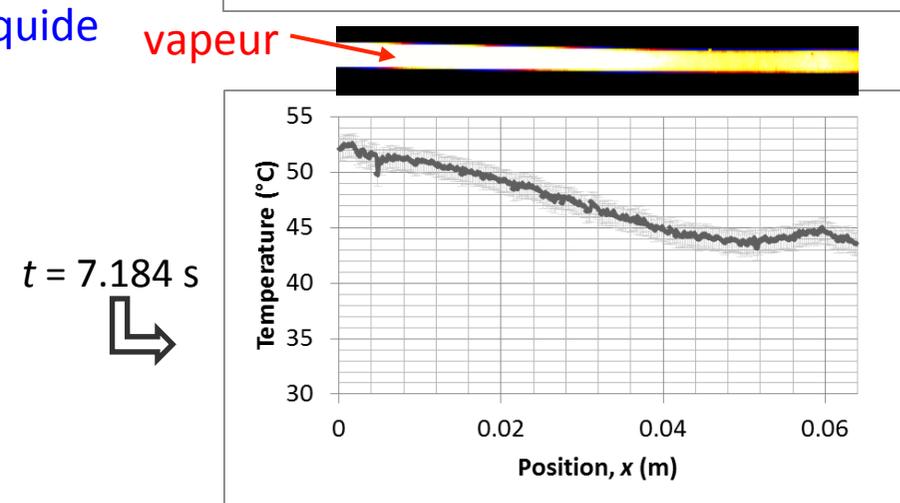
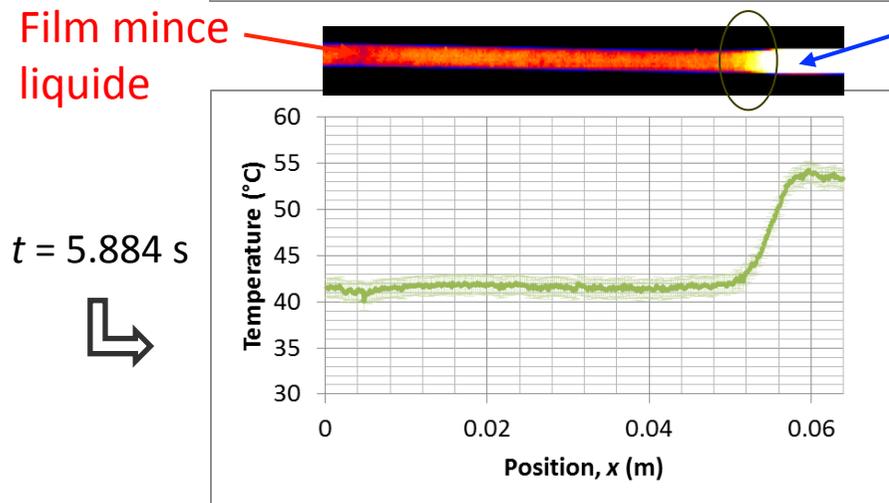
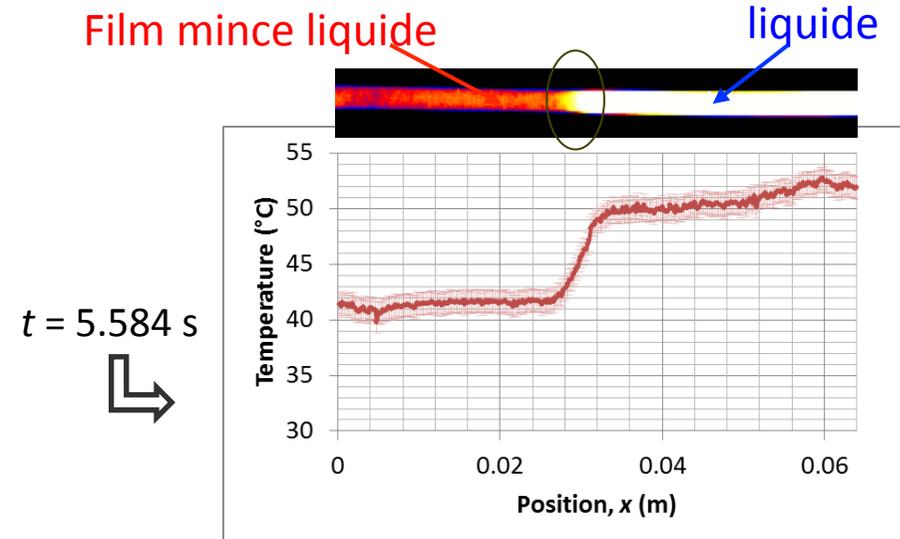
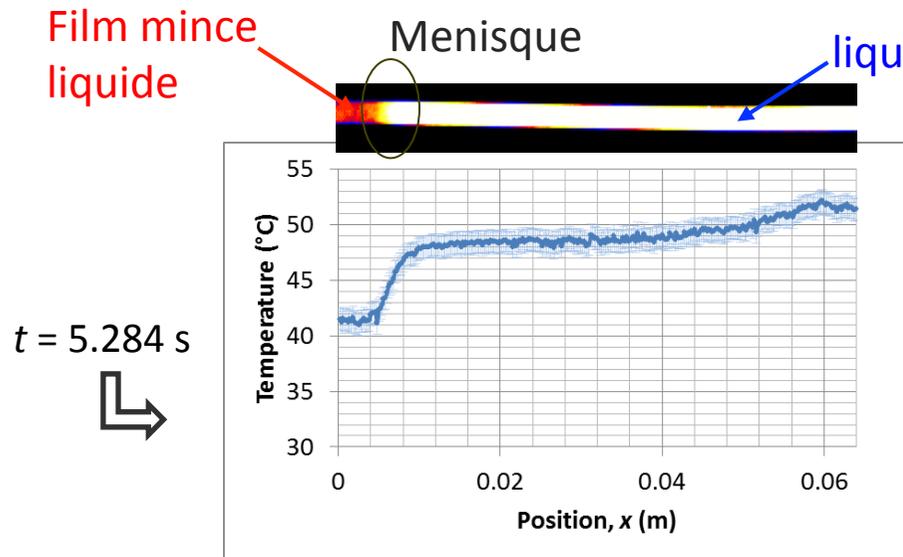


Ecoulement monophasique liquide



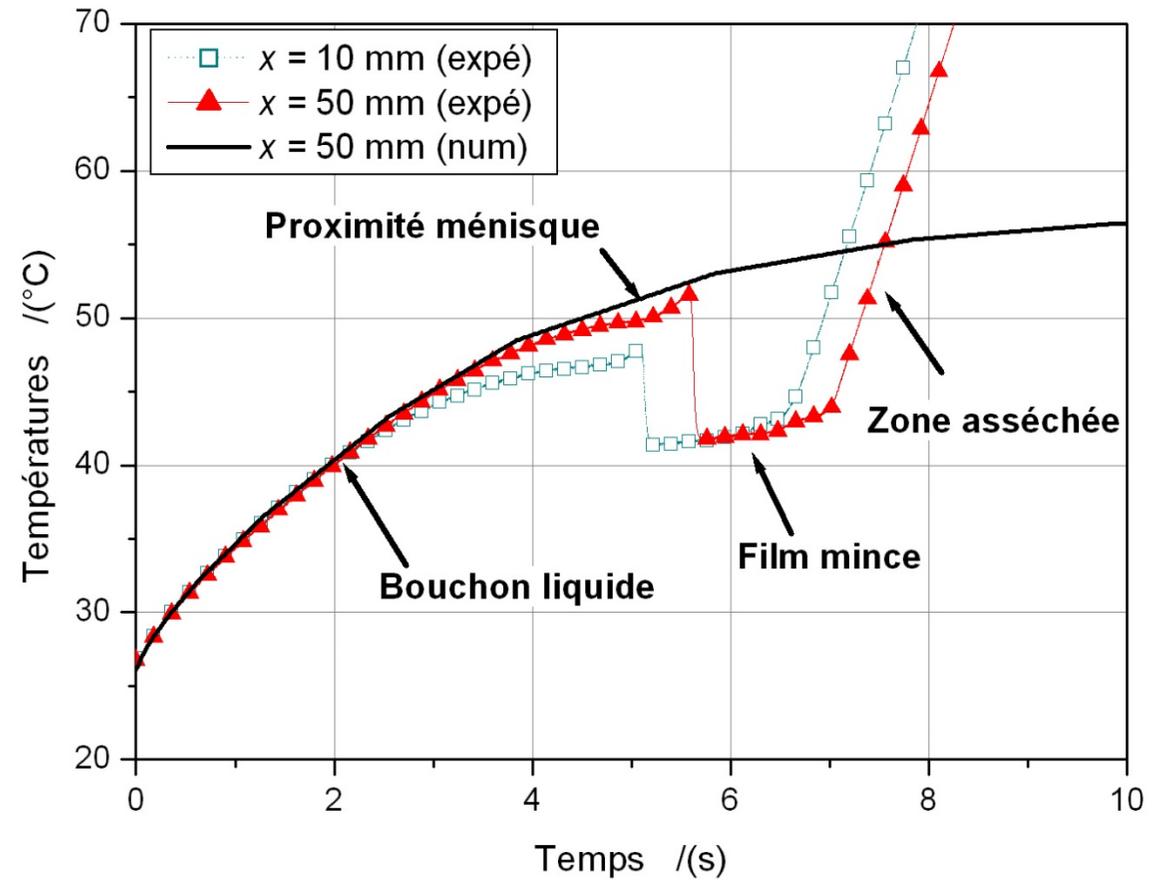
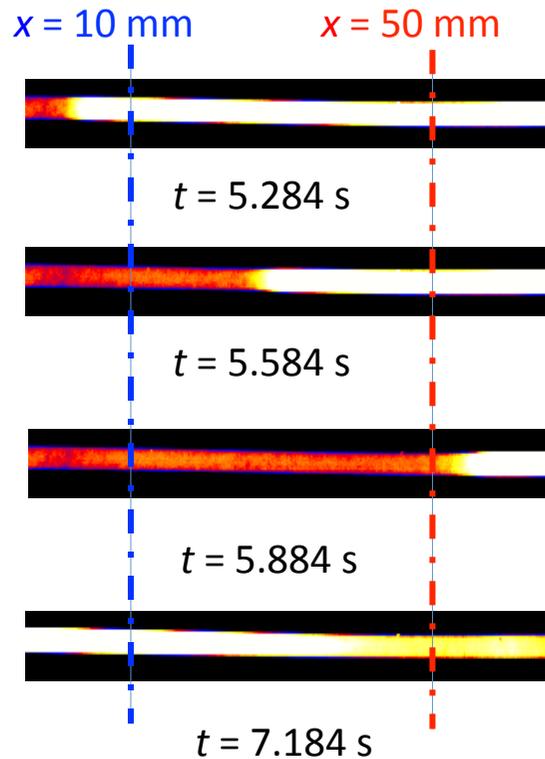
Champs de température (EAU)

Eau : $T_s = 315 \text{ K}$, $v_l = 69 \text{ mm.s}^{-1}$, $I = 80 \text{ A}$



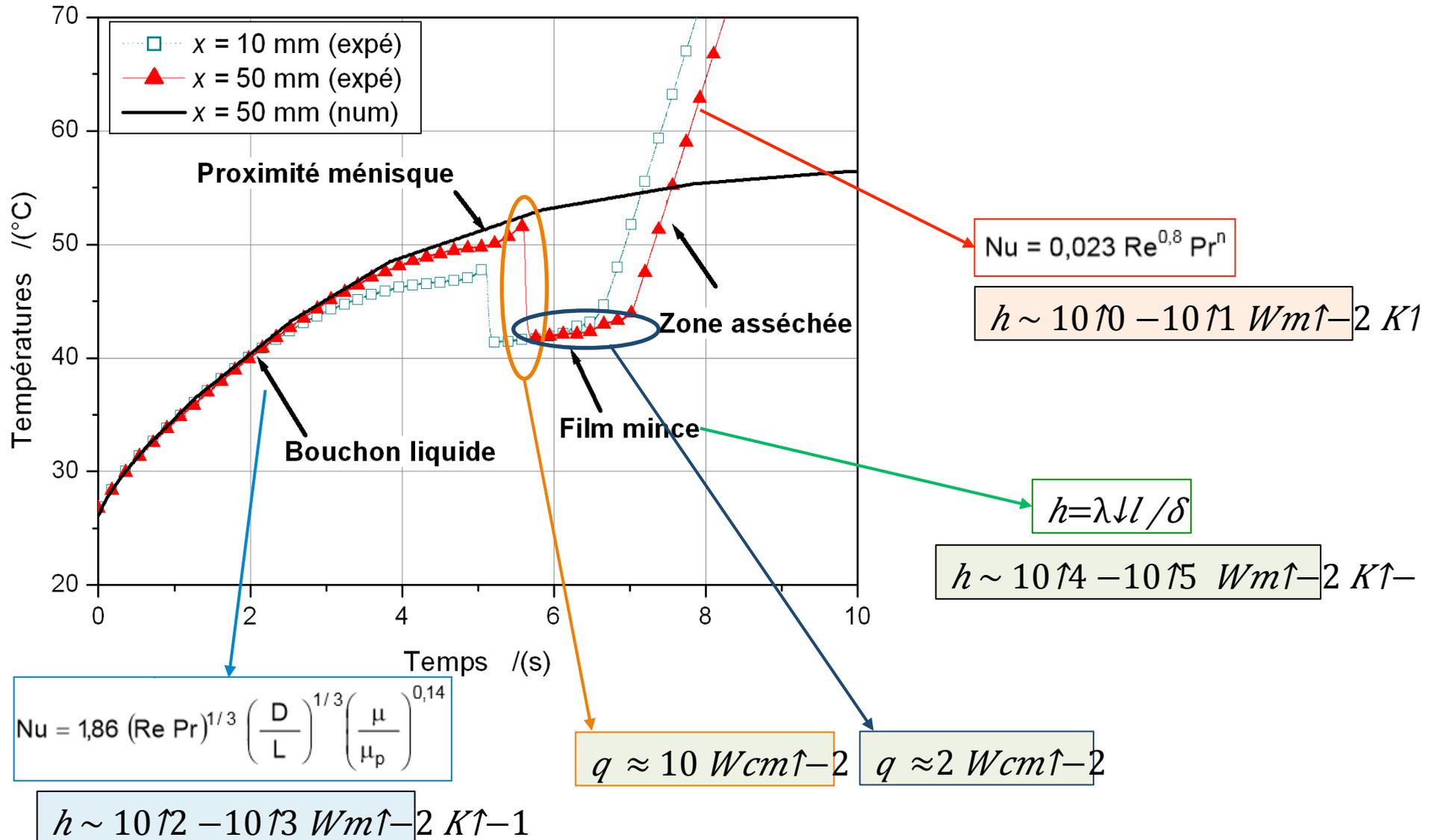
Champs de température (EAU)

Eau : $T_s = 315 \text{ K}$, $v_l = 69 \text{ mm.s}^{-1}$, $I = 80 \text{ A}$

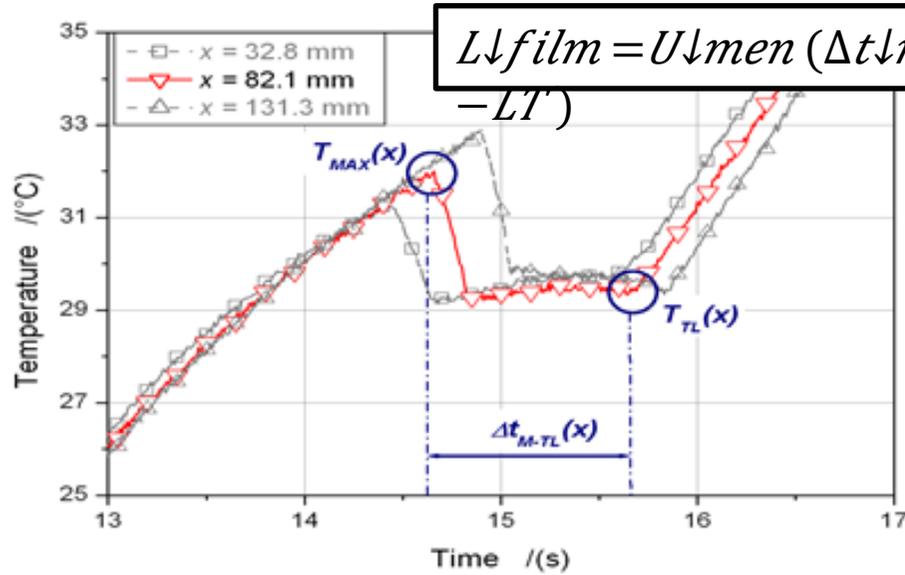


Intensification par dépôt de film mince

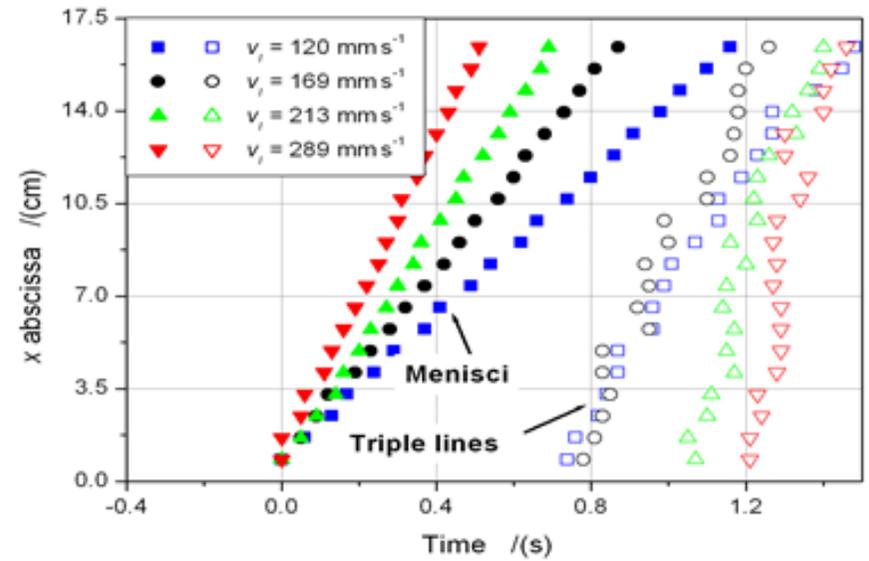
Eau : $T_s = 315 \text{ K}$, $v_l = 69 \text{ mm.s}^{-1}$, $I = 80 \text{ A}$



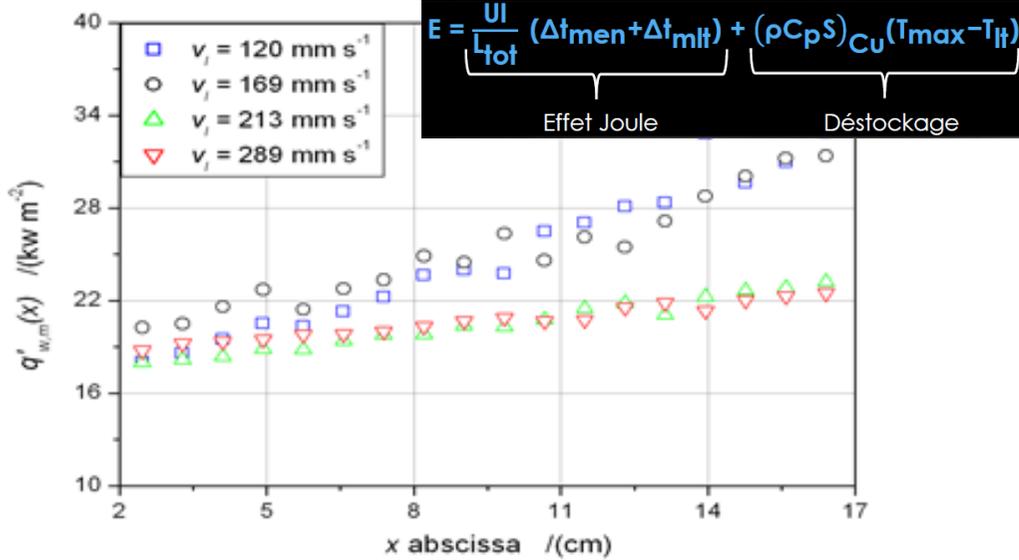
Evaluation de la longueur de film L_{film}



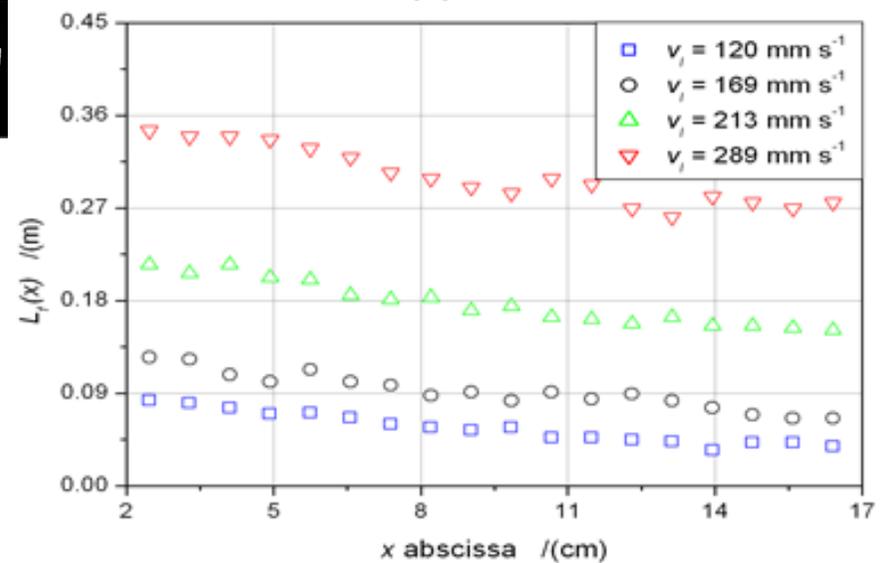
(a)



(b)



(c)



(d)

Bilan sur l'eau : influence de Ca et q'_w sur L_{film} (EAU, $T_s = 315$ K)

$$\rho_{cu} c_{p,cu} \frac{\partial T_p(x,t)}{\partial t} = \lambda_{cu} \frac{\partial^2 T_p(x,t)}{\partial x^2} + \left[q''_w + q'_{pert} \left(\frac{dS_o}{dV} \right) + q'_{fluide} \left(\frac{dS_i}{dV} \right) \right]$$

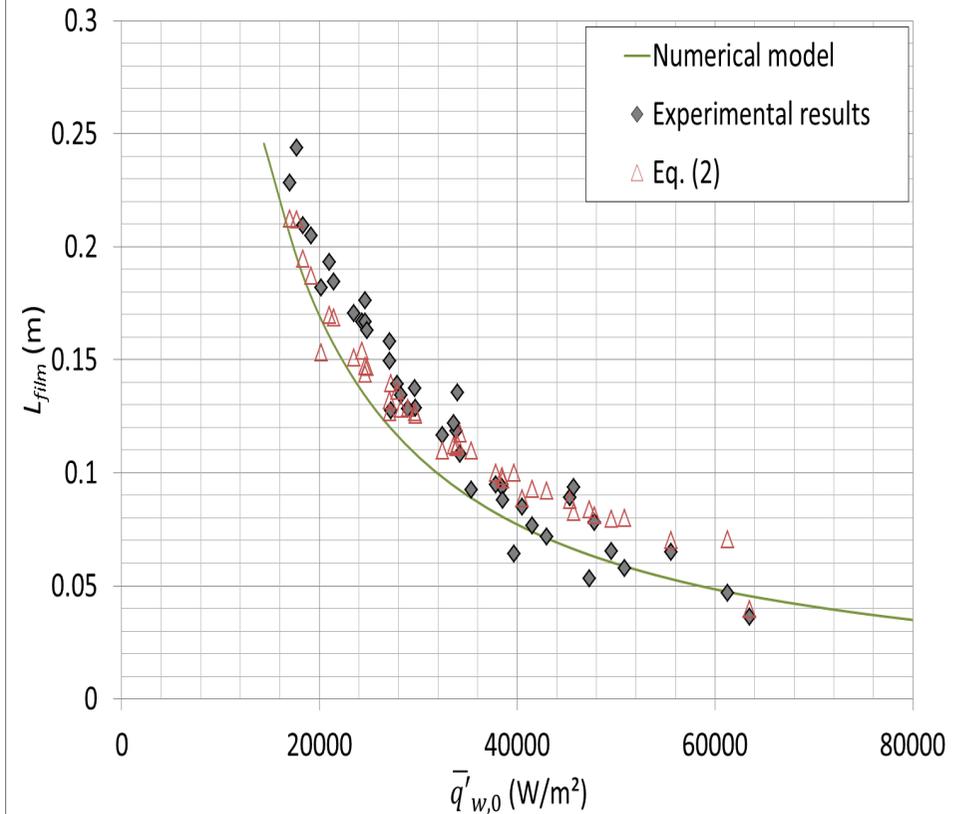
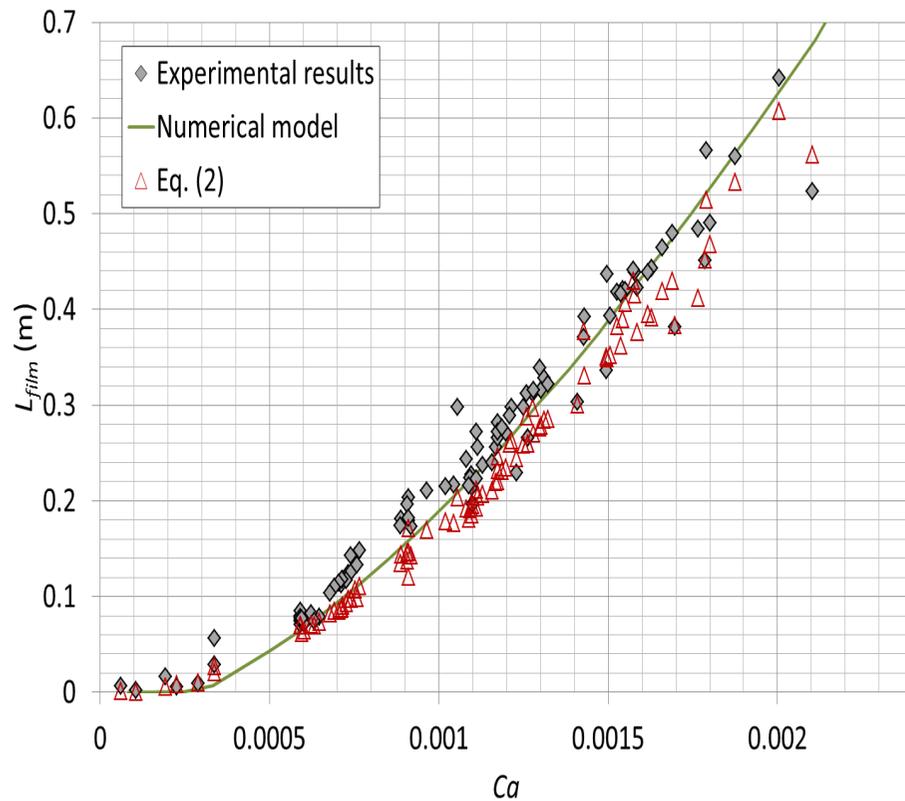
Evaluation de L_{film} au premier ordre :

$$L_{film} \approx \rho l h_{lv} U_{men} / q''_{w,0} \delta_0 (1 - \delta_0)$$

$$\frac{\delta_0}{D_i} = \frac{0.67 Ca^{2/3}}{1 + 3.13 Ca^{2/3} + 0.504 Ca^{0.672} Re^{0.589} - 0.352 We^{0.629}}$$

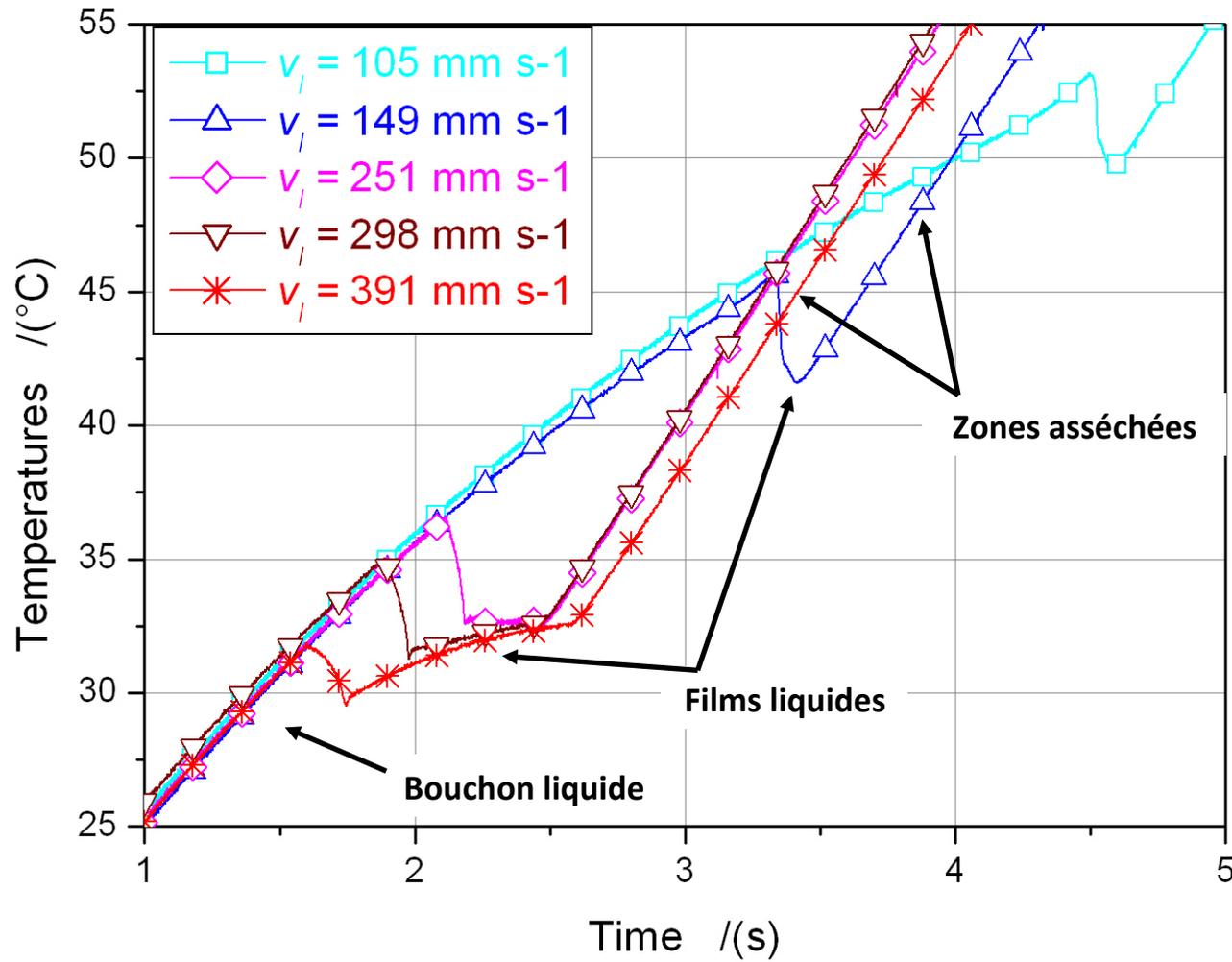
($Re < 2000$)

[Han and Shikazono, IJHFF, 2009]



Essais avec d'autres fluides

N-pentane : $T_s = 300 \text{ K}$, $I = 40 \text{ A}$



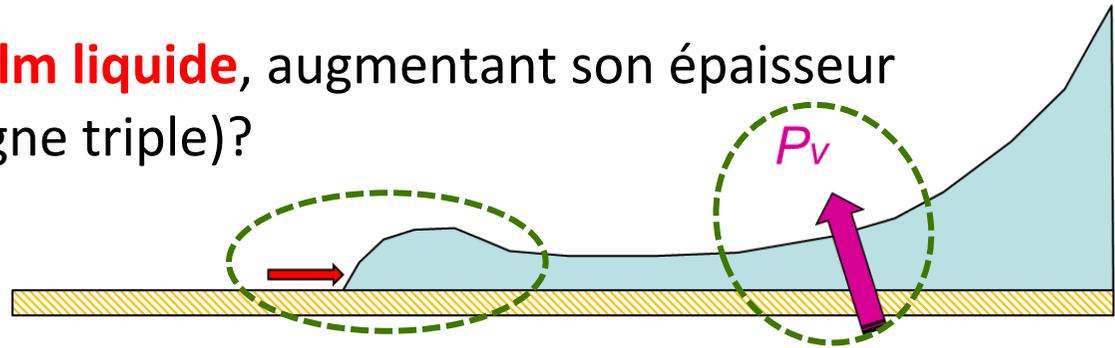
Conclusion partielle

Dans la zone d'évaporation du film mince :

- pour l'**eau** : $T_{tube} \approx T_s$ mais augmente légèrement
- pour le **N-pentane** : augmentation prononcée de T_{tube}

➔ Deux hypothèses à ce comportement :

- **Réalimentation du film liquide**, augmentant son épaisseur (démouillage de la ligne triple)?



- **Et/ou augmentation momentanée de la pression de la vapeur** dans le tube en raison de son évaporation : augmentation associée de la température de saturation ?
- **Effets tridimensionnels** (selon hauteur du tube) ?

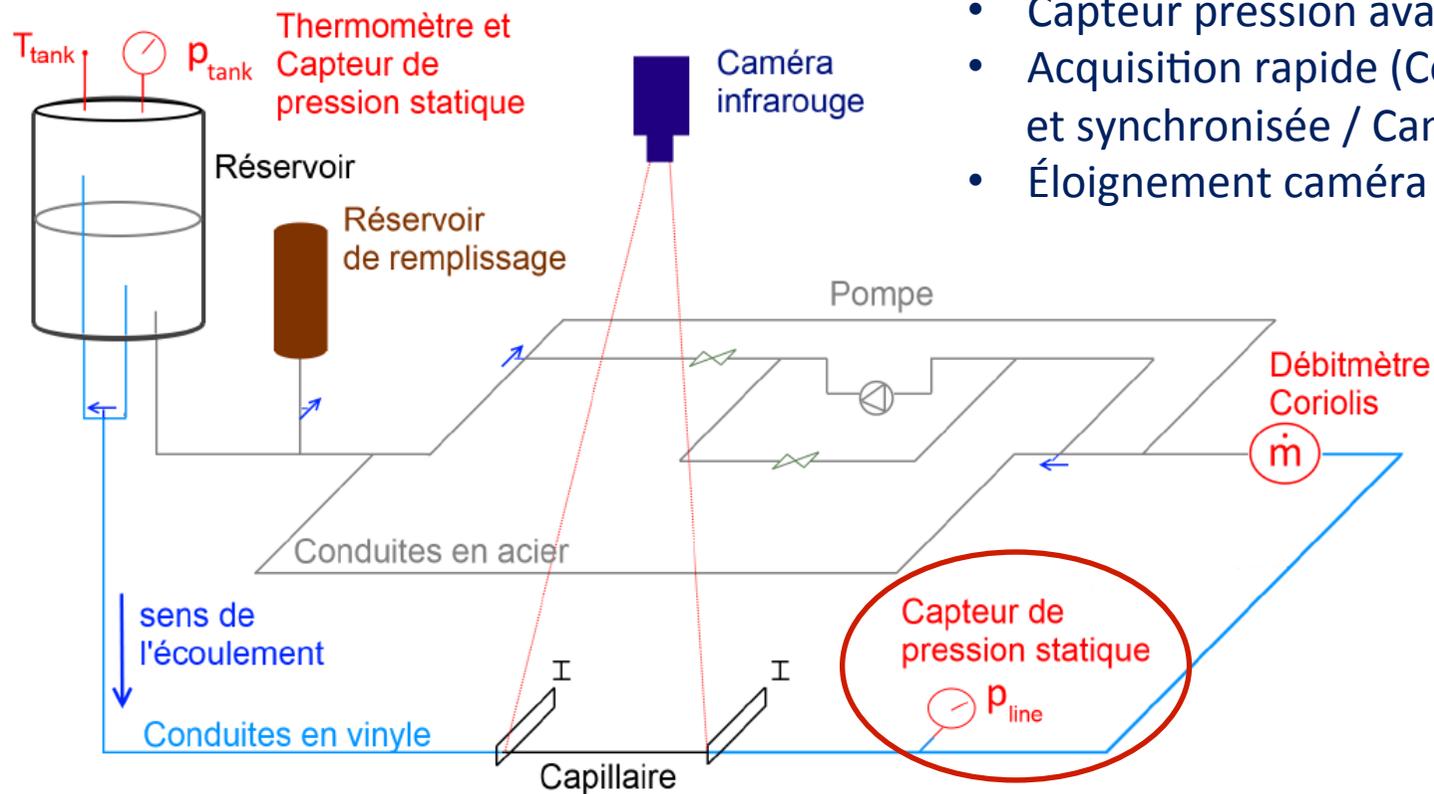
Amélioration du dispositif expérimental

Suite de l'étude avec :

- 8 mois Post-doc de Balkrishna Mehta (co-financé / CS ENSMA) : 2014-1015
- Stage ingénieur Iris Demeyer (été 2015)

Améliorations notables :

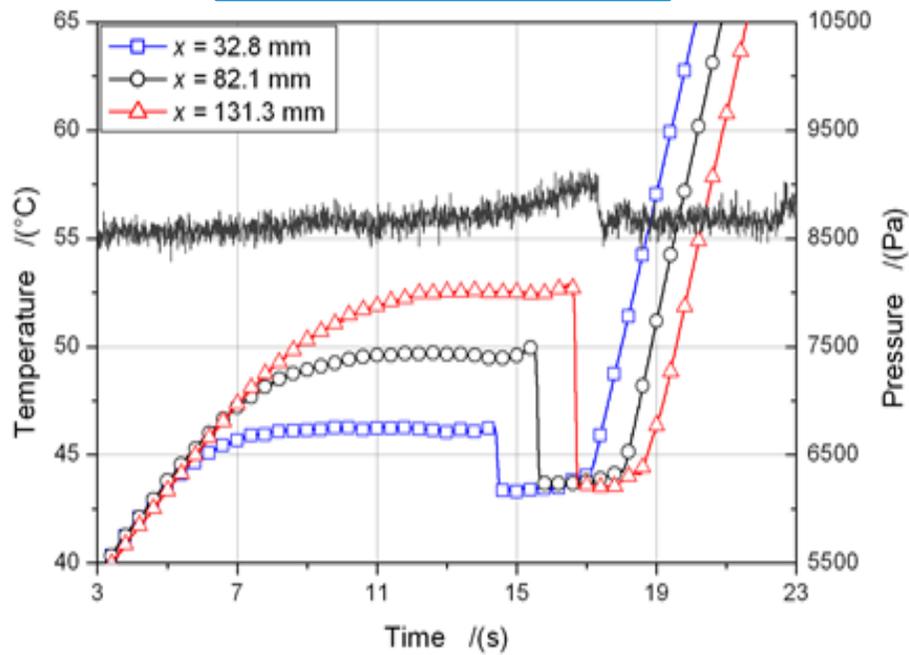
- Capteur pression aval tube
- Acquisition rapide (CompacRio) et synchronisée / Caméra IR
- Éloignement caméra / tube



Retour sur l'eau

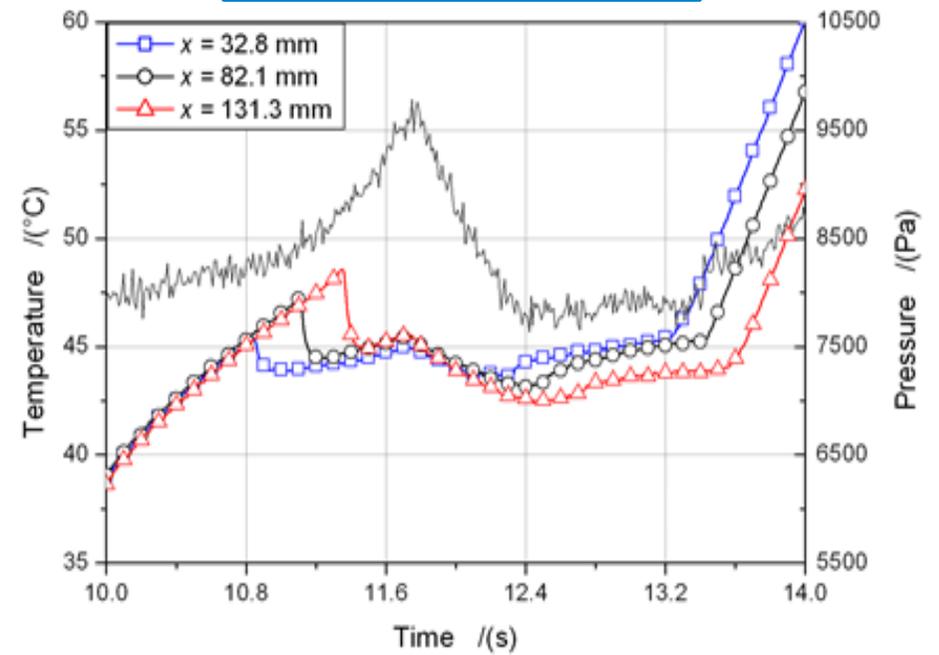
Eau : $T_s = 315$ K

$v_l = 45$ mm.s⁻¹, $I = 40$ A



(a)

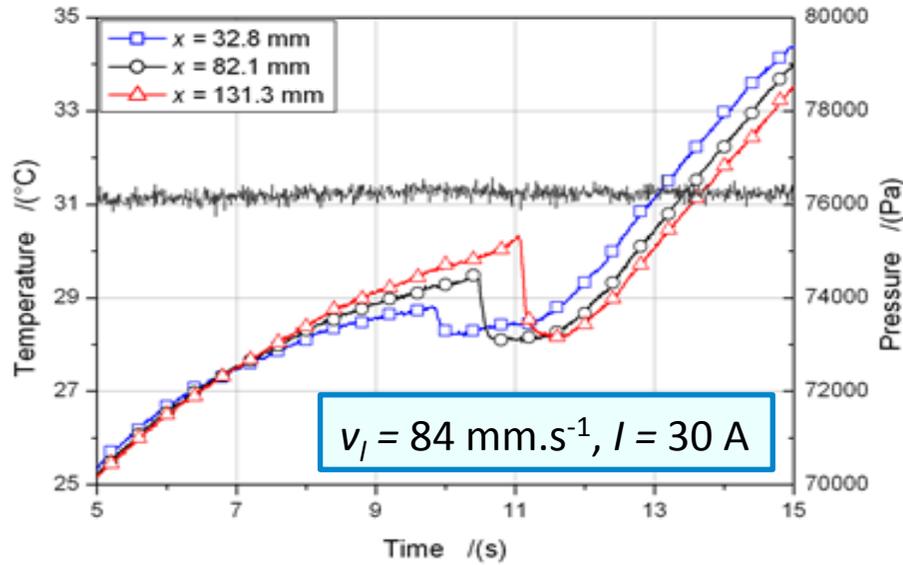
$v_l = 174$ mm.s⁻¹, $I = 80$ A



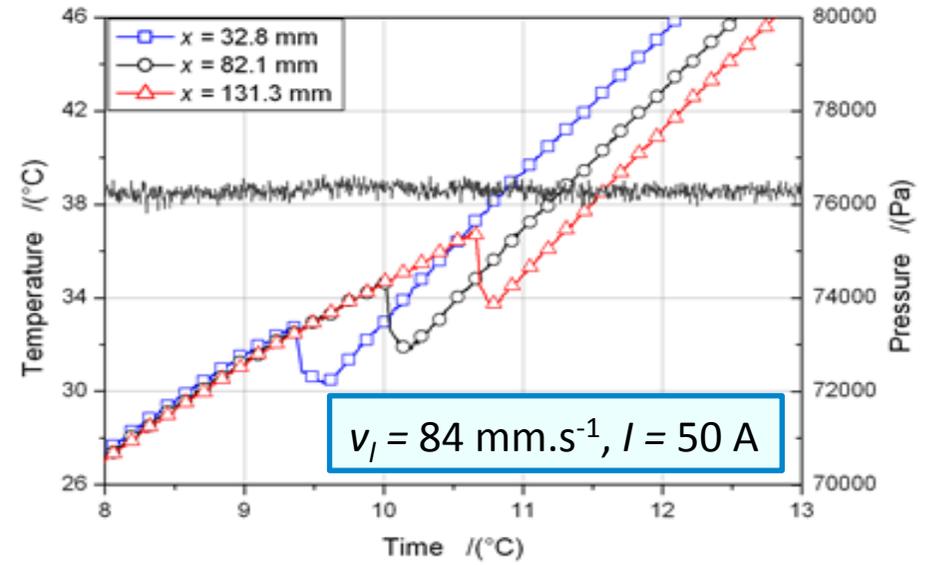
(b)

Résultats avec le N-pentane

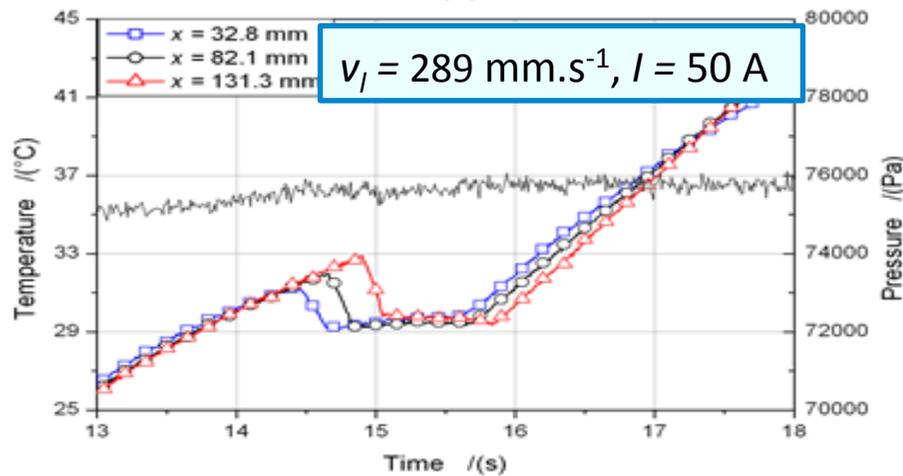
Pentane : $T_s = 300$ K



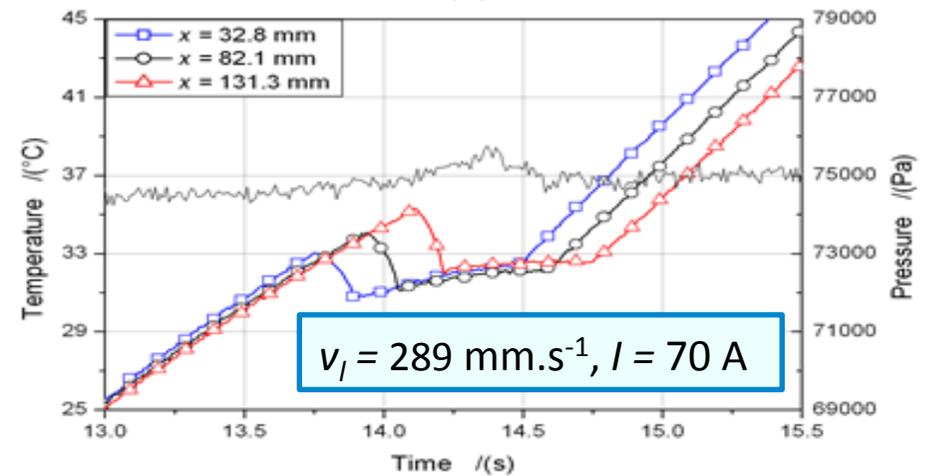
(a)



(b)



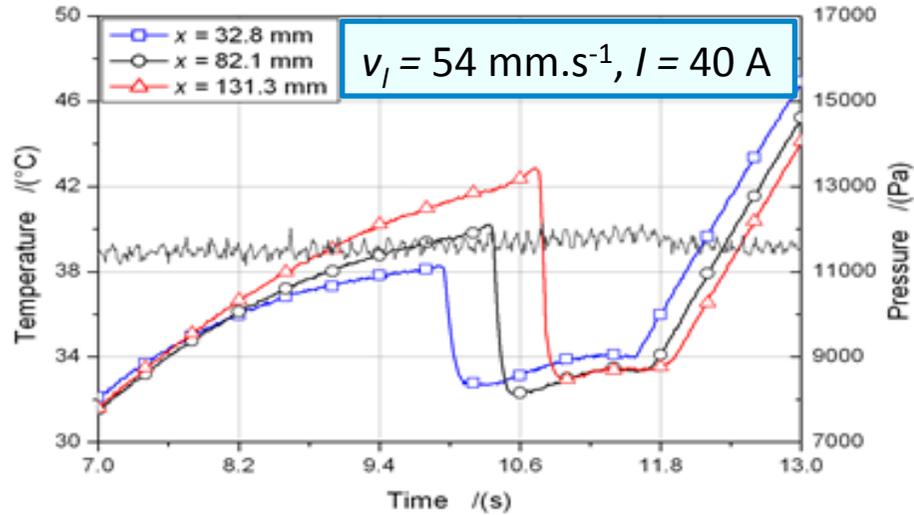
(c)



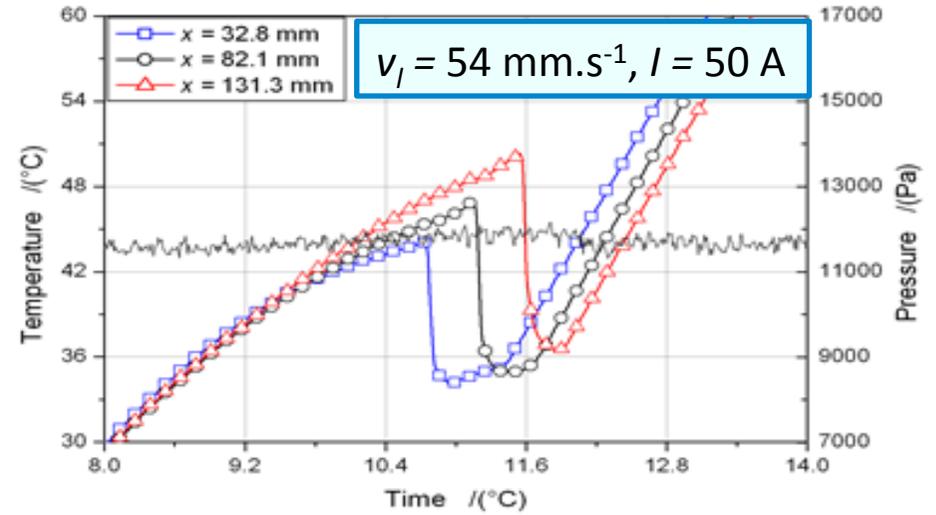
(d)

Résultats avec l'éthanol

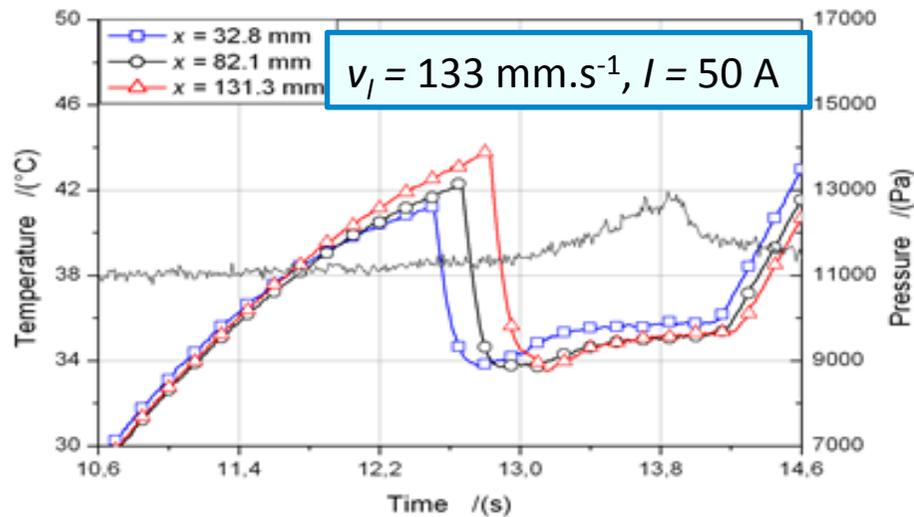
Éthanol : $T_s = 300$ K



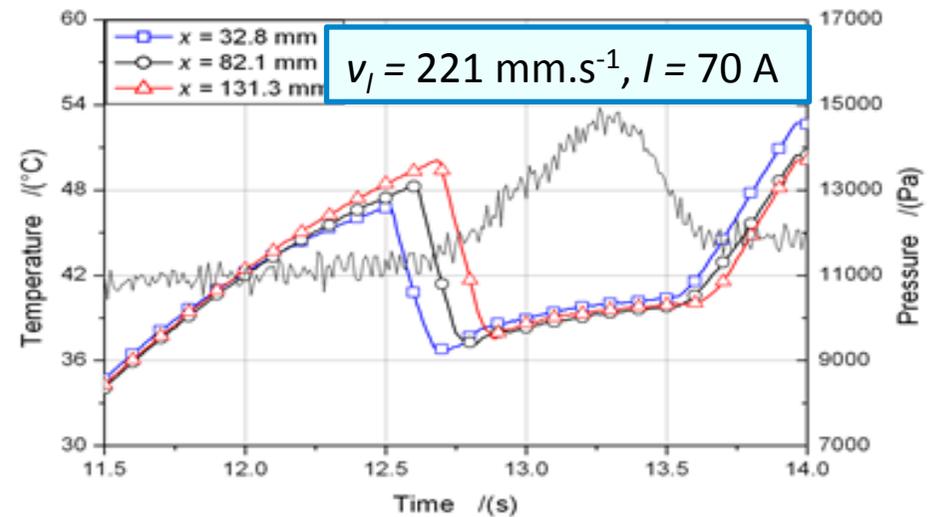
(a)



(b)



(c)



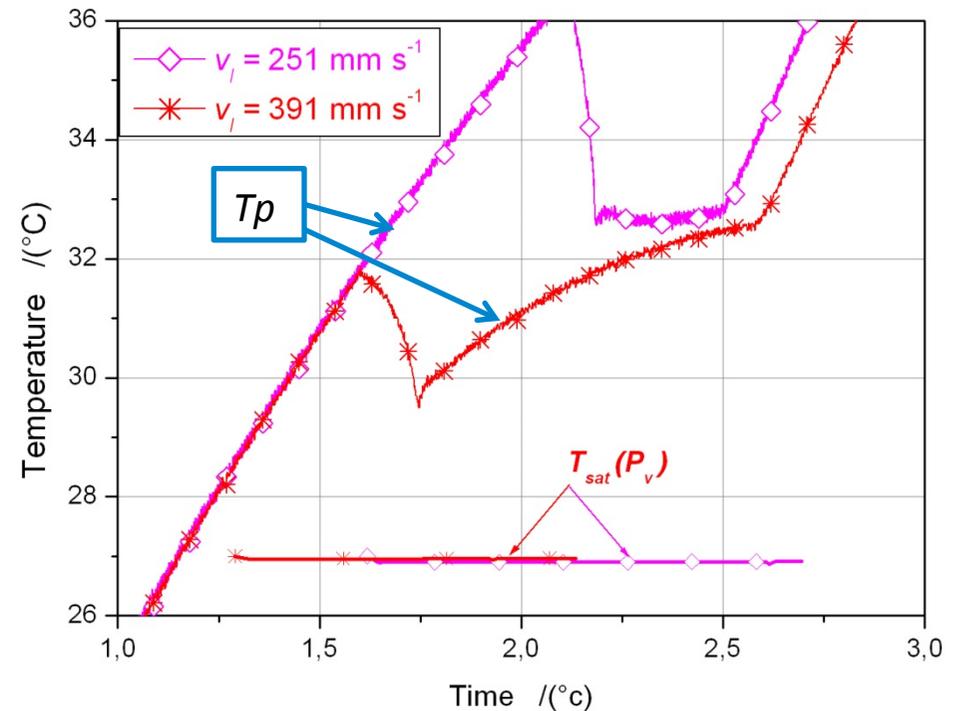
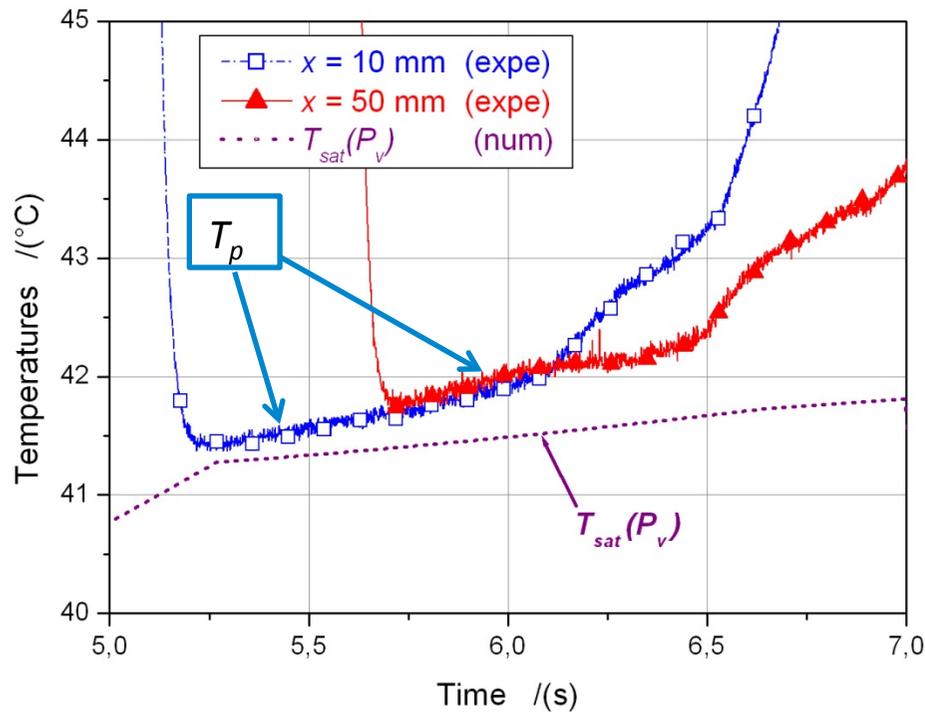
(d)

Bilan sur les mesures de pression

Effet sur la température de saturation (notamment pour l'eau et l'éthanol)

Eau : $T_s = 315 \text{ K}$, $v_l = 69 \text{ mm.s}^{-1}$, $I = 80 \text{ A}$

Pentane : $T_s = 300 \text{ K}$, $I = 40 \text{ A}$



Bilan sur les mesures de pression

Conservation de quantité de mouvement :

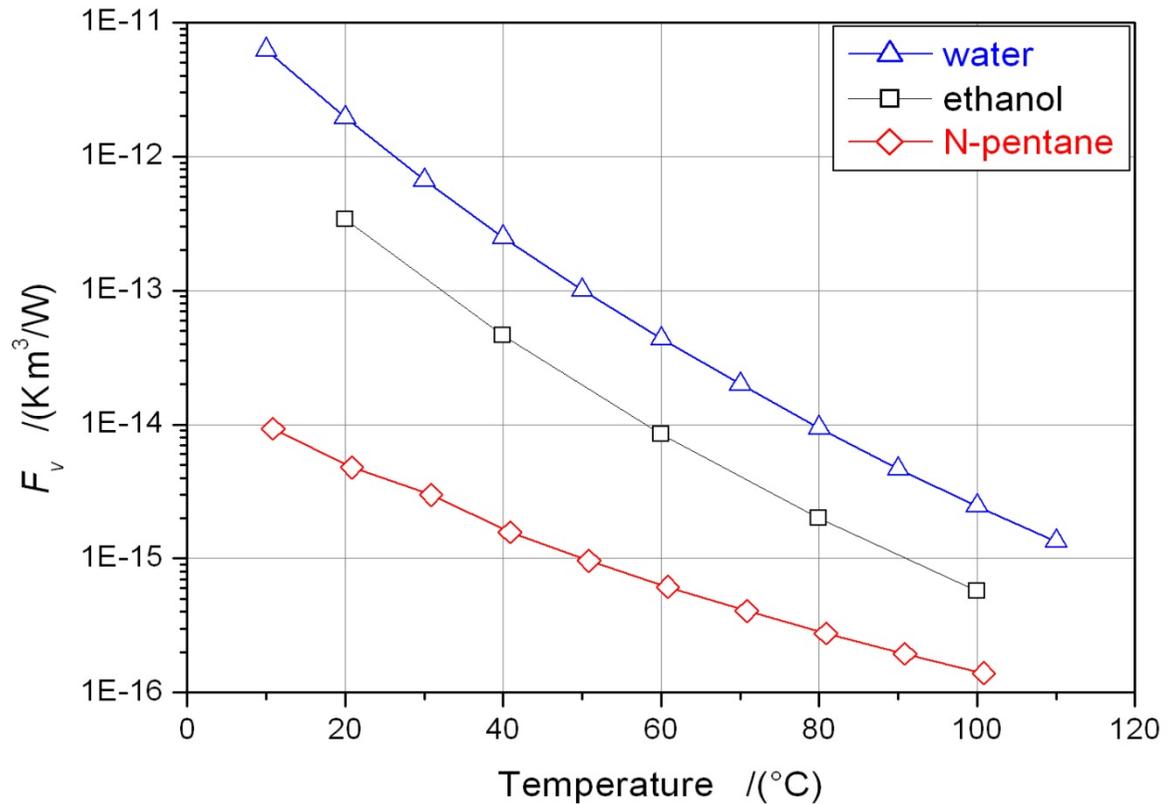
TANK

$$\partial(\rho v)_i / \partial t = -\partial P_i / \partial x + \tau_i$$

$$F_v = \frac{(\partial T / \partial P)_{sat} \mu_v}{h_{lv} \rho_v}$$

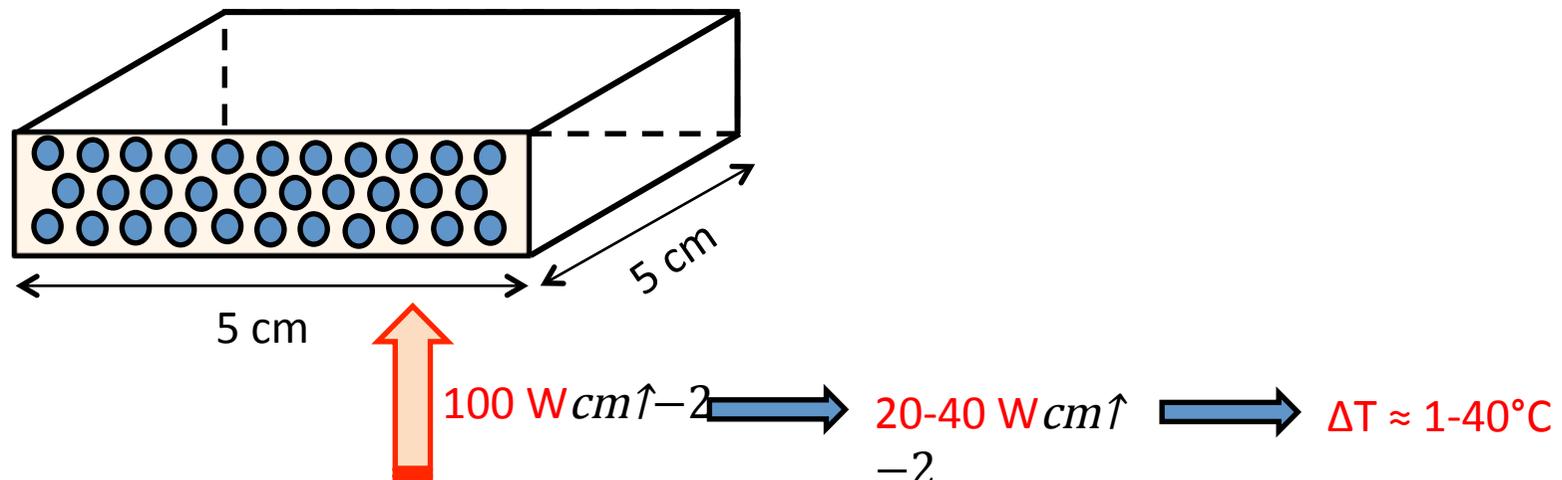
Génération de masse

Pertes visqueuses



Conclusions / Perspectives

- Tests effectués pour trois fluides (eau, éthanol, N-pentane)
- Nette amélioration des transferts en présence d'évaporation en film



- Modélisation 2D / écoulement pariétal : effet tridimensionnel ?
- Effet de la mouillabilité : démouillage de la ligne triple ?

Journée SFT « *Effets de la mouillabilité sur les transferts avec changement de phase liquide/vapeur* », espace Hamelin, Paris, 13 Octobre 2016.