

« Etude numérique et expérimentale des échanges de chaleur par ébullition dans un système de refroidissement à eau »

Journée thématique SFT

Intensification des transferts par
changement de phase liquide-vapeur

Paris, le 10 mars 2016

Gwenc'hlan TYMEN



UN

UNIVERSITÉ DE NANTES



bpi france



GEPEA

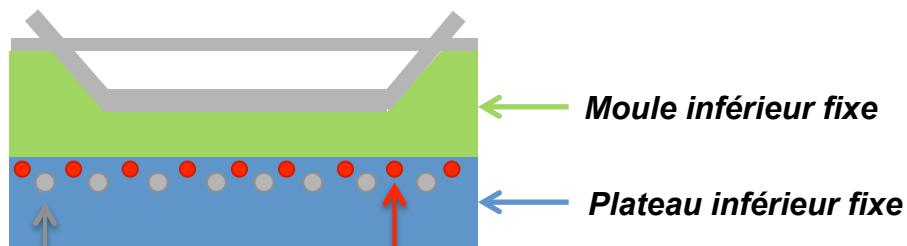
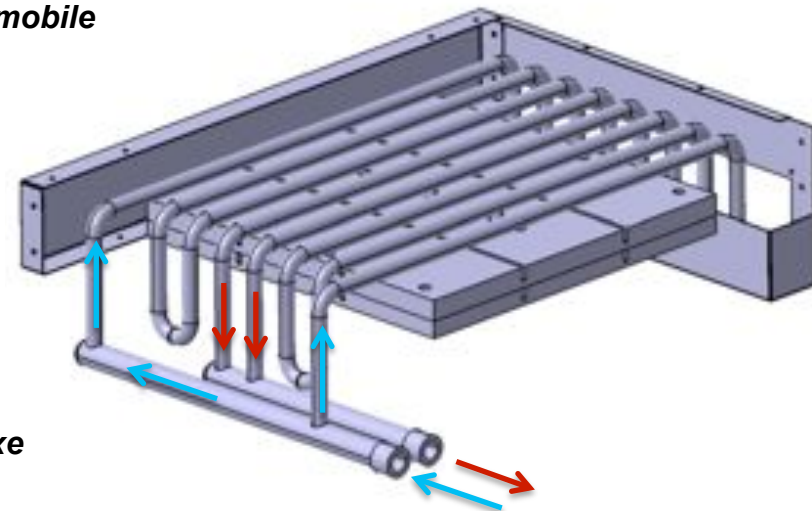
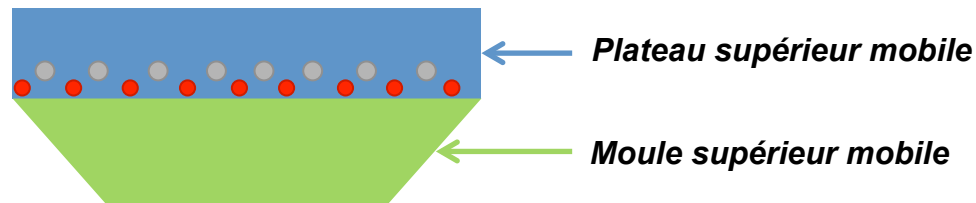


PEI
Pinette Emidecau Industries
ENGINEERING & MACHINERY

Problématique industrielle

Principe des presses à compression

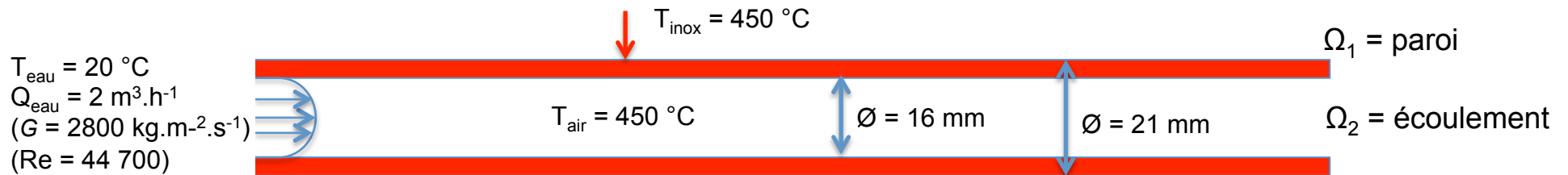
Permettent la mise en œuvre de matériaux composites



- La maîtrise des températures conditionne la qualité des pièces produites
- Actuellement les presses à compression sont chauffées à 150°C par des parties (20 → 450 °C) forte hétérogénéité lors des cycles de refroidissement (± 80°C ; ébullition)

Problématique scientifique

Etude du changement de phase eau-vapeur dans un canal horizontal en inox chauffé à 450 °C

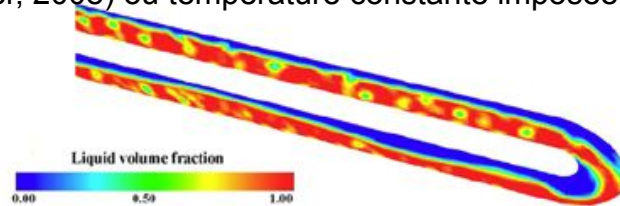
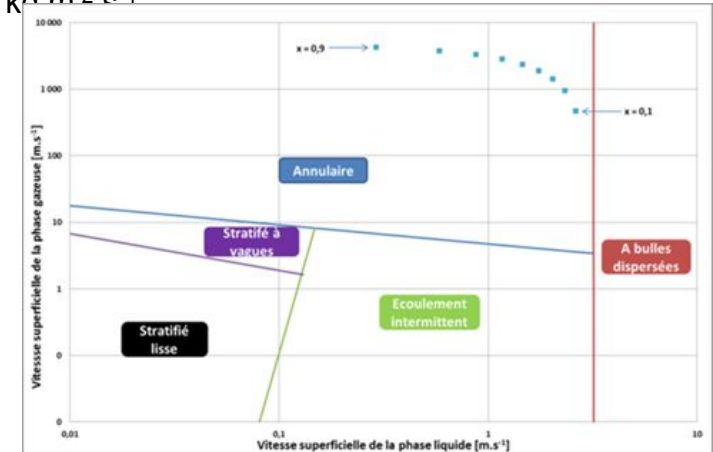


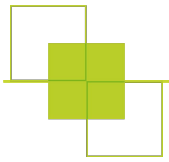
- Corrélations développées pour déterminer h , appliquées à l'eau : Shah (1976), Kandlikar (1990), Gungor (1986)

$$\varnothing = 11,8 \text{ mm} ; \dot{q} = [157 ; 790] \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} ; G = \rho \times V = [340 ; 1384] \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

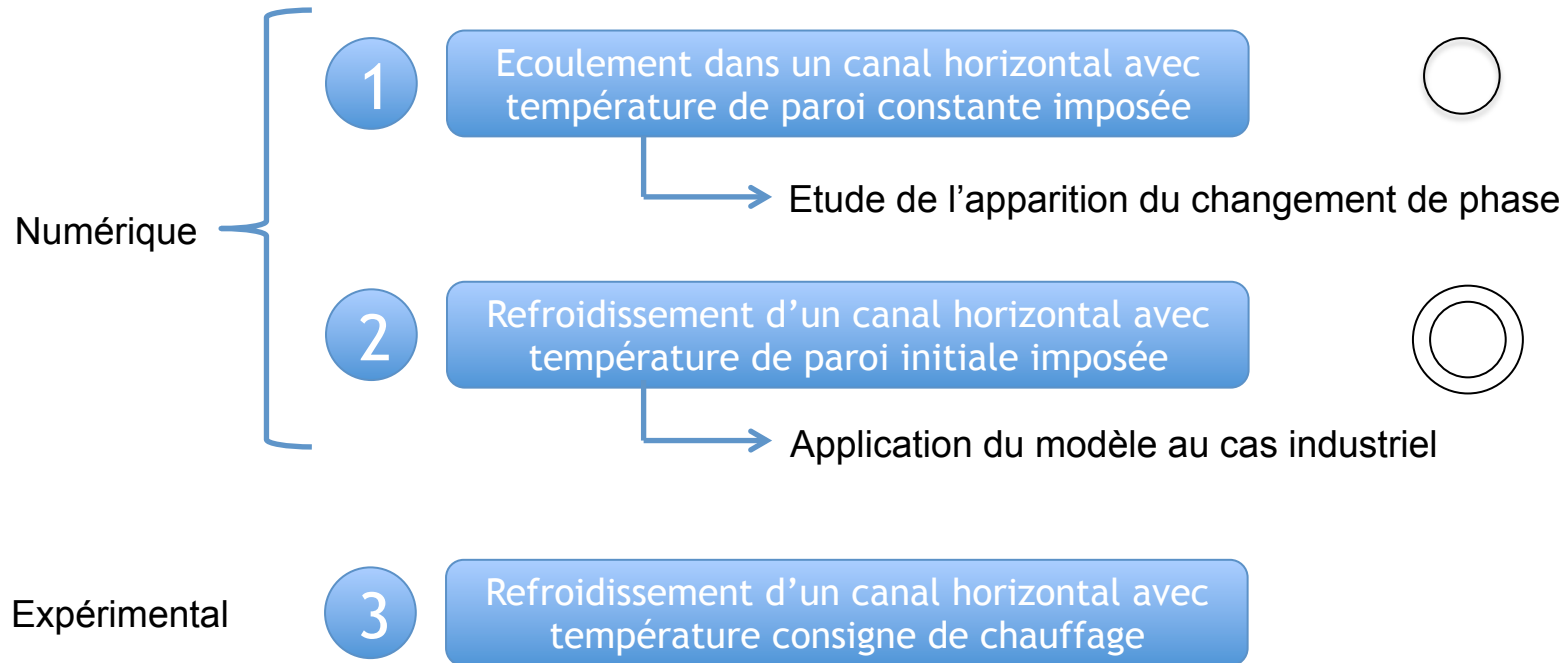
- Développement de cartographie permettant de prédire le régime d'écoulement (Weisman, 1979)

- Depuis le début des années 90, les études se concentrent plus sur les μ -canaux et les fluides frigorigènes
 - Corrélations : Mahmoud (2013) en fait une synthèse
 - Numériquement : études de cas où les parois sont à flux constant imposé (De Schepper, 2008) ou température constante imposée (LiLi, 2012)





Stratégie scientifique



Modélisation physique

Modèle multiphasique
Volume Of Fluid

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_l v \rho_l v)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_l v \rho_l v) + \nabla \cdot (\rho_l v v) = -\nabla p$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_l v \rho_l v) + \nabla \cdot (\rho_l v T) + \rho g + F$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_l v \rho_l v) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T)$$

Modèle de turbulence (Re ≈ 44 000)
k-ε standard

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \epsilon$$

$$P_k = \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho g \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + C_{1k} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + C_{2k} \frac{\rho \epsilon^2}{k} + S_k \epsilon$$

Conditions de simulations

Pas de temps : 0,01 s

Itérations max par pas de temps : 100

Effets de la gravité pris en compte

Modèle de changement de phase
Lee

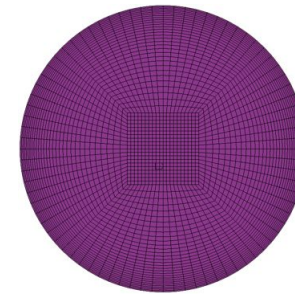
$$m_{lv} = \gamma_l \alpha_l \rho_l T - \dot{m}$$

$$m_{vl} = \gamma_v \alpha_v \rho_v T - \dot{m}$$

Avec $\gamma_l = \gamma_v = 0,1$ et $T_{sat} = 37$

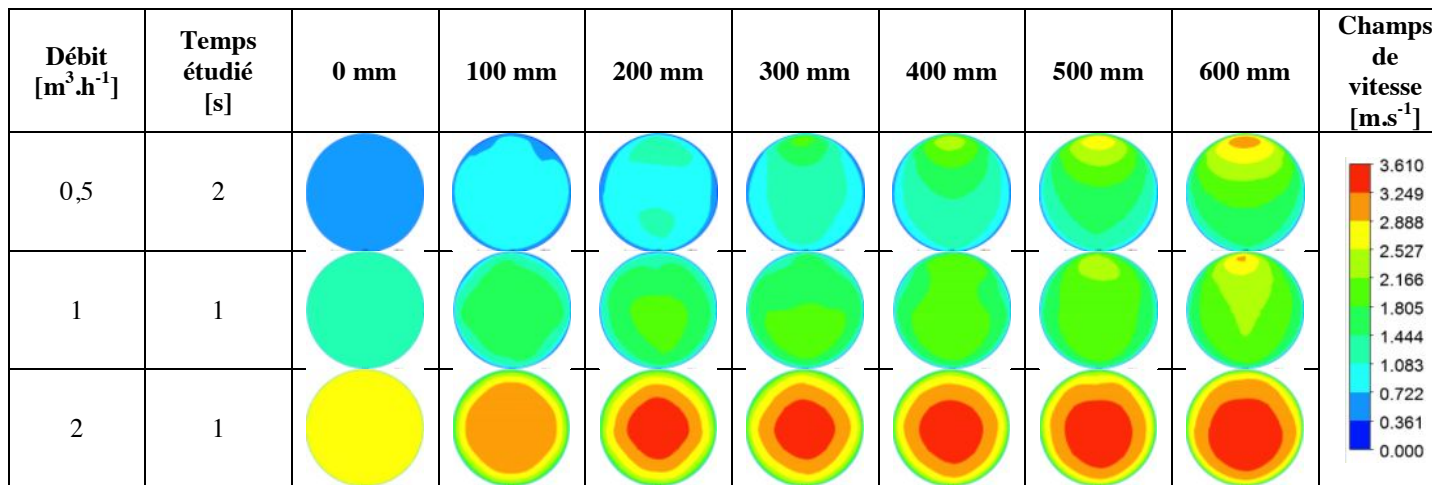
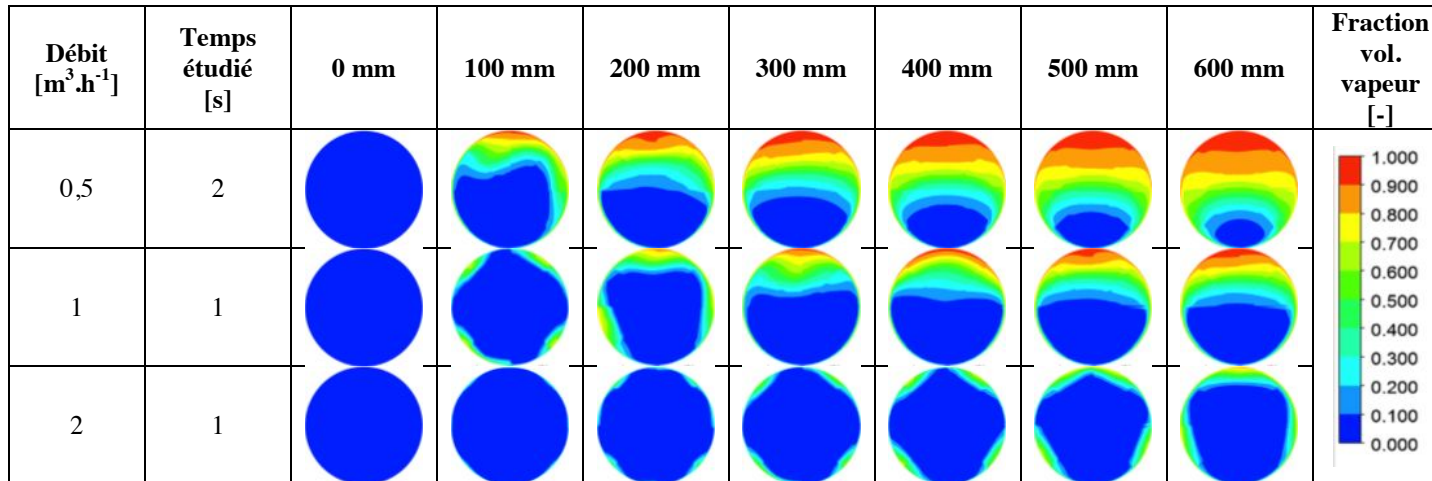
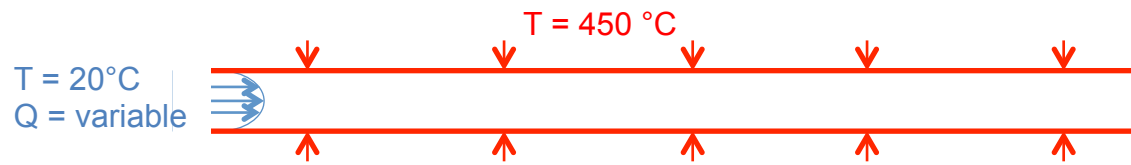
Critères de convergence

- Equation de continuité : 10^{-3}
- Equation champs de vitesse : 10^{-3}
- Paramètres de turbulence : 10^{-3}
- Equation fraction volumique : 10^{-3}
- Equation de l'énergie : 10^{-6}



Maillage retenu

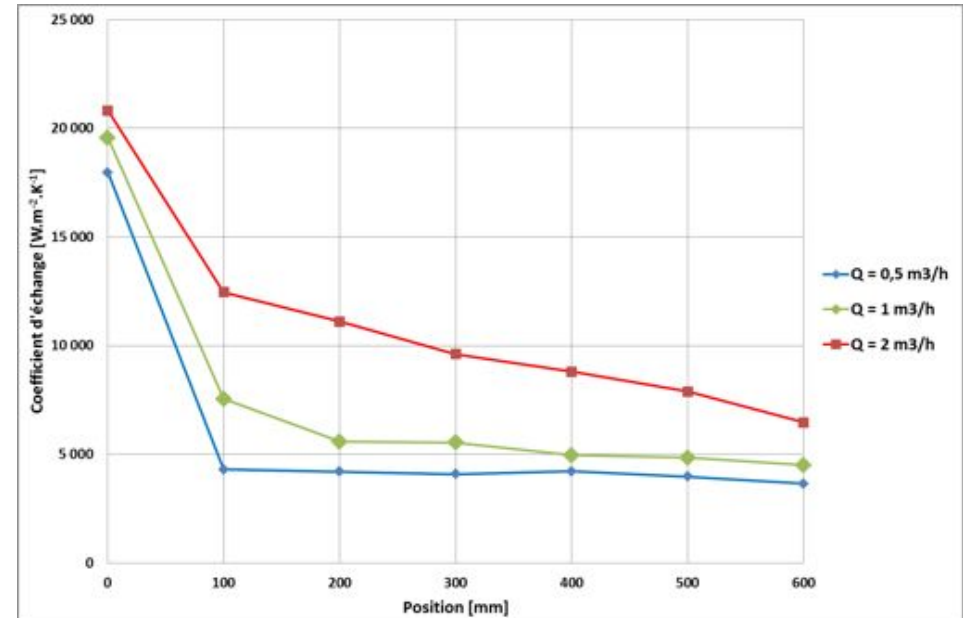
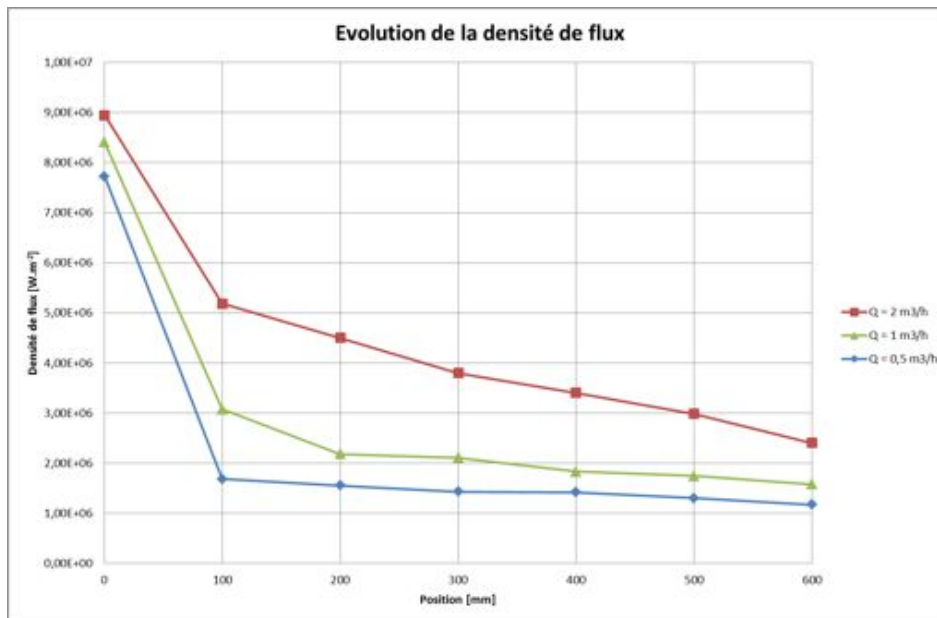
Ecoulement horizontal avec $T_{\text{paroi}} = \text{constante} = 450^\circ\text{C}$



Ecoulement horizontal avec $T_{\text{paroi}} = \text{constante} = 450^\circ\text{C}$

Température de paroi constante imposée : 450°C

→ Etude de l'influence de la vitesse d'entrée sur l'évolution de la densité de flux et température de mélange



Rappel

Domaine de validité des corrélations de la littérature :

→ $[1,57 \cdot 10^5 ; 7,90 \cdot 10^5] \text{ W.m}^{-2}$

$$T_{\text{mélange}} \downarrow = \int \uparrow V \times T$$

$$h = q / T_{\text{p}} - T_{\text{mélange}}$$

Ecoulement horizontal avec

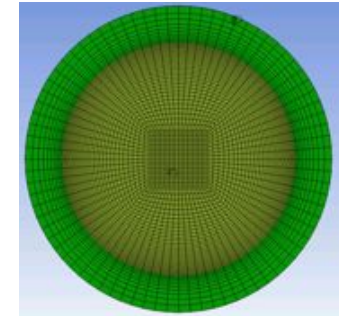
$$T_{\text{paroi_initiale}} = 450 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

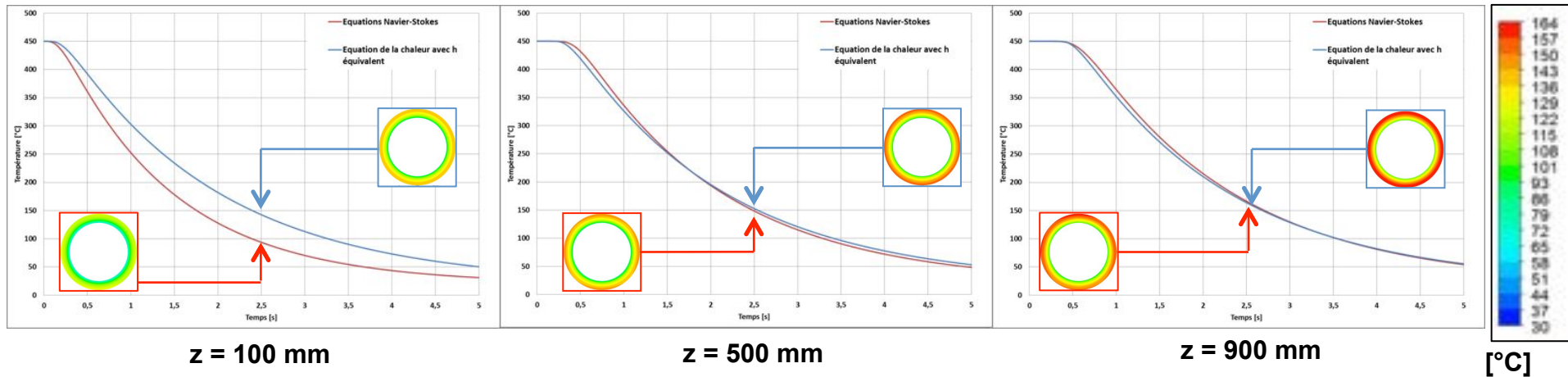
$$Q = 2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$T_{\text{initiale}} = 450 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h = f(t, z)$$



Maillage retenu

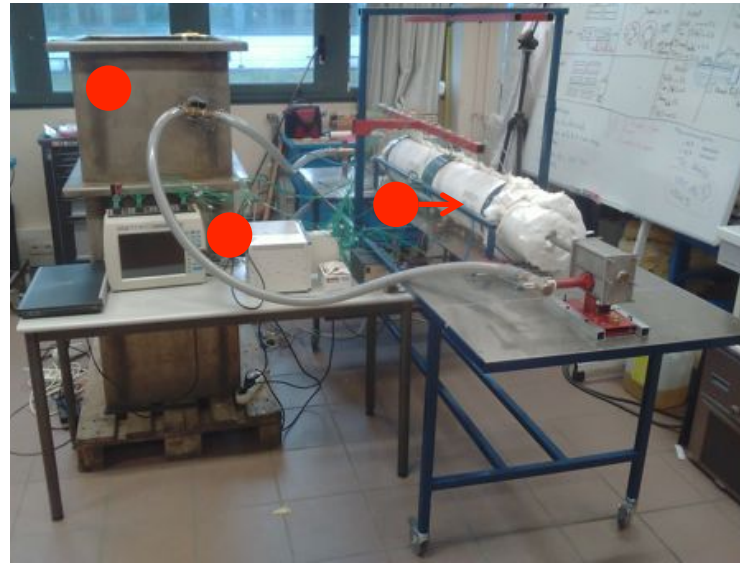
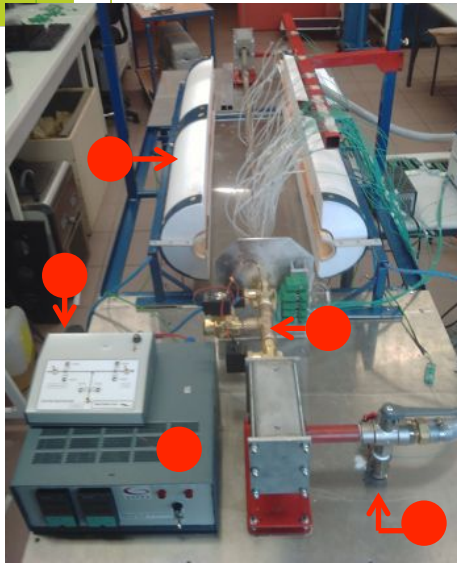


L'écart entre les deux modèles tend à diminuer le long du canal et au cours du temps
 Faible masse d'inox : l'influence de la vapeur sur la thermique est limitée

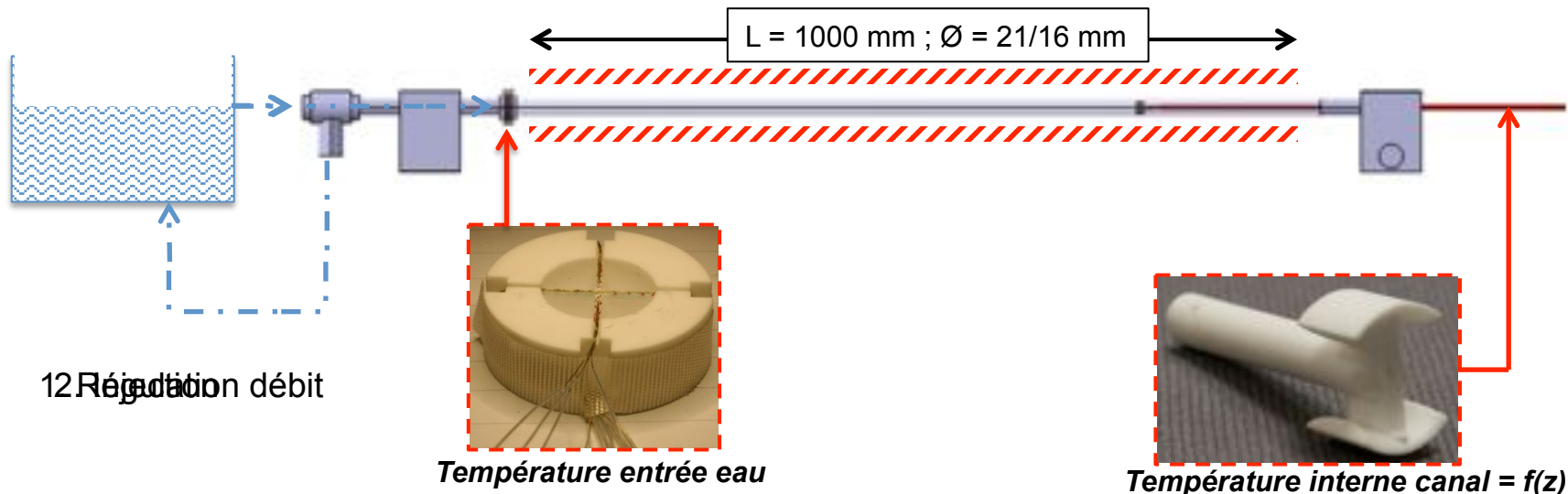


Modèles à valider par les essais expérimentaux

Développement d'un banc expérimental



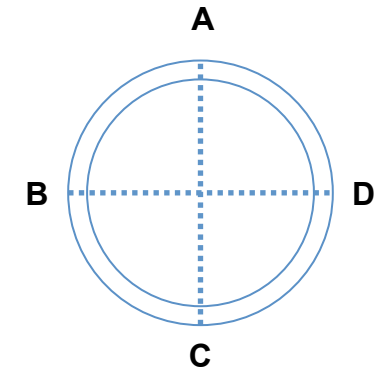
- Arrivée d'eau
- Régulation du chauffage
- Contrôle des électrovannes
- Electrovanes
- Eléments chauffants IR
- Réservoir d'eau
- Acquisition



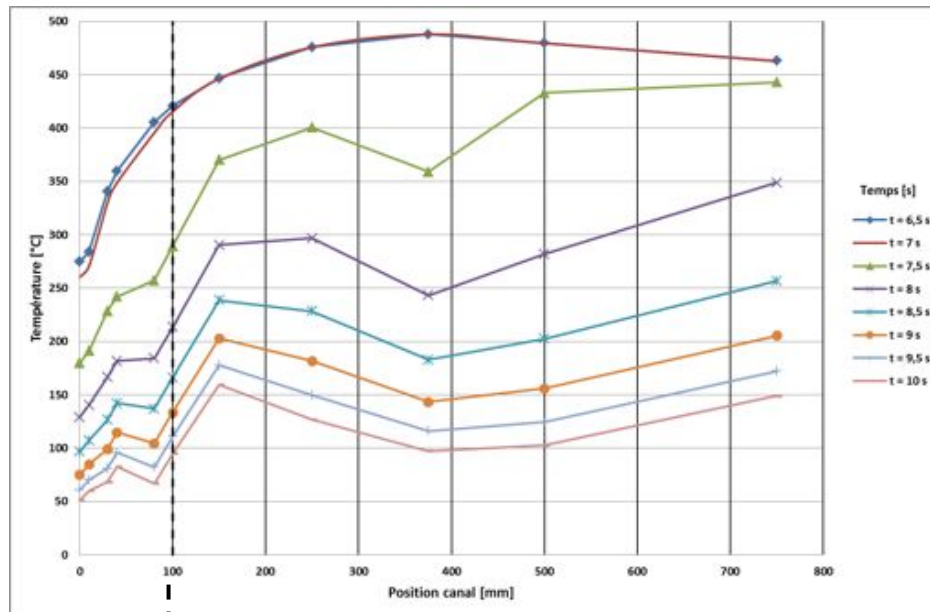
Résultats expérimentaux

Premiers essais réalisés :

- Chauffage (consigne 450 °C)
- Refroidissement avec maintien de la chauffe
- Relevé des températures - $f_{\text{acquisition}} = 90 \text{ Hz}$
- Etude de l'influence du débit de refroidissement

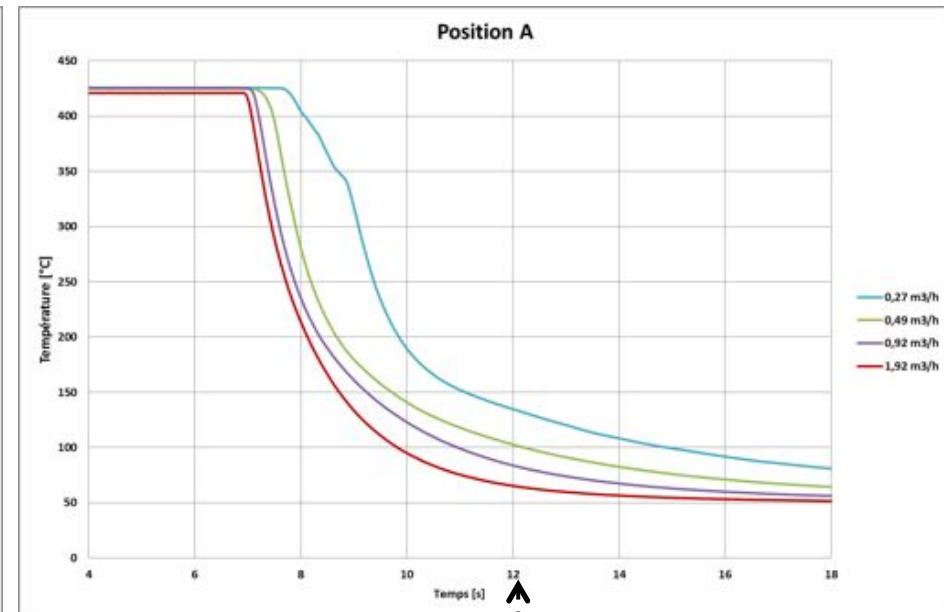


Evolution du profil de température en position A le long du canal – Pour $Q = 1,92 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$



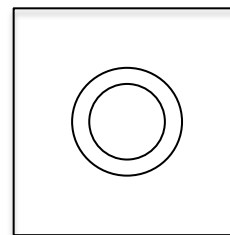
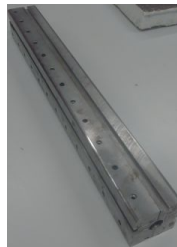
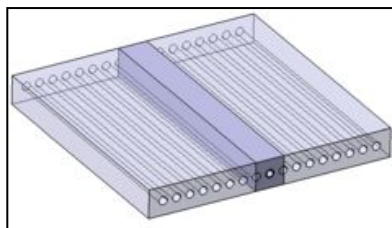
A z = 100m

Influence du débit sur l'évolution De la température de refroidissement



Conclusion et perspectives

- Problème d'homogénéité de refroidissement lors de la mise en œuvre composites
 - Etude numérique
 - Etude expérimentale
- Corréler les simulations numériques avec les essais expérimentaux dans le cas du canal horizontal
 - Prendre en compte la thermo-dépendance des matériaux dans le modèle numérique
- Evoluer numériquement/expérimentalement vers un système plus proche de la réalité industrielle : canal inséré dans une enveloppe d'acier



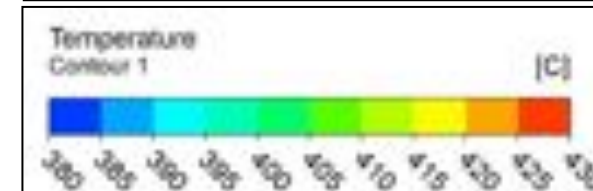
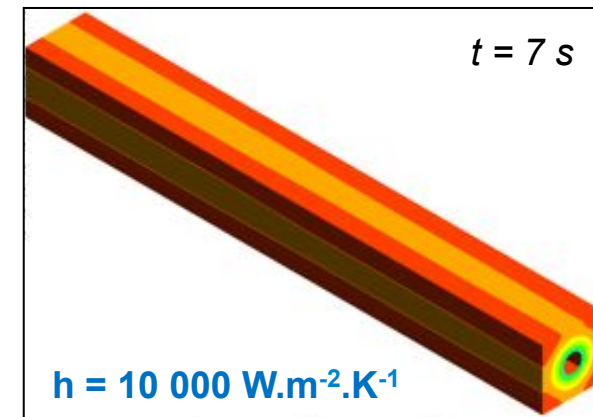
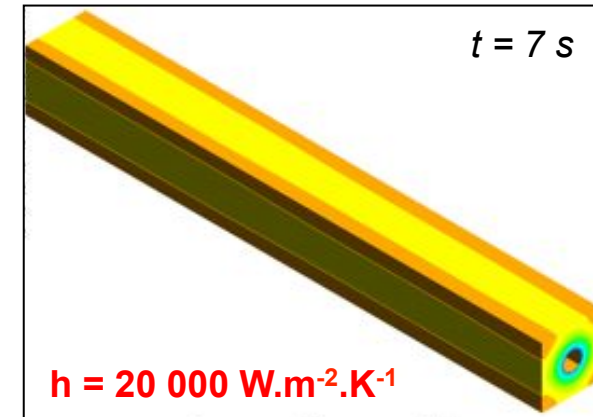
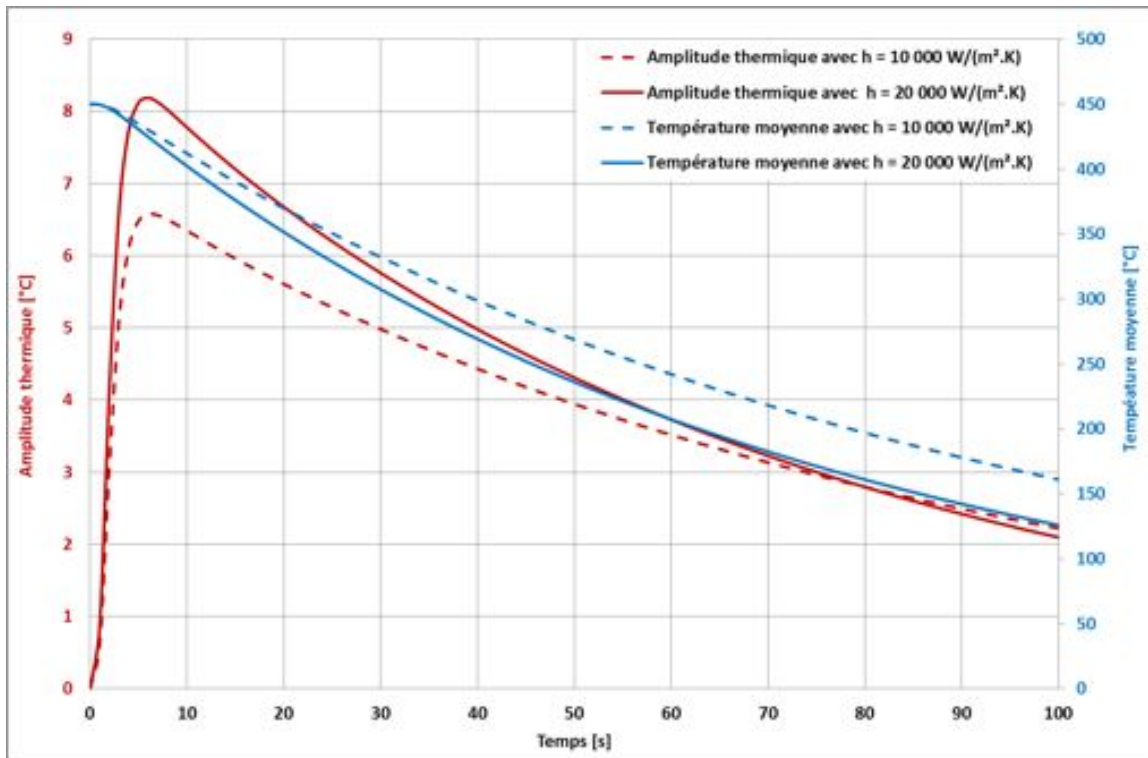
- Remplacer l'eau actuelle par un fluide à haut point d'ébullition

Annexes



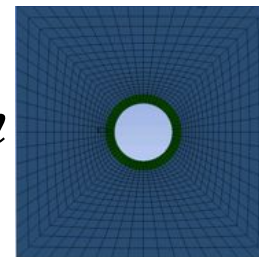
Canal inséré dans une enveloppe d'acier : refroidissement d'un segment de plateau

Evolution de la thermique sur la face supérieure de l'élément



$$\Delta T \downarrow max \equiv T \downarrow max - T \downarrow min$$

Calcul de l'amplitude thermique





3

Canal inséré dans enveloppe d'acier : refroidissement d'un segment de plateau

→ Extension vers le plateau réel

