

Caractérisation thermique d'un échangeur de chaleur à contre-courant avec condensation.

Clemente Ibarra Castanedo et Daniel R. Rousse



25 Mai 1999

Plan de la présentation

- ✦ *Introduction*
- ✦ *“Projet Échangeur”*
- ✦ *Objectifs*
- ✦ *Dispositif Expérimental*
- ✦ *Résultats*
- ✦ *Conclusions et perspectives*



Introduction

- 📁 Gestion de l'humidité dans le serres
 - ↳ Méthode conventionnelle : Chauffage/ventilation
 - ↳ Échangeurs de chaleur air-air



- 📁 “Projet Échangeur”

- ↳ CIDES, *Centre d'Information et Développement en Serriculture*
- ↳ MAPAQ, *Minist. de l'Agric., des Pêches et de l'Aliment. du QC.*
- ↳ Université Laval, *Groupe de Recherche en Énergie.*

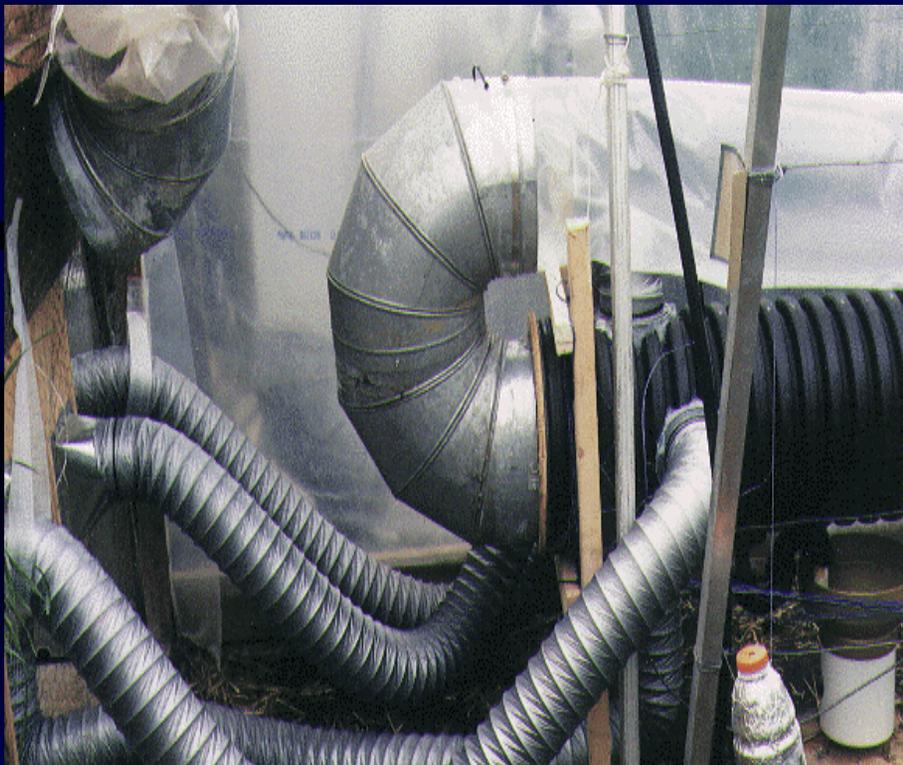
“Projet Échangeur”

Objectifs et contraintes de design

- ↳ Coût < \$2000; PRI de 3 ans;
- ↳ Faciliter l'assemblage;
- ↳ Restreindre les entretiens et les réparations;
- ↳ Assurer la résistance à la corrosion;
- ↳ Permettre de bonnes performances en présence de givre.

“Projet Échangeur”

- ✦ Un premier prototype, 1996



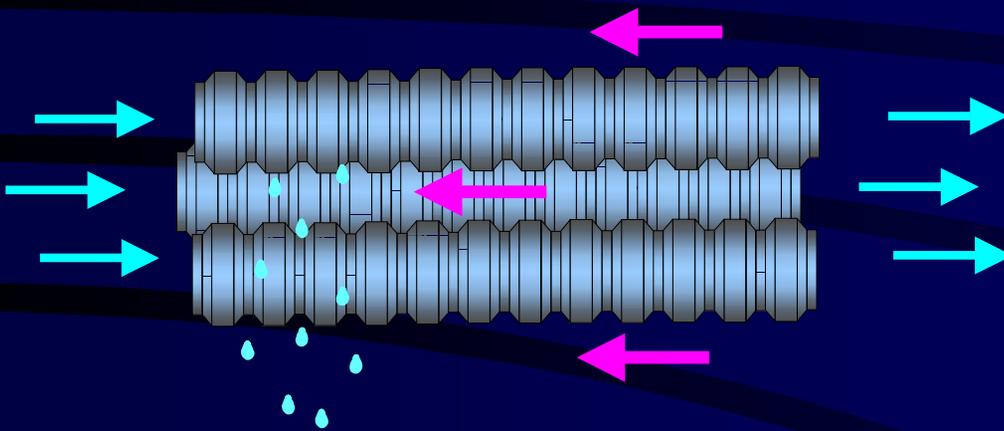
“Projet Échangeur”

✦ Autres prototypes d'échangeur, 1997-1998



“Projet Échangeur”

✦ Analyse thermique de l'échangeur



Sieder – Tate

$$h_i = \frac{k_i}{D_i} Re_i^{0.8} Pr_i^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_p} \right)_i^{0.14}$$

Nusselt

$$h_o = 0.729 \left[\frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_g) k_l^3 h'_{lg}}{ND_o \mu_l (T_{sat} - T_p)} \right]^{1/4}$$

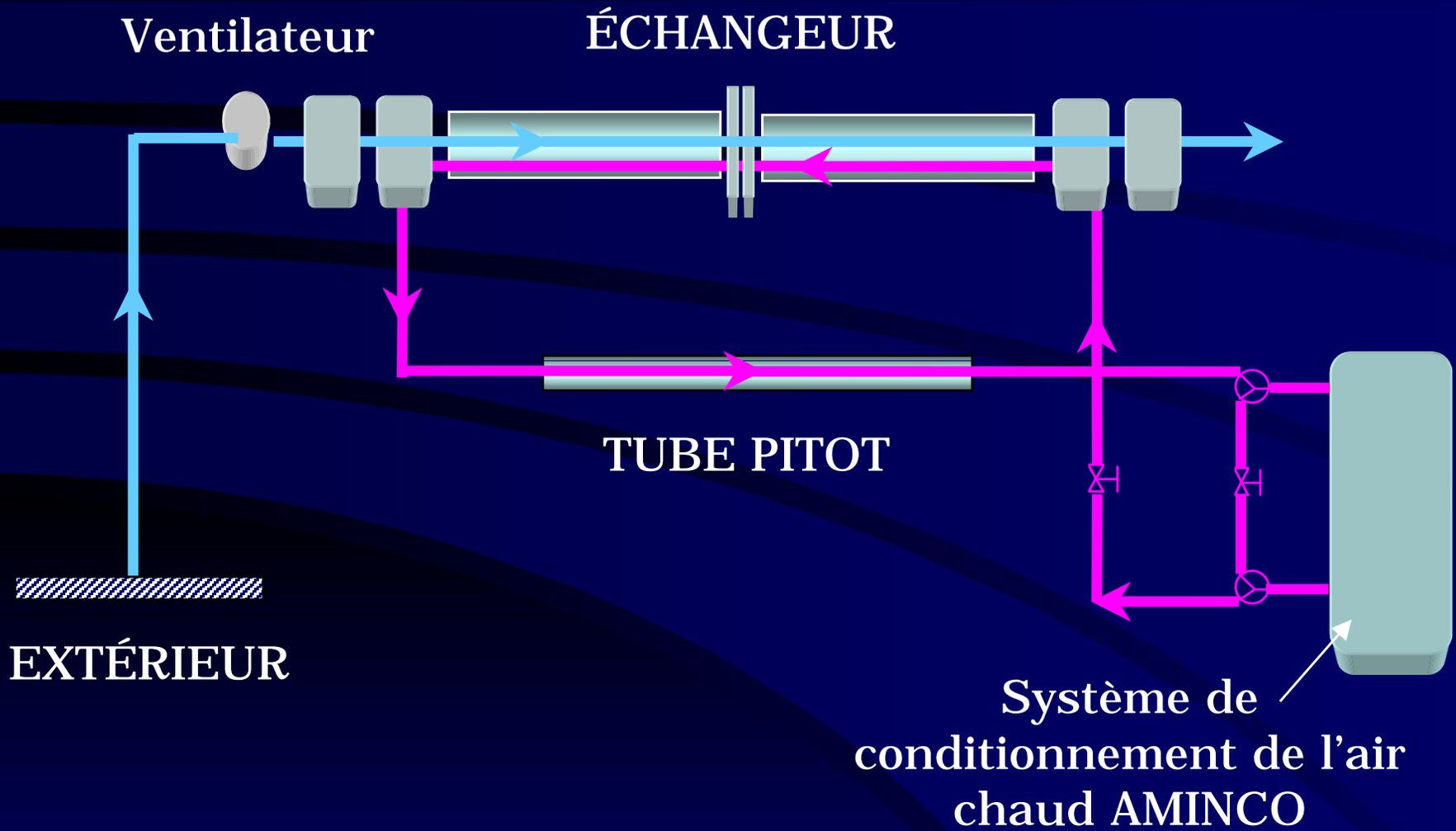
Sieder – Tate

$$h_o = \frac{k_o}{D_o} Re_o^{0.8} Pr_o^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_p} \right)_o^{0.14}$$

Objectifs

- ✦ *Déterminer les profils de condensation sur la paroi extérieur des tuyaux internes;*
- ✦ *Évaluer les effets de la friction sur le transfert intérieur;*
- ✦ *Estimer les effets des corrugations, de la fraction massique d'air et de la vitesse sur transfert extérieur;*
- ✦ *Trouver corrélations empiriques caractérisant les résultats expérimentaux.*

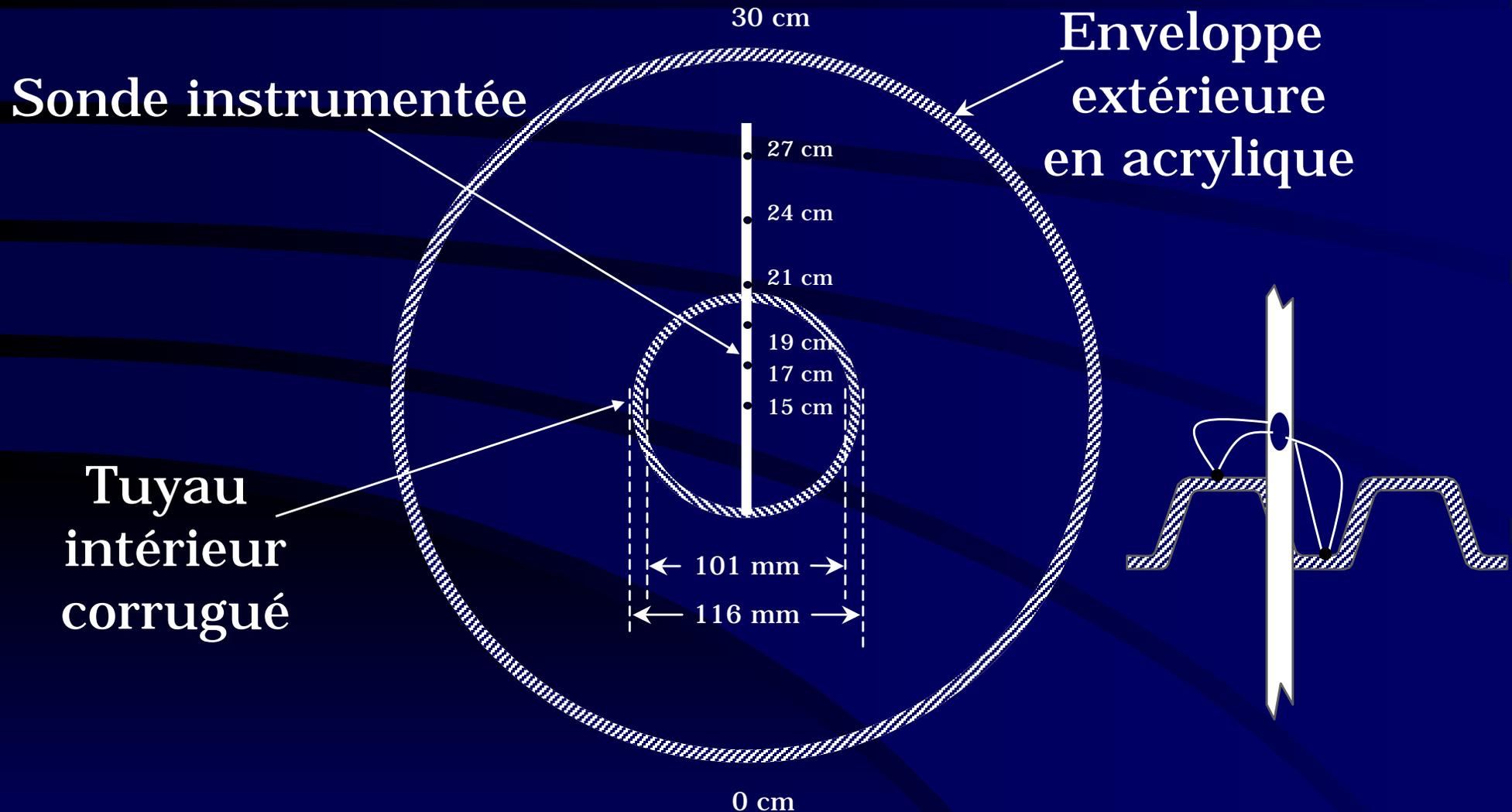
Dispositif expérimental



Dispositif expérimental



Dispositif expérimental



Analyse des données

① *Estimation directe du h.*

Bilan d'énergie

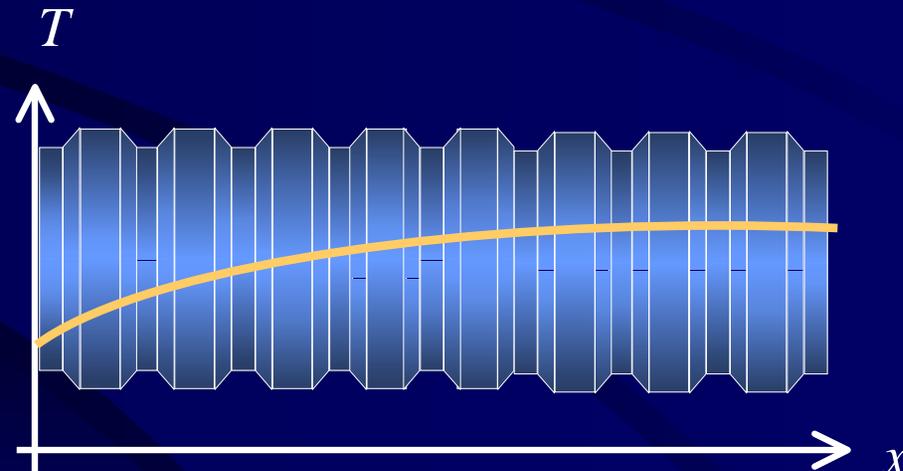
$$q_i'' dA = \dot{m}_f c_{p,f} dT_f$$

Loi de Newton

$$q_i'' = h_i (T_{p,i} - T_f)$$

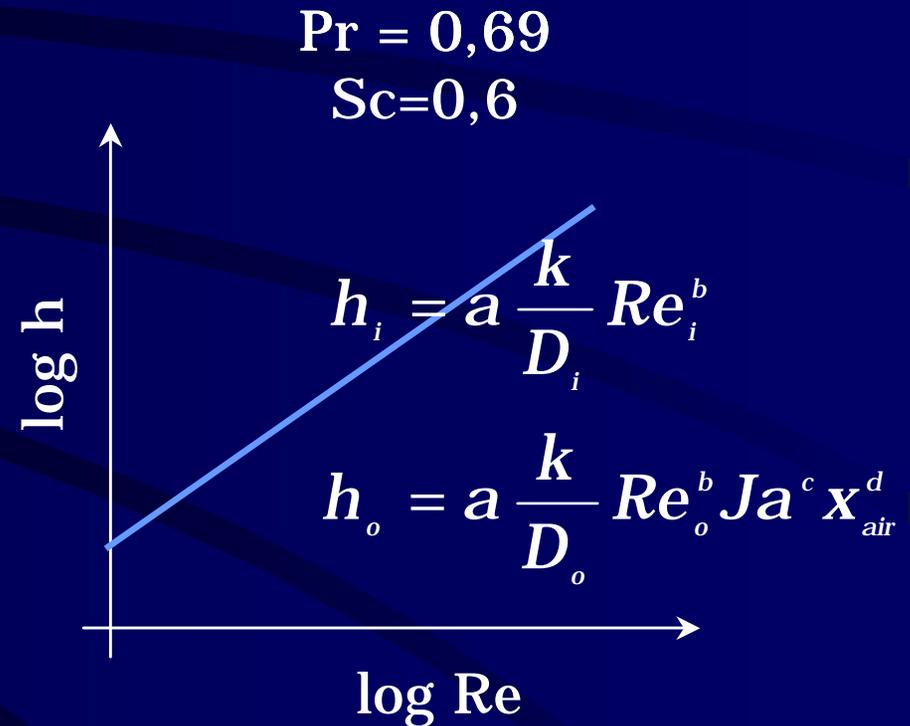
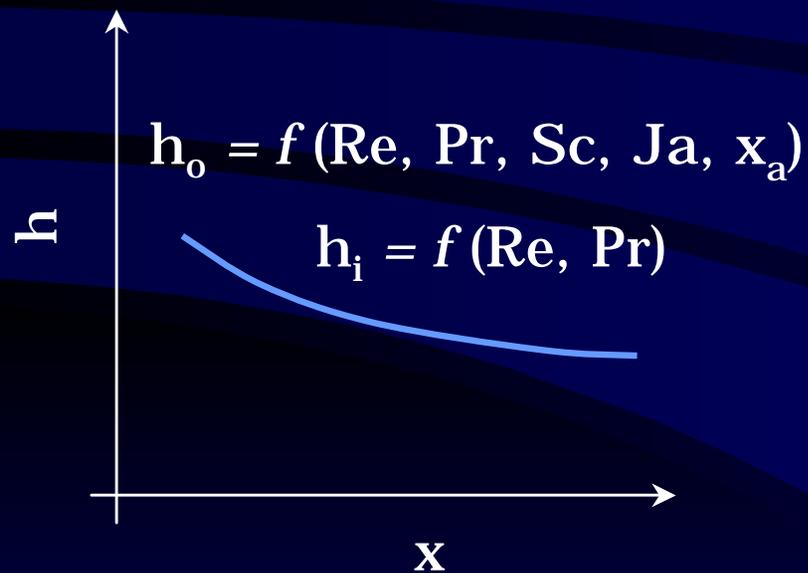


$$h_i = \frac{\dot{m}_f c_{p,f}}{\pi D_i (T_{p,i} - T_f)} \frac{dT_f}{dx}$$



Analyse des données

② *Corrélation des données expérimentaux*



Analyse des données

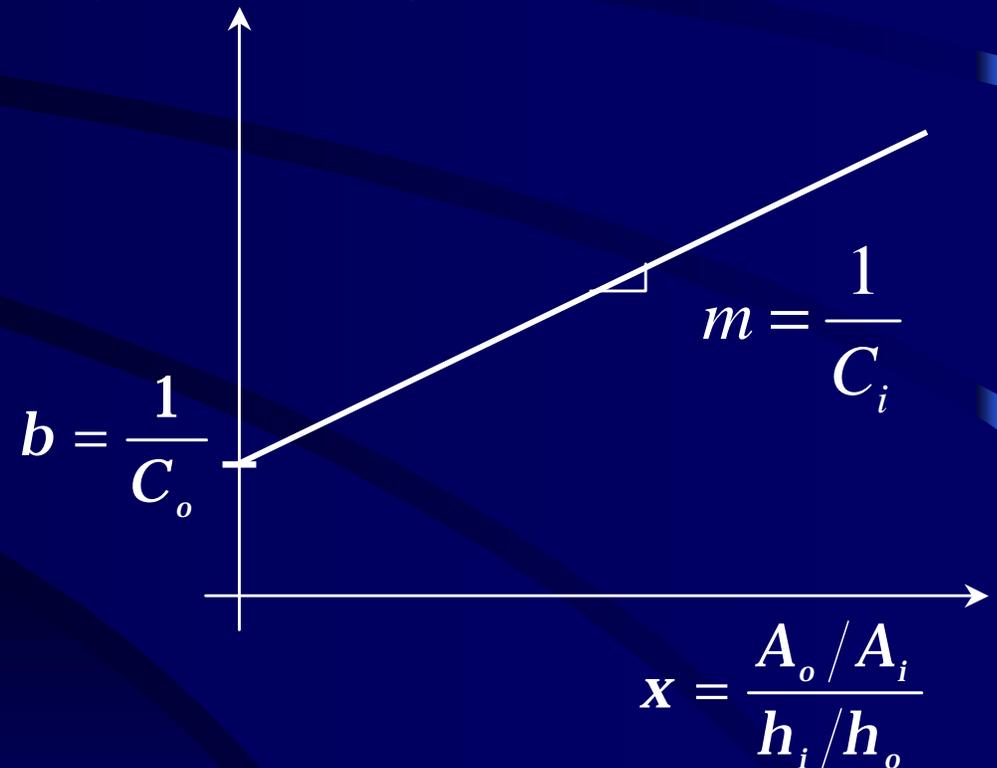
③ Méthode Wilson

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_i A_i} + R_{eq} + \frac{1}{h_o A_o}$$

$$y = \left(\frac{1}{U_o} - R_{eq} A_o \right) h_o$$

$$\left(\frac{1}{U_o} - A_o R_{eq} \right) = \frac{A_o/A_i}{C_i h_i} + \frac{1}{C_o h_o}$$

$$\left(\frac{1}{U_o} - A_o R_{eq} \right) h_o = \frac{A_o/A_i}{C_i h_i} h_o + \frac{1}{C_o}$$



Résultats

* Profils de condensation



- ① Régime sec-sec
- ② Régime sec-gouttelettes
- ③ Régime gouttelettes-film
- ④ Régime film-film
- ⑤ Régime film-givre

Profils température

$$T_f(x) = A - B \exp(-Cx)$$

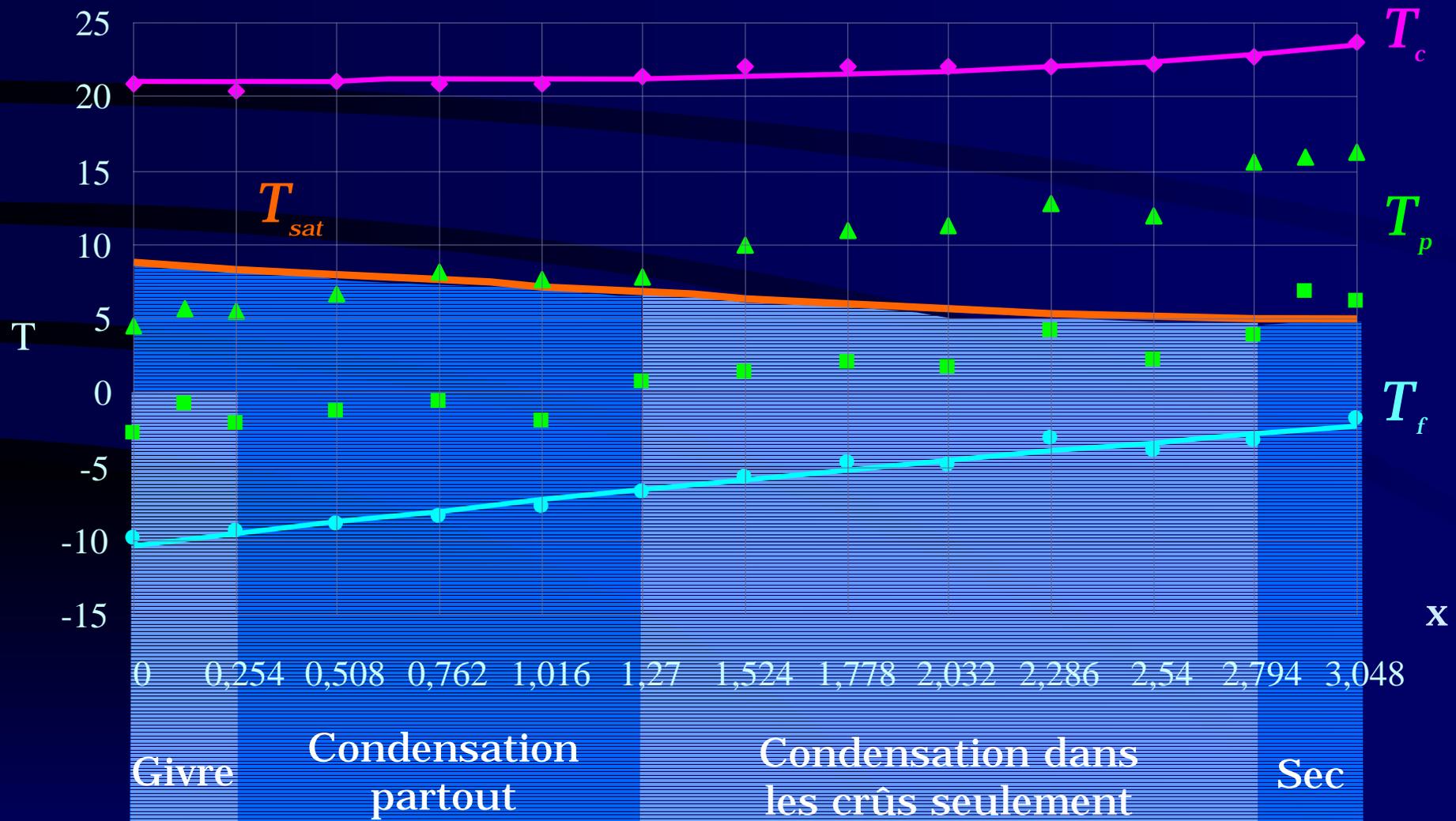
$$T_{p,o}(x) = A + B x$$

$$T_c(x) = A + B \exp(Cx)$$

$$T_{p,i} = T_{p,o} - \frac{q_i''}{2\pi k} \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)$$

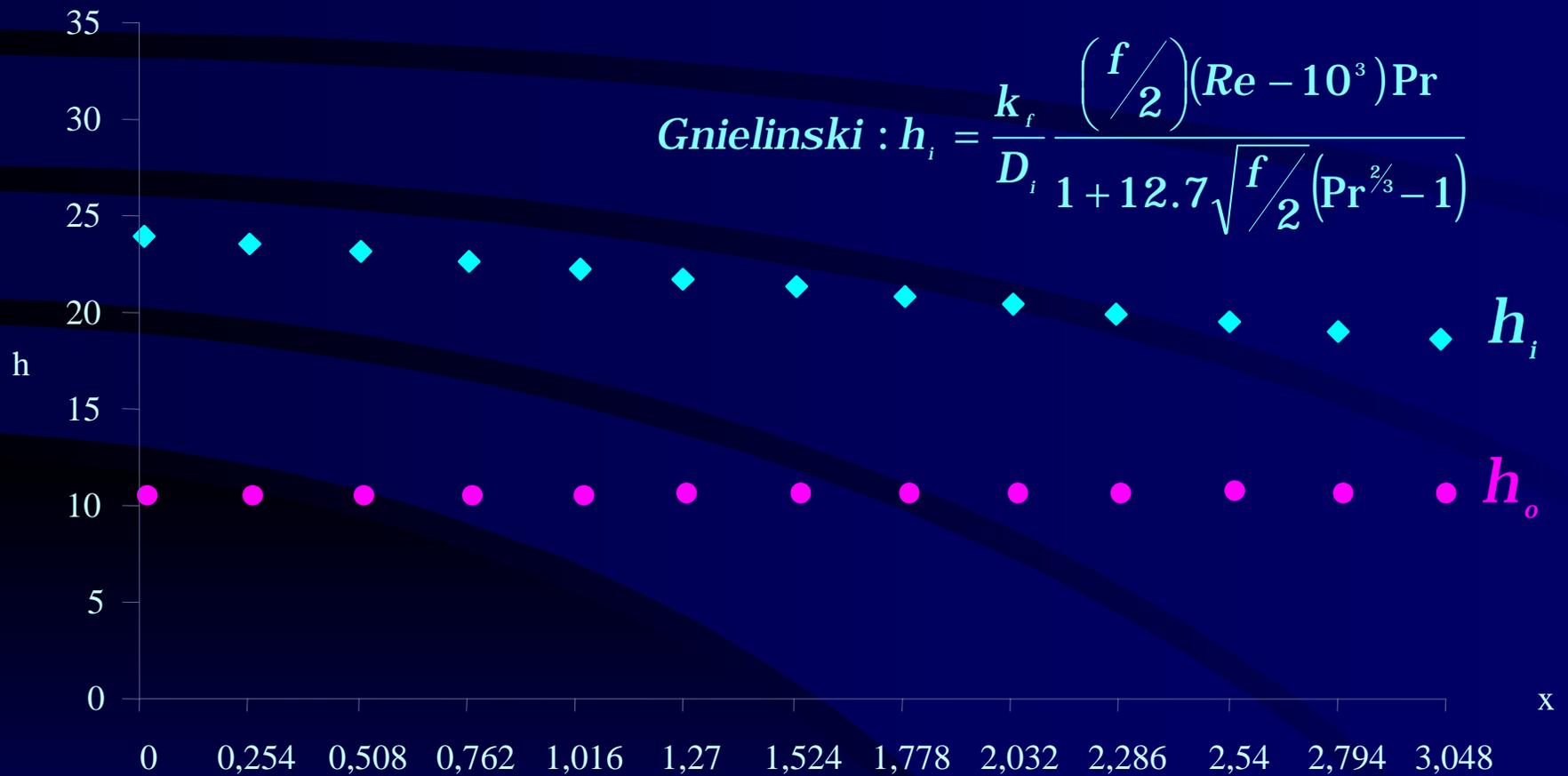
Résultats

† Profils de température



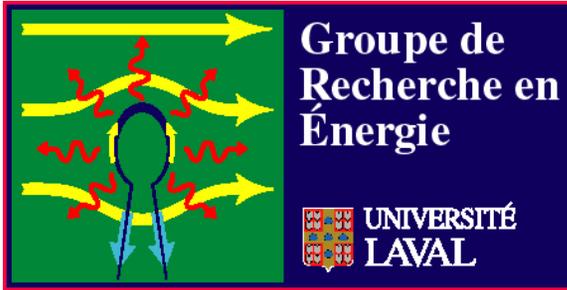
Résultats

✦ Coefficients de transfert thermique



Conclusions et perspectives

- ✓ *Cinq régimes de condensation établis.*
- ✓ *Profils température obtenus.*
- ✓ *Coefficients de transfert expérimentaux estimés.*
- ✘ *Besoin des corrélations pour le transfert intérieur et extérieur plus appropriés.*
- ✘ *Transposer les résultats pour des faisceaux tubulaires.*



Remerciements

Ministère de l'Éducation du Québec

Conseil de Recherche en Sciences
Naturelles et en Génie

par

Clemente Ibarra Castanedo

Département de génie mécanique

ibarra00@gmc.ulaval.ca

Corrélations empiriques

$$\text{Sieder - Tate : } h_i = \frac{k_i}{D_i} Re_i^{0.8} Pr_i^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_p} \right)_i^{0.14}$$

$$\text{Gnielinski : } h_i = \frac{k_f}{D_i} \frac{\left(\frac{f}{2} \right) (Re - 10^3) Pr}{1 + 12.7 \sqrt{f/2} (Pr^{2/3} - 1)}$$

$$\text{Nusselt : } h_o = 0.729 \left[\frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_g) k_l^3 h'_{lg}}{ND_o \mu_l (T_{sat} - T_p)} \right]^{1/4}$$

$$\text{Shekriladze - Gomelaoui : } \bar{h}_o = 0.64 \frac{k}{D} Re^{1/2} \left[1 + \left(1 + 1.69 \frac{gh'_{lg} \mu_l D}{U_\infty^2 k_l (T_{sat} - T_s)} \right)^{1/2} \right]^{1/2}$$