

Vaporisation ascendante d'un mélange binaire d'HFC dans un passage d'ailettes décalées

Ines Ben El Mekki^{1,2,*}, Marine Andrich¹, Marc Wagner¹, Florine Giraud², Brice Tremeac², Pascal Tobaly²



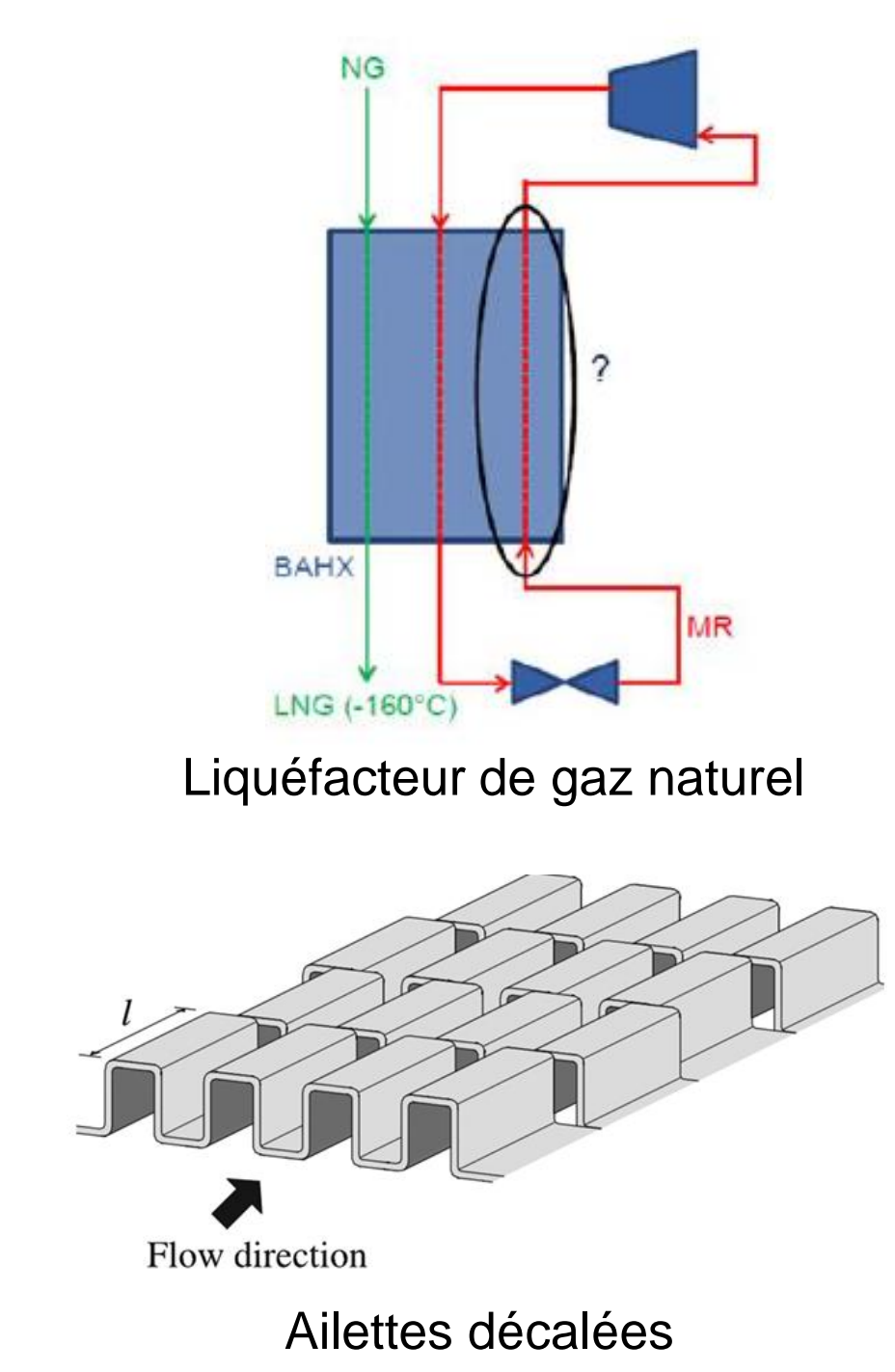
Introduction

- Contexte :**
- Unité de liquéfaction du gaz naturel d'Air Liquide → Utilisation de mélanges d'hydrocarbures dans les échangeurs à plaques et ailettes
 - Vaporisation ascendante du mélange d'hydrocarbures (fluide secondaire) dans les ailettes décalées
 - Utilisation des ailettes décalées → Milieux confinés sous forme de canaux rectangulaires millimétriques

- Objectifs :**
- Etude du couplage des phénomènes suivants :

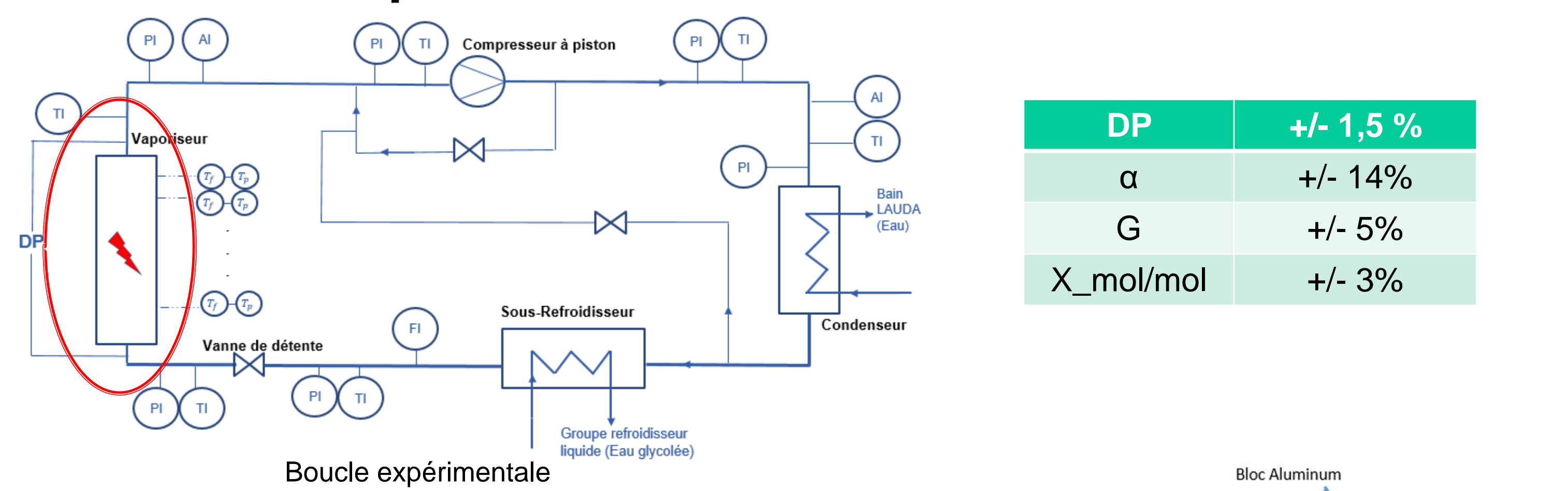


- Etude de l'impact des ailettes décalées sur l'écoulement diphasique
- Etude de l'impact des mélanges binaires sur les mécanismes de transfert de chaleur

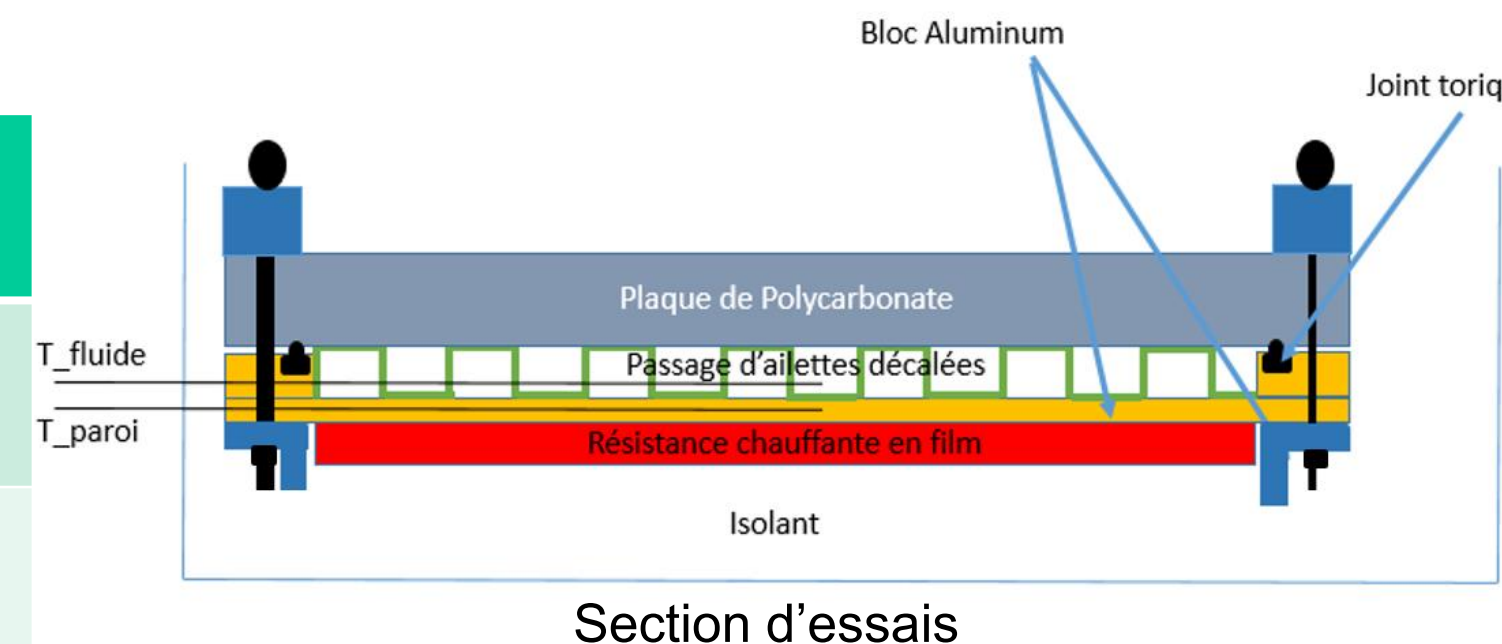


Moyens expérimentaux

Boucle expérimentale et section d'essais



DP	+/- 1,5 %
α	+/- 14%
G	+/- 5%
X_mol/mol	+/- 3%



Fluides opératoires	• R-134a / R-245fa • R-245fa pur
Flux thermique q (sur le vaporiseur)	9 – 22 kW.m ⁻²
Vitesse massique G en entrée du vaporiseur	11 – 25 kg.m ⁻² .s ⁻¹
Pression en entrée du vaporiseur	2 – 4,5 bara
D _h	< 2 mm

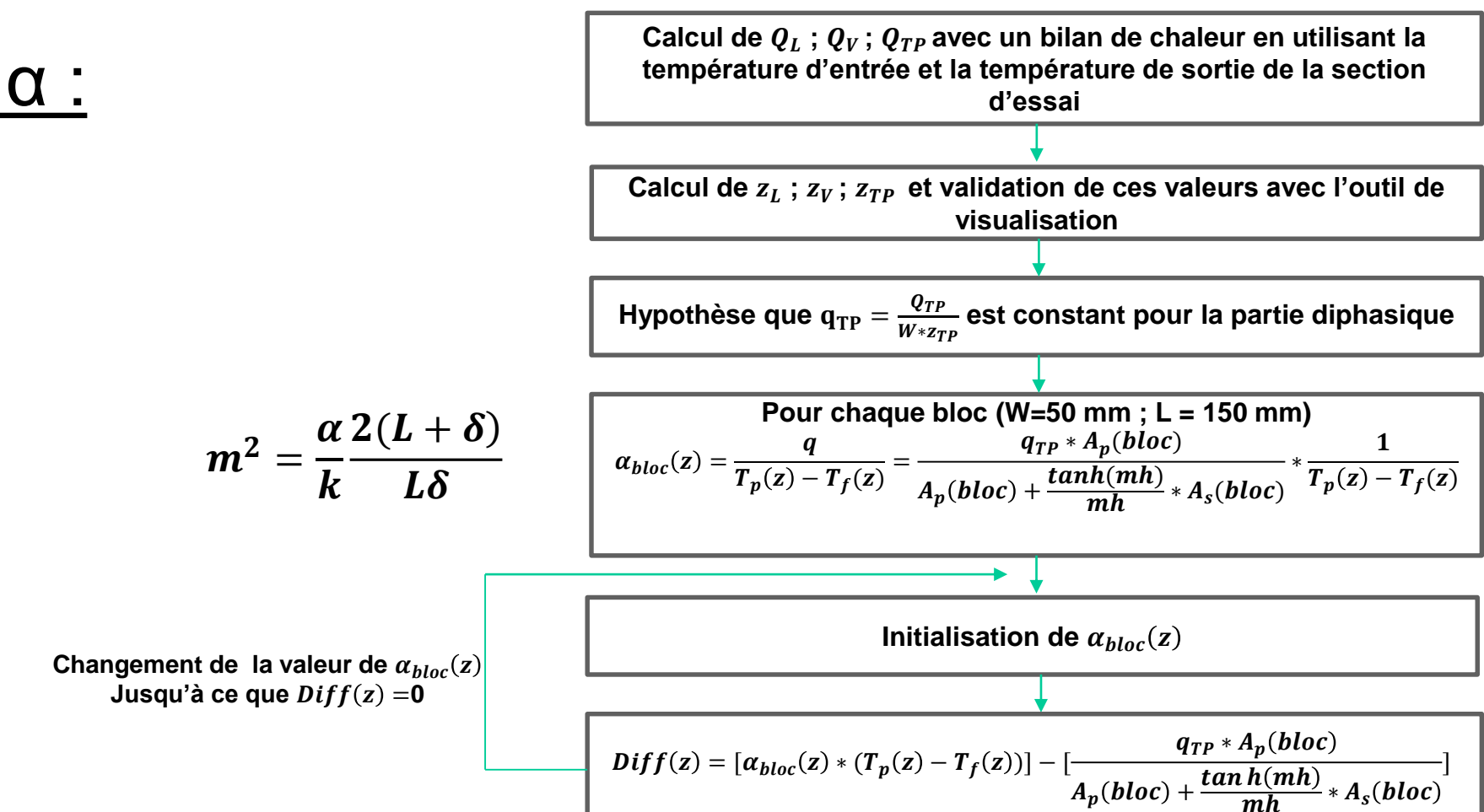
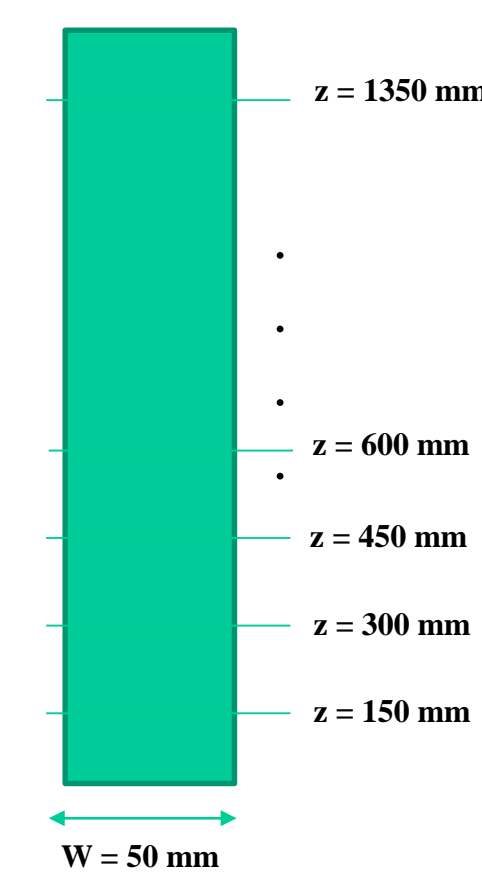
Méthodes

Perte de charge : $\frac{dP}{dz}_{Total} = \frac{dP}{dz}_{Acceleration} + \frac{dP}{dz}_{Gravitationnel} + \frac{dP}{dz}_{Frictionnel}$

$\frac{dP}{dz}_{Gravitationnel} = (\epsilon\rho_v + (1-\epsilon)\rho_l)\vec{g}\cdot\vec{u}_z$ → Utilisation de la corrélation d'HTFS (Aspen Tech) pour l'estimation du taux de vide

$\left(\frac{dP}{dz}\right)_{Frictionnel} = (\Phi_V)^2 \left(\frac{dP}{dz}\right)_V = (\Phi_L)^2 \left(\frac{dP}{dz}\right)_L$ de $(\Phi_L)^2$ → Utilisation du modèle de dérive : Besoin d'une corrélation

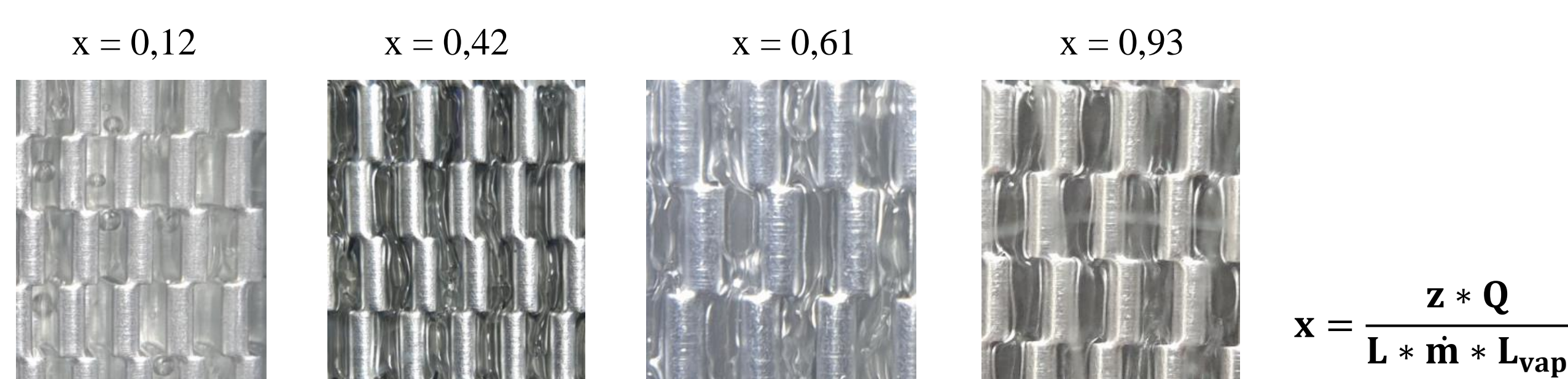
Coefficient de transfert thermique α :



Résultats expérimentaux

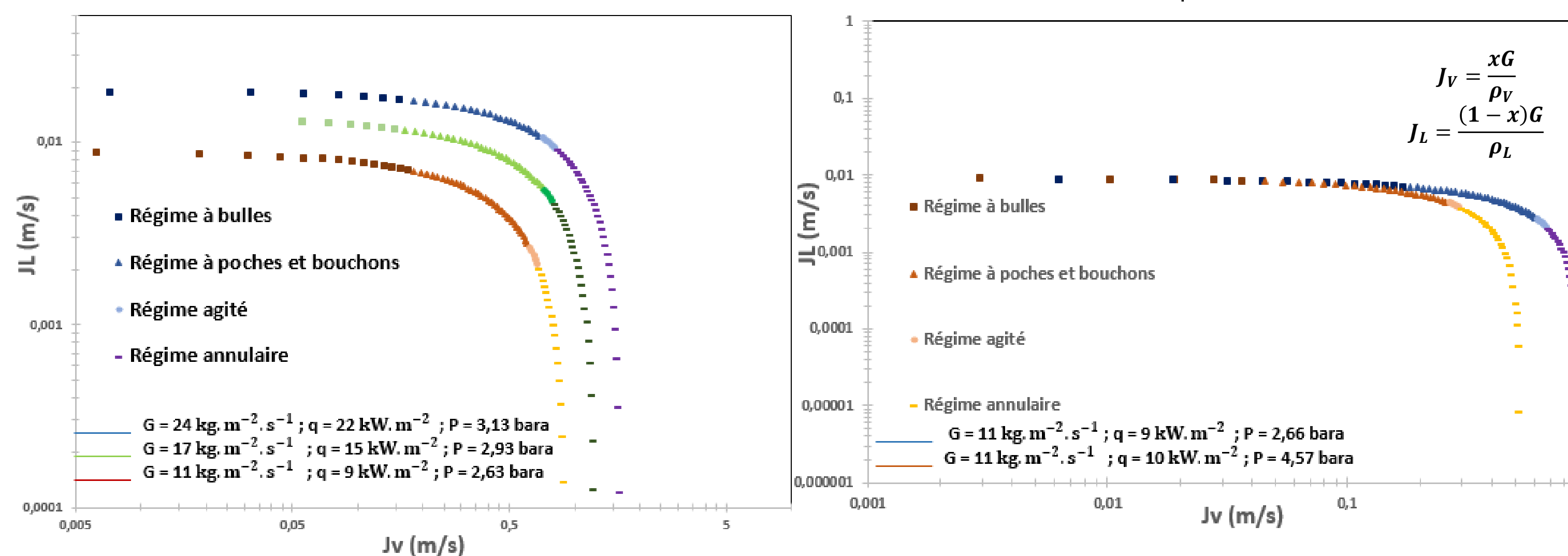
Écoulement diphasique :

Les régimes d'écoulement observés sur la longueur de la section d'essais :



Influence de la vitesse massique sur les cartes d'écoulement pour le fluide binaire R-134a / R-245fa

Influence de la pression sur les cartes d'écoulement pour le fluide binaire R-134a / R-245fa



Le confinement induit par les ailettes décalées résulte en :

- Le régime à bulles est négligeable devant les autres configurations d'écoulement
- Les lignes de transitions régime agité/régime annulaire a lieu pour des titres en vapeur plus faibles en comparaison avec les canaux non millimétriques

Perte de charge :

Proposition d'une nouvelle corrélation de $(\Phi_L)^2$ valable pour le fluide pur et binaire en ailettes décalées, prédiction des résultats expérimentaux à -35% / 35%

$$(\Phi_L)^2 = 1 + \frac{370 * Re_{TP,H}^{-0,5}}{X_{tt}} + \frac{1}{X_{tt}^{2,58}} ; Re_{TP,H} = \frac{GD_h}{\mu_{TP,H}} ; \frac{1}{\mu_{TP,H}} = \frac{x}{\mu_V} + \frac{1-x}{\mu_L} ; X_{tt}^2 = \frac{f_L(1-x)^2 \rho_V}{f_V x^2 \rho_L}$$

$$f_{L,V} = 2,2663 Re_{L,V}^{-0,434} ; Re_L = \frac{(1-x)GD_h}{\mu_L} ; Re_L = \frac{xGD_h}{\mu_V}$$

Résultats thermiques :

L'ébullition nucléée domine le mécanisme de transfert de chaleur (pas de dépendance ni en G, ni en x)

Présence d'une résistance de masse supplémentaire pour le fluide binaire qui rend le transfert thermique moins efficace

Proposition d'une nouvelle corrélation pour les fluides binaires en ailettes décalées (-31% / +27%)

$$\alpha_{TP} = S * \alpha_{NB} + F * \alpha_{LO}$$

$$\alpha_{NB} = 8.41 q^{0,67} P_r^{0,12} (-\ln(P_r))^{-0,55}$$

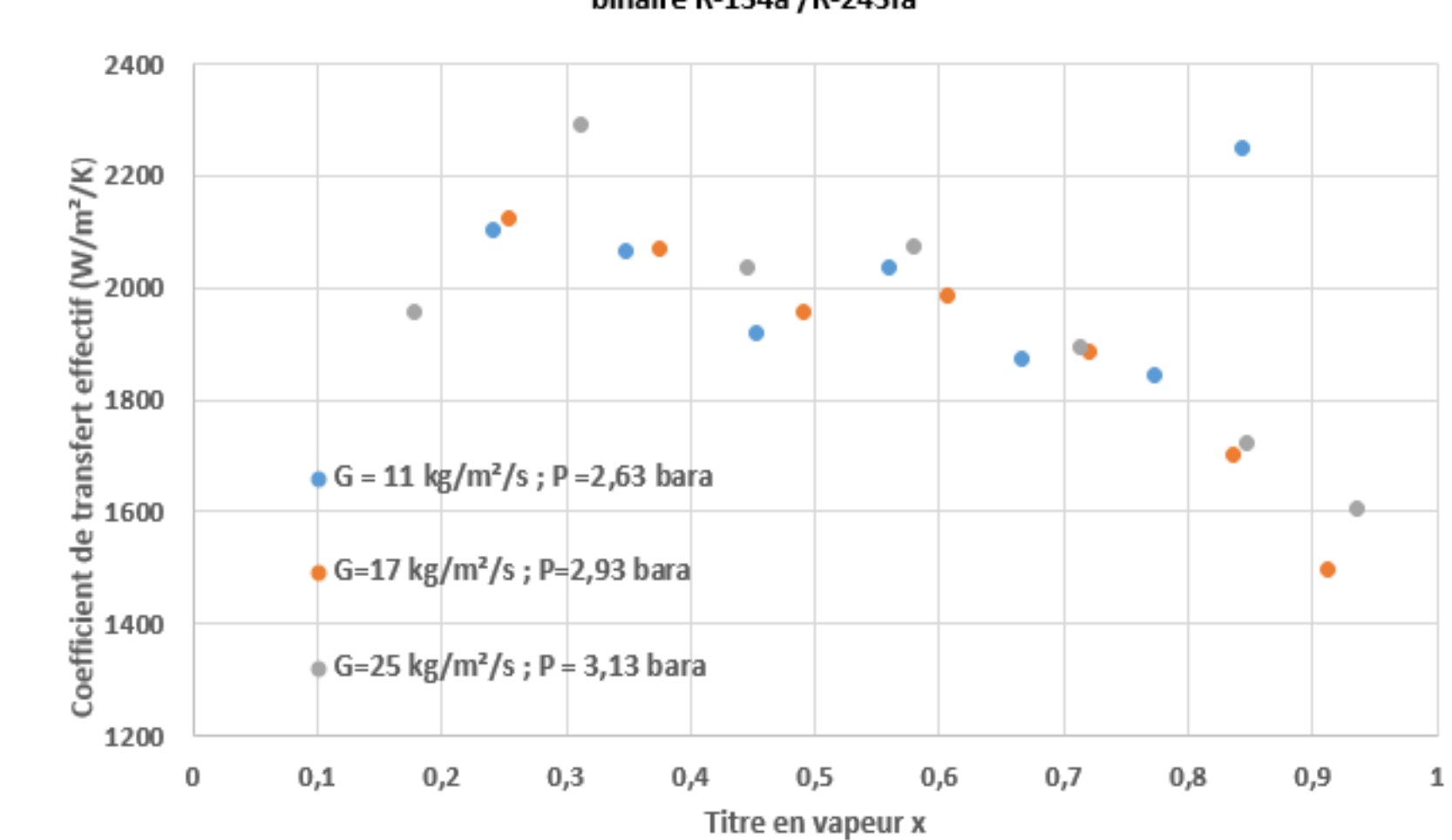
$$h_{TP} = 30 \frac{Re_{Lo}^{0,857} BO^{0,714} k_L}{D_h}$$

$$S = f(\Delta T_g) ; F = 0,5 * \left(1 + \frac{57}{X_{tt}^{-0,001}}\right)^{0,125}$$

$$\Delta T_g = T_{rosée}(P) - T_{bulle}(P)$$

$$P_r = \frac{P}{P_{critique}} ; Re_{Lo} = \frac{GD_h}{\mu_L} ; BO = \frac{q}{h_{l,g} G}$$

Influence de la vitesse massique sur le coefficient de transfert thermique pour le fluide binaire R-134a / R-245fa



Comparaison entre R-245fa pur et le fluide binaire

