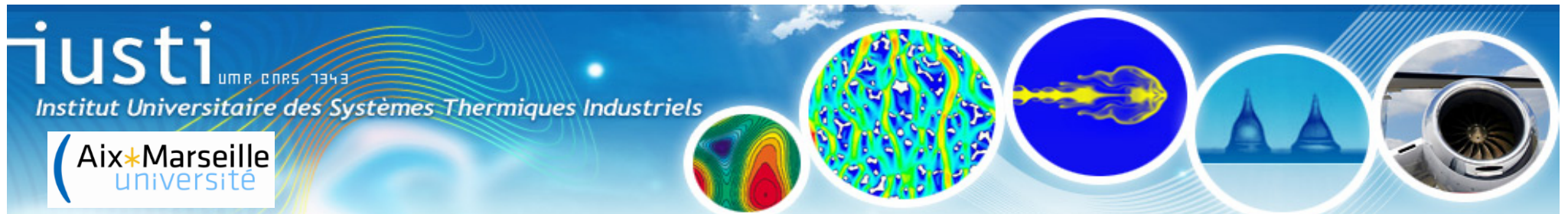


Désurchauffe vapeur et condensation dans les échangeurs à plaques : mécanismes d'intensification des transferts

Kifah SARRAF, Stéphane LAUNAY, Lounès TADRIST

IUSTI UMR 7343, Université d'Aix-Marseille

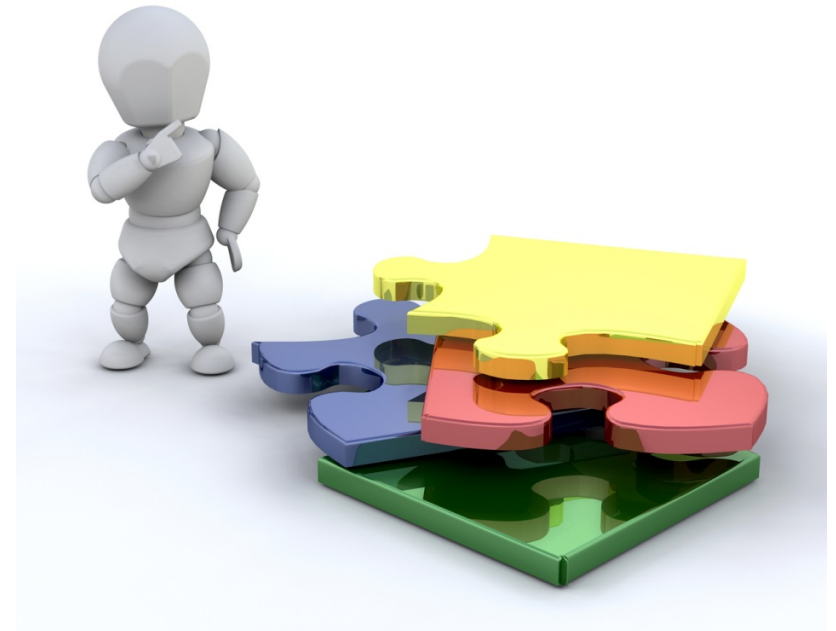


- **Contexte général du travail**

- **Outils expérimentaux**
 - ❖ **Dispositif expérimental**
 - ❖ **Méetrologie IR**

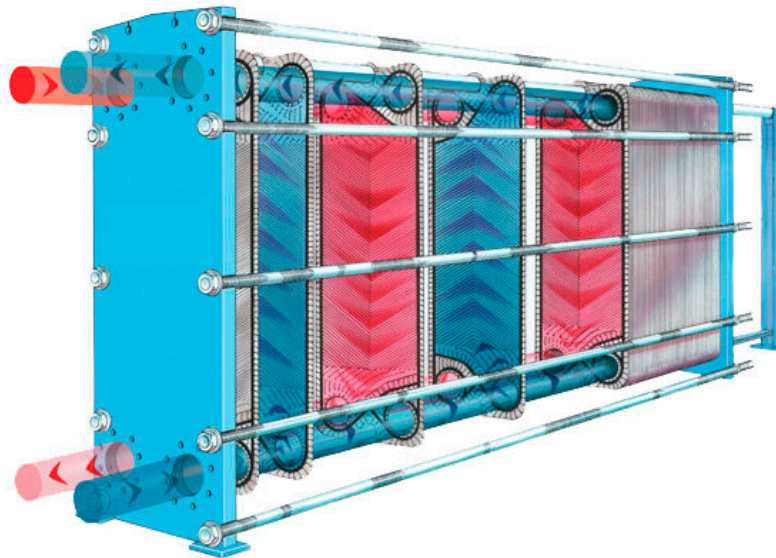
- **Transferts thermiques**
 - ❖ **Observation qualitative**
 - ❖ **Analyse quantitative**
 - ❖ **Modèles de désurchauffe vapeur**

- **Conclusion**



Contexte général

- Performance des pompes à chaleur dans la qualité d'air des ambiances intérieures
 - Intensification des échanges au condenseur



Contexte général

Composant de l'étude : **échangeur de chaleur à plaques ondulées**

Objectifs :

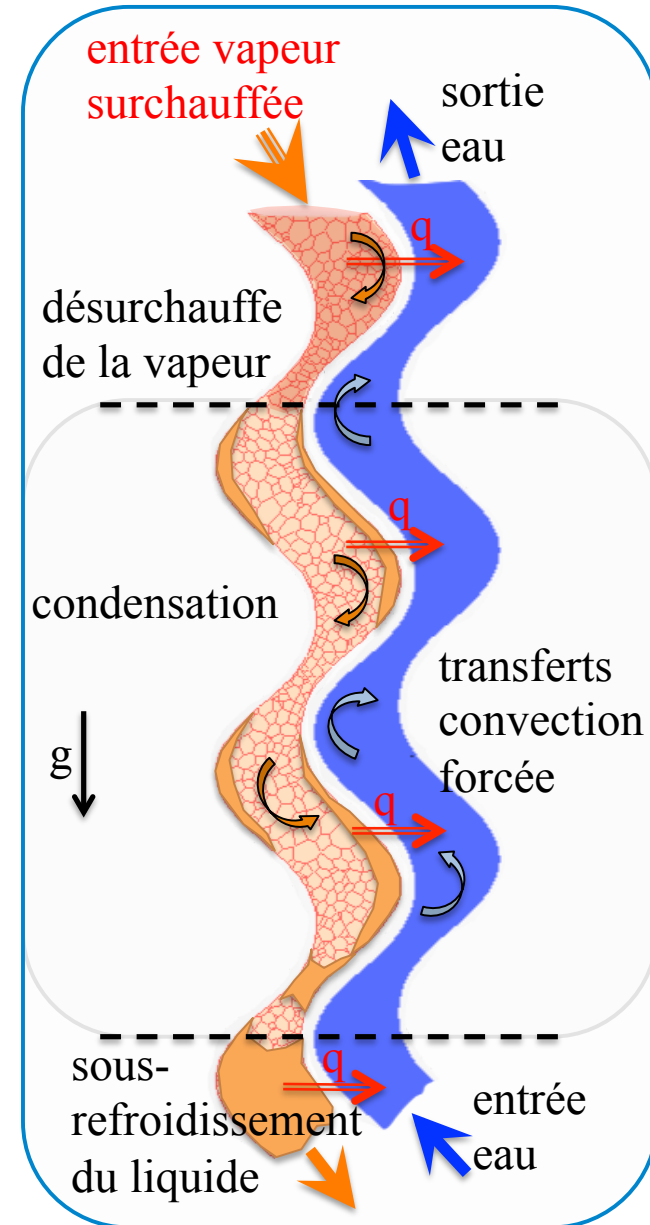
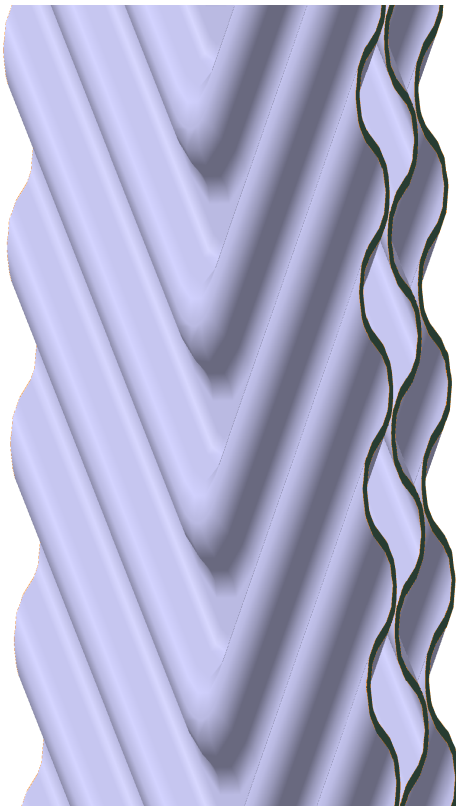
- **Compréhension** des comportements **thermo-hydrauliques** des écoulements dans les PHE
 - ↳ Développement des **outils numériques et expérimentaux** spécifiques
- **Optimisation** des échangeurs type évaporateur/**condenseur** à surfaces corruguées



Contexte générale

C'est quoi un échangeur à plaques ondulées?

- Ensemble de plaques à surface ondulée et empilées les unes à côté des autres



Contexte général

Travaux de la littérature sur la caractérisation thermo-hydraulique de la condensation avec surchauffe de la vapeur :

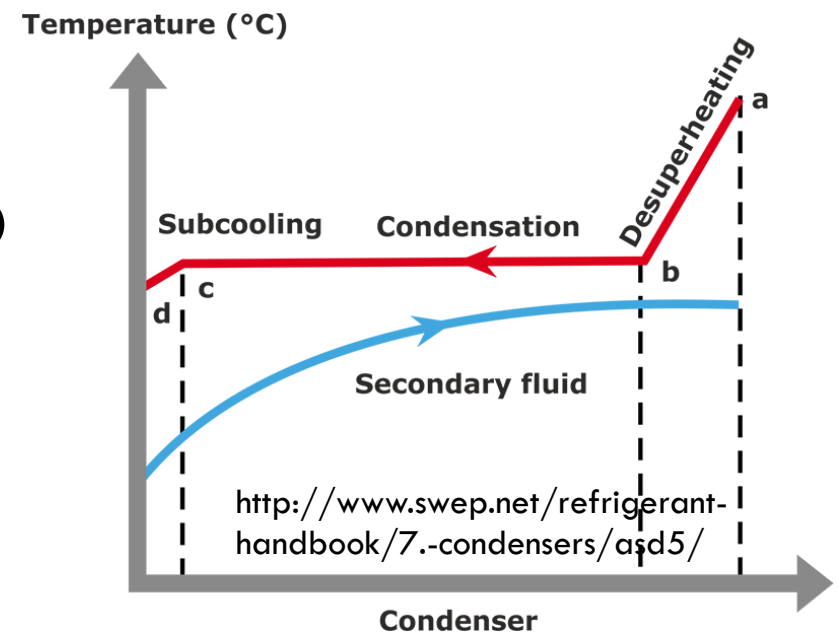
- Assez peu d'études :
 - ✧ **Approche classique échangeur** (développée)

- Travail le plus abouti sur cette question :

- ✧ **Modèle de Webb (1998)**

- ➔ appliqué aux tubes ...
et sans validation expérimentale !
- ➔ désurchauffe par convection forcée simultanément à la condensation

$$h_{\text{sup}}(T_{\text{sat}} - T_w) = h_{fc}(T_b - T_{\text{sat}}) + h_{\text{sat}}(T_{\text{sat}} - T_w) \quad \rightarrow \quad \text{Si } T_w < T_{\text{sat}}$$



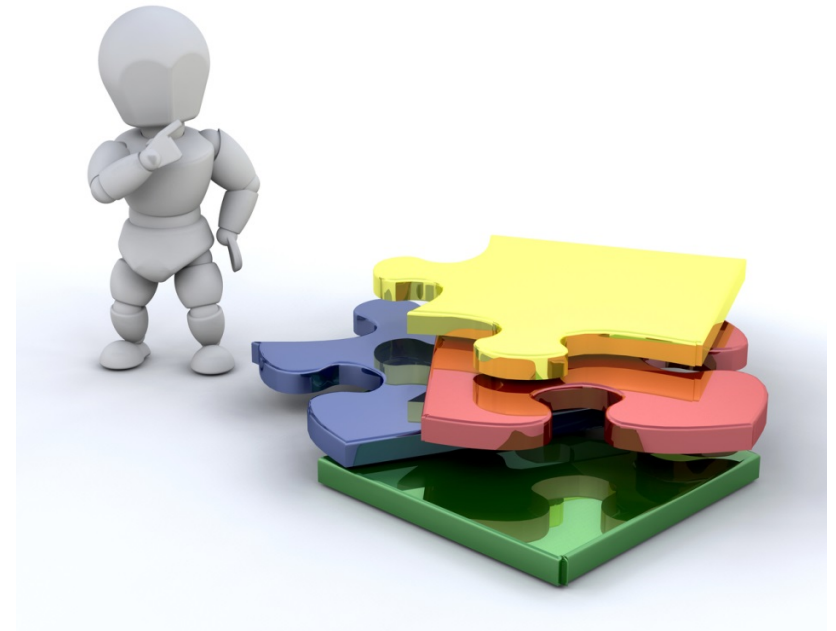
Comment les comportements thermo-hydrauliques en condensation sont-ils influencés par la surchauffe de la vapeur dans un canal d'écoulement 3D ?
Amélioration ? Dégradation ?

- Contexte général du travail

- **Outils expérimentaux**
 - ❖ **Dispositif expérimental**
 - ❖ **Méetrologie IR**

- Transferts thermiques
 - ❖ Observation qualitative
 - ❖ Analyse quantitative
 - ❖ Modèles de désurchauffe

- Conclusion



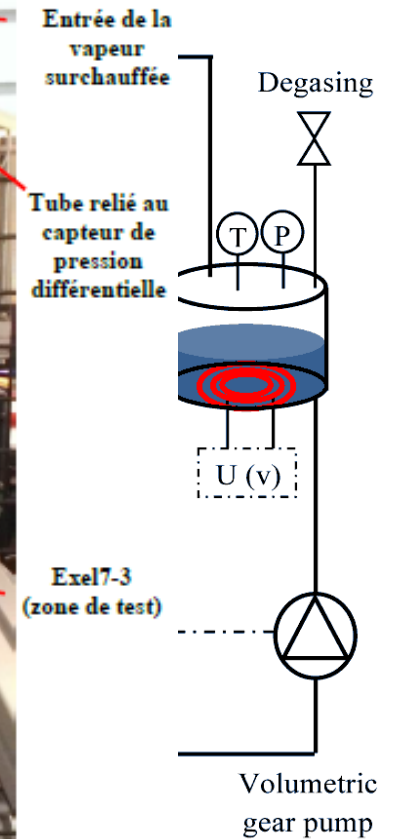
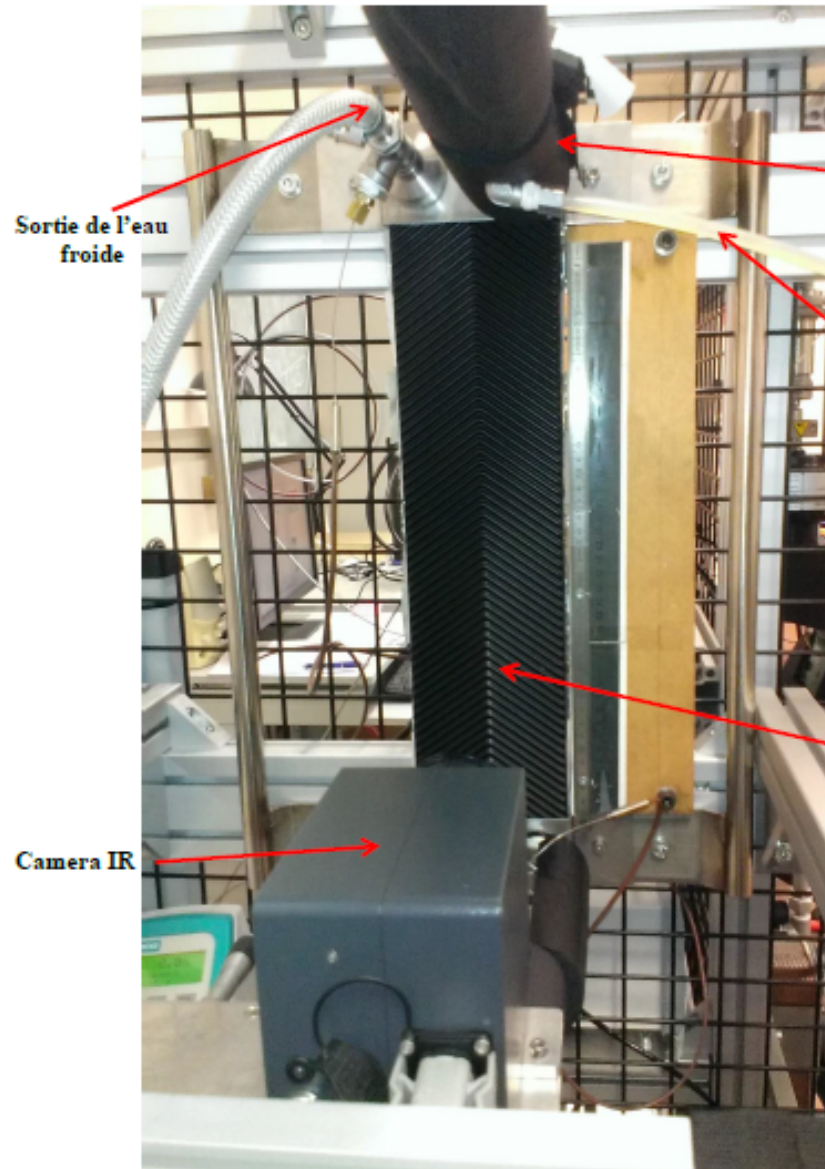
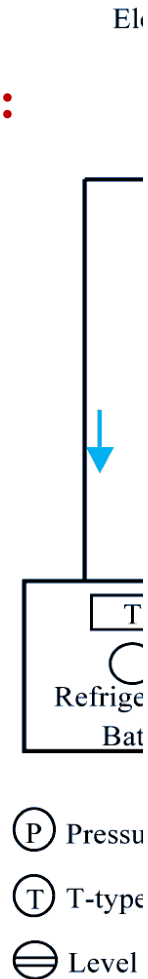
Dispositif et instrumentations

A. Dispositif

Contrôle indépendant de:

- ✓ Débit massique du fluide
- ✓ Surchauffe de la vapeur
- ✓ Pression du système

Pentane comme fluide de travail

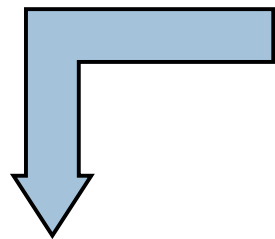


Dispositif et instrumentations

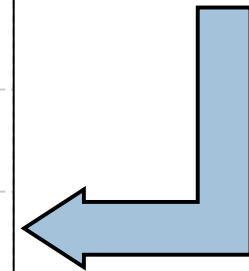
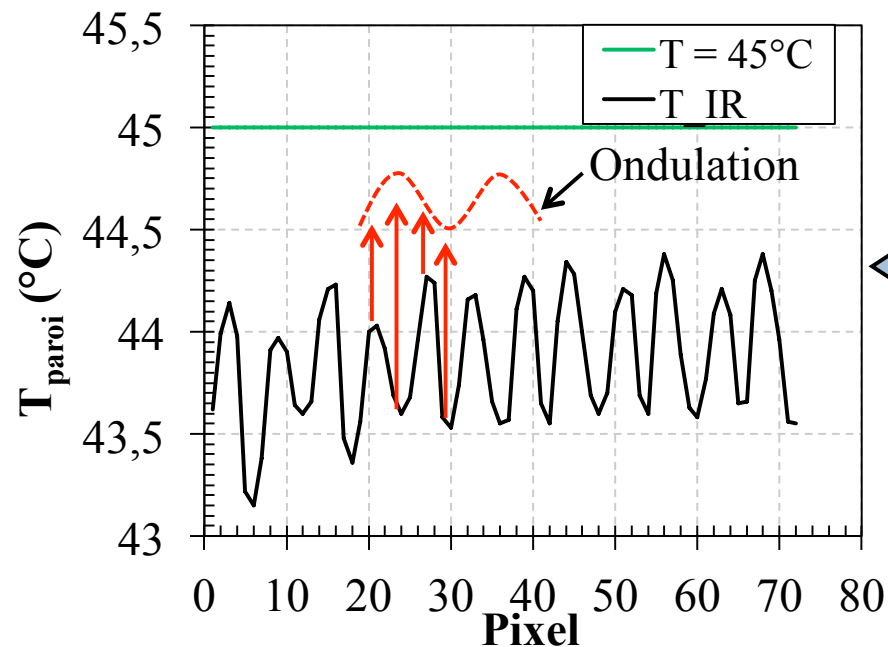
B. Instrumentation-camera IR (protocole de correction)



$T_{\text{eau}} = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$ imposée
par deux bains cryo-
thermostaté



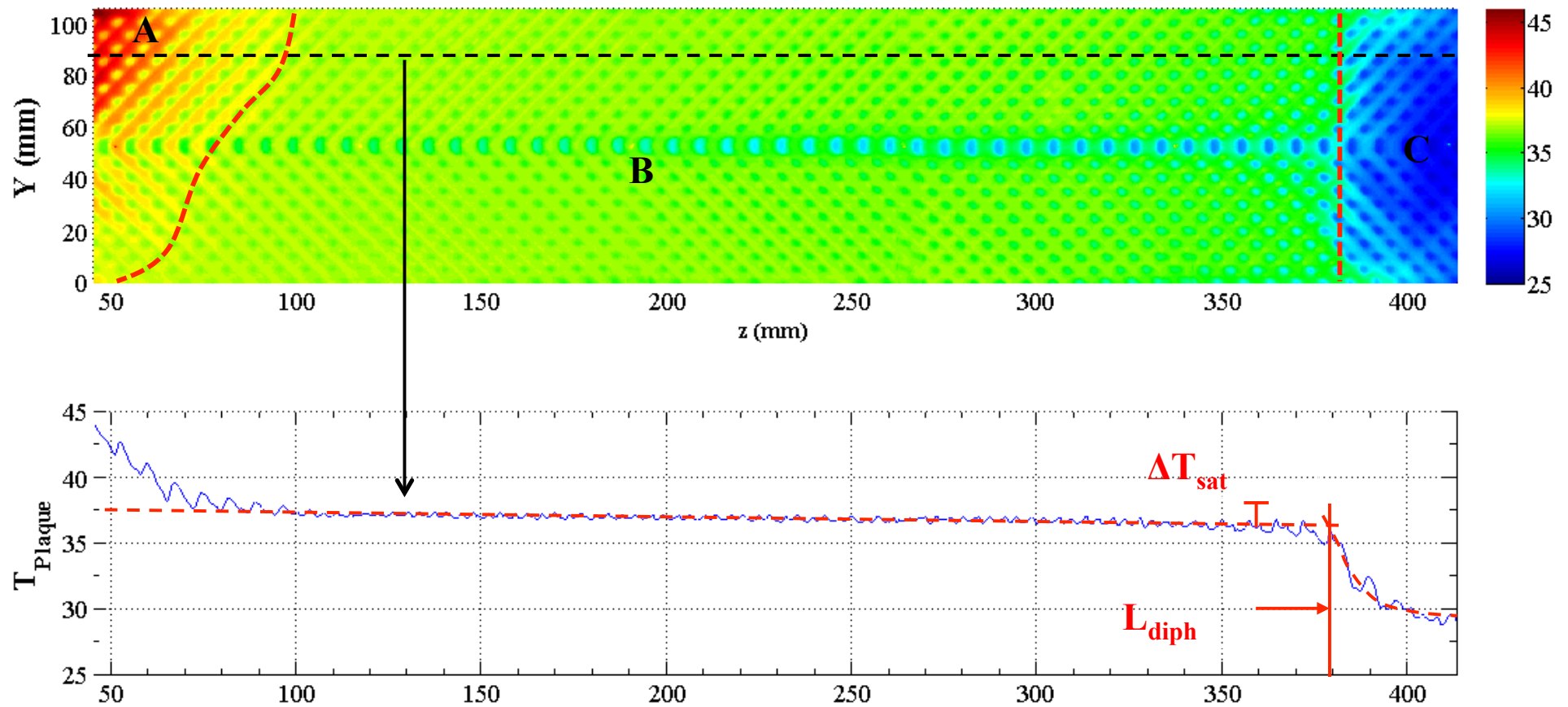
$$F_c(i, j, T_{P_r}) = \frac{T_{P_{IR}}(i, j)^4 - T_a^4}{T_{P_r}^4 - T_a^4}$$



Dispositif et instrumentations

B. Instrumentation-camera IR (condensation)

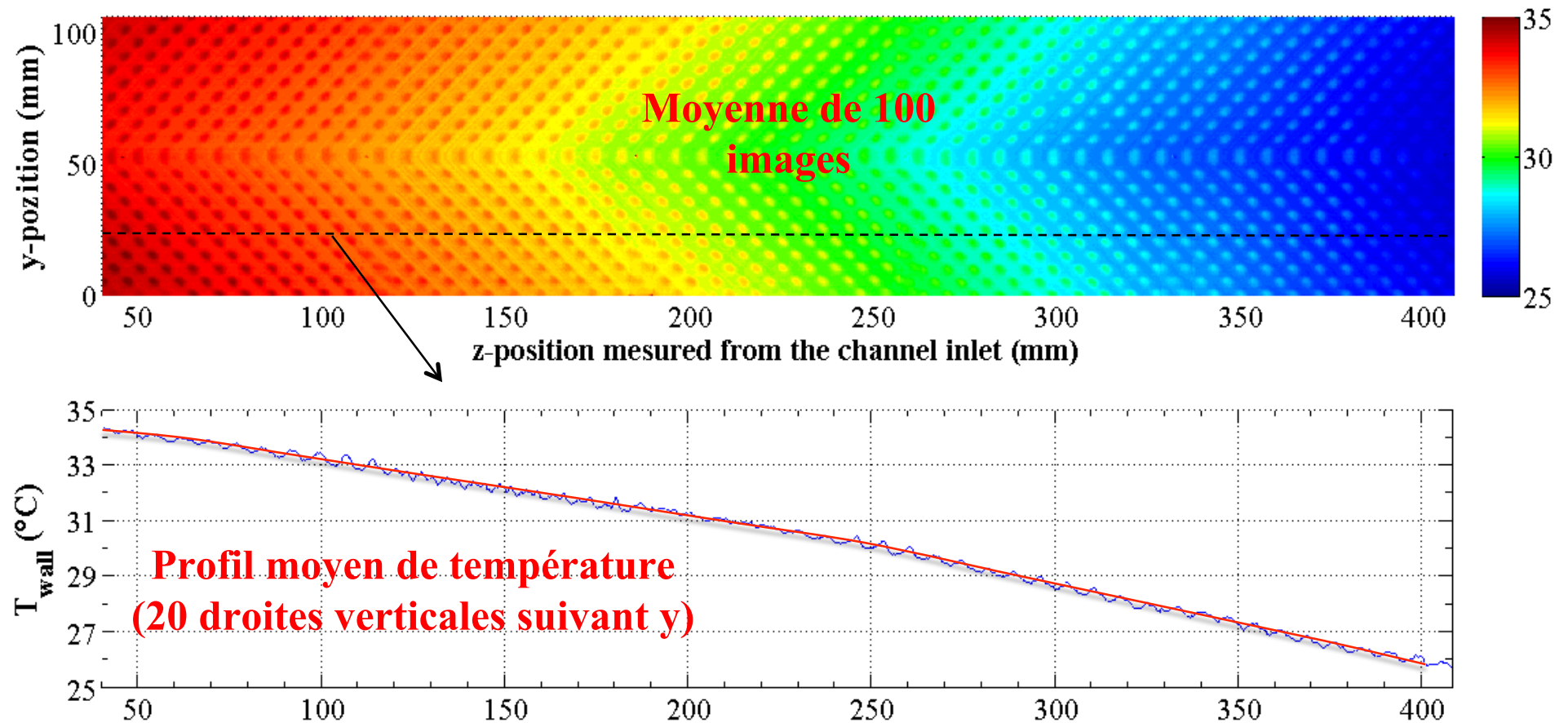
Pentane $G_r = 9 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, $T_{sat} = 36.5 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta T_{desur} = 25 \text{ K}$



Dispositif et instrumentations

B. Instrumentation-camera IR (condensation)

$$\text{Eau } G_{eau} = 103 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}, T_{e_i} = 26 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

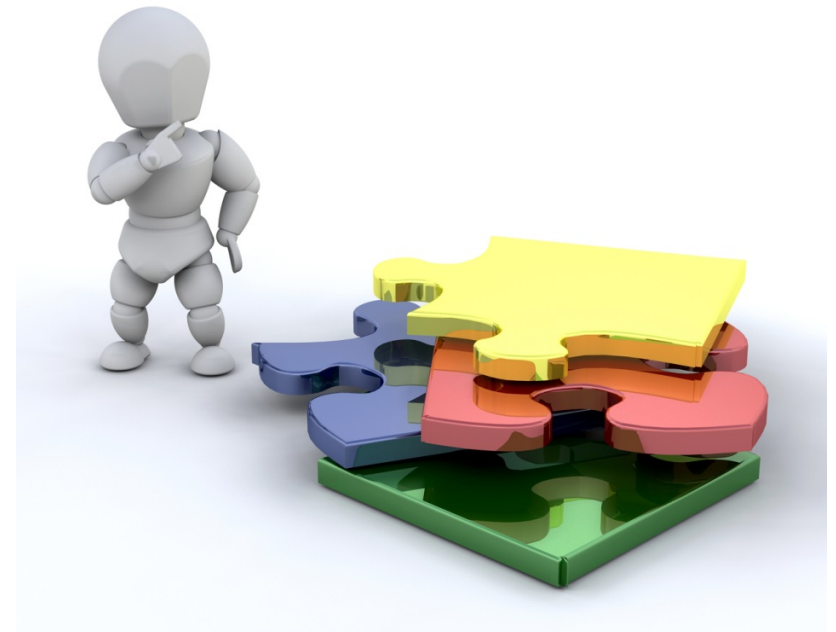


- Contexte général du travail

- Outils expérimentaux
 - ❖ Dispositif expérimental
 - ❖ Métrologie IR

- **Transferts thermiques**
 - ❖ **Observation qualitative**
 - ❖ **Analyse quantitative**
 - ❖ **Modèles de désurchauffe**

- Conclusion



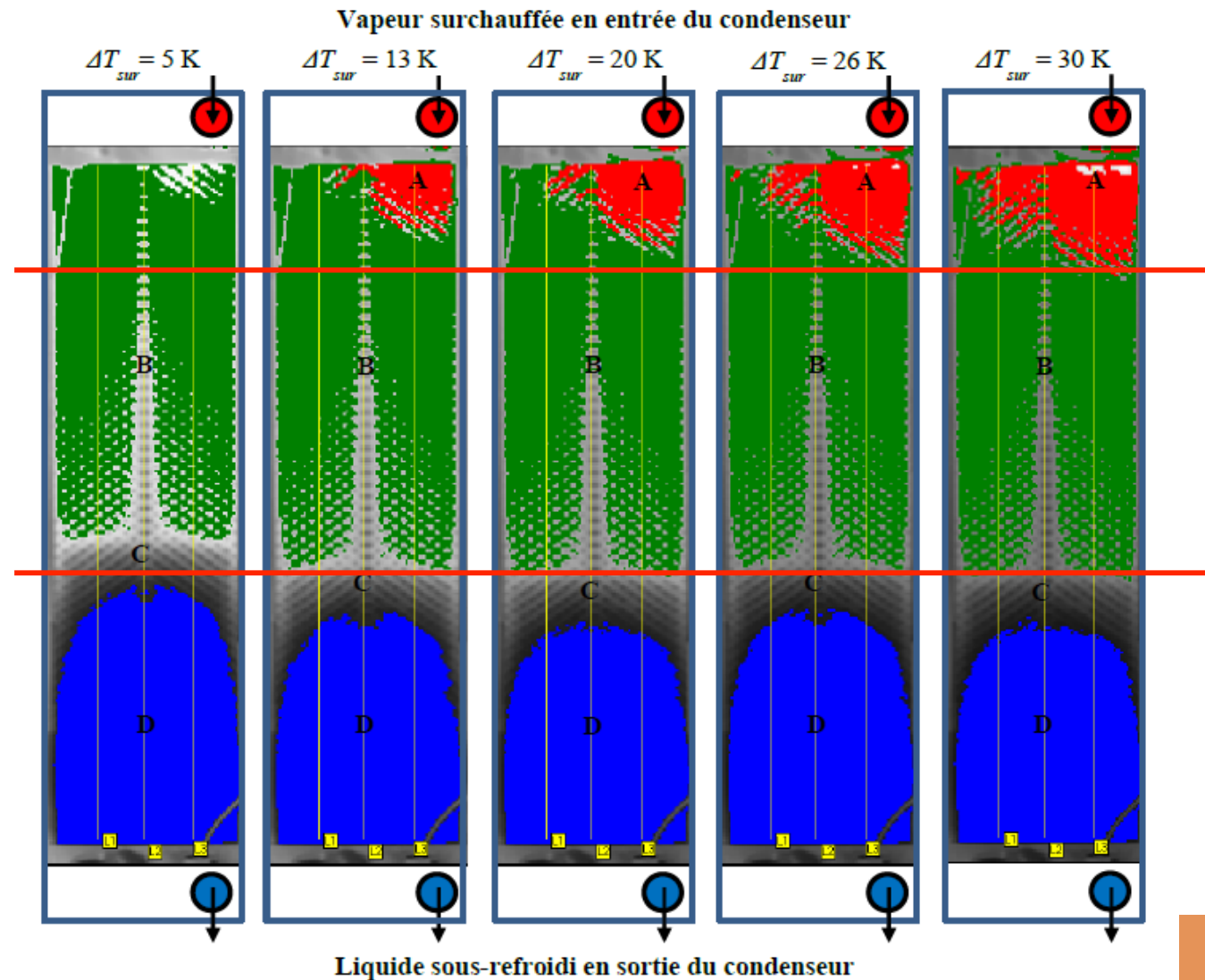
A. Résultats : observation qualitative

$$G_r = 7,4 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

$$T_{sat} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$$

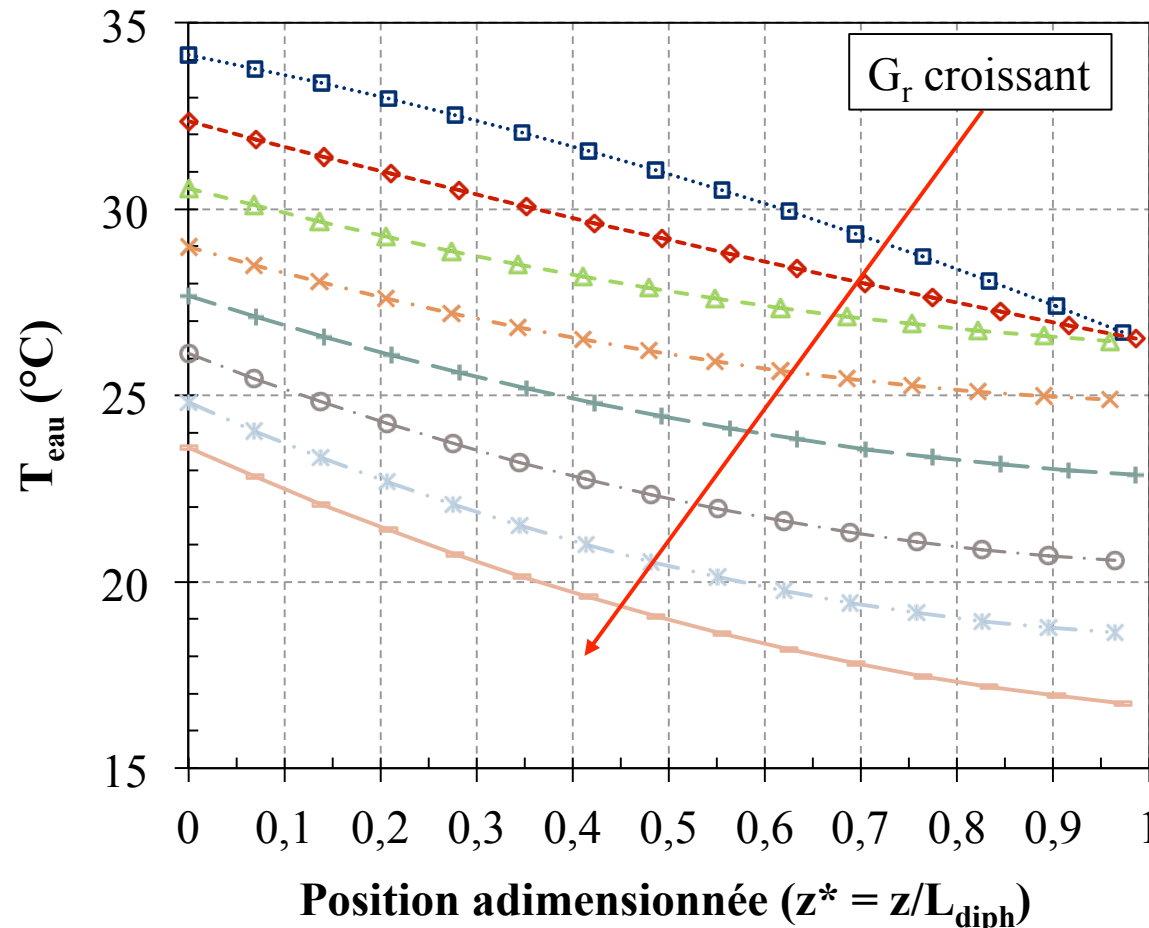
ΔT s améliore la distribution du fluide

$Q \nearrow$ et S quasi constante

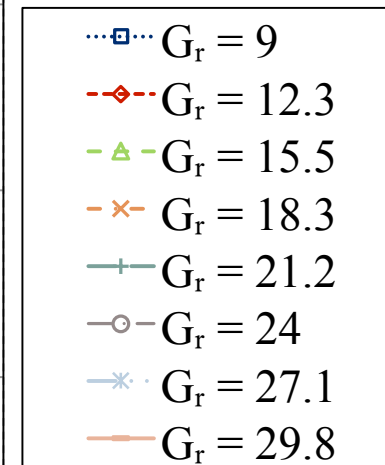


B. Analyse locale : mesures ...

A. Variation de la température de l'eau le long de l'échangeur



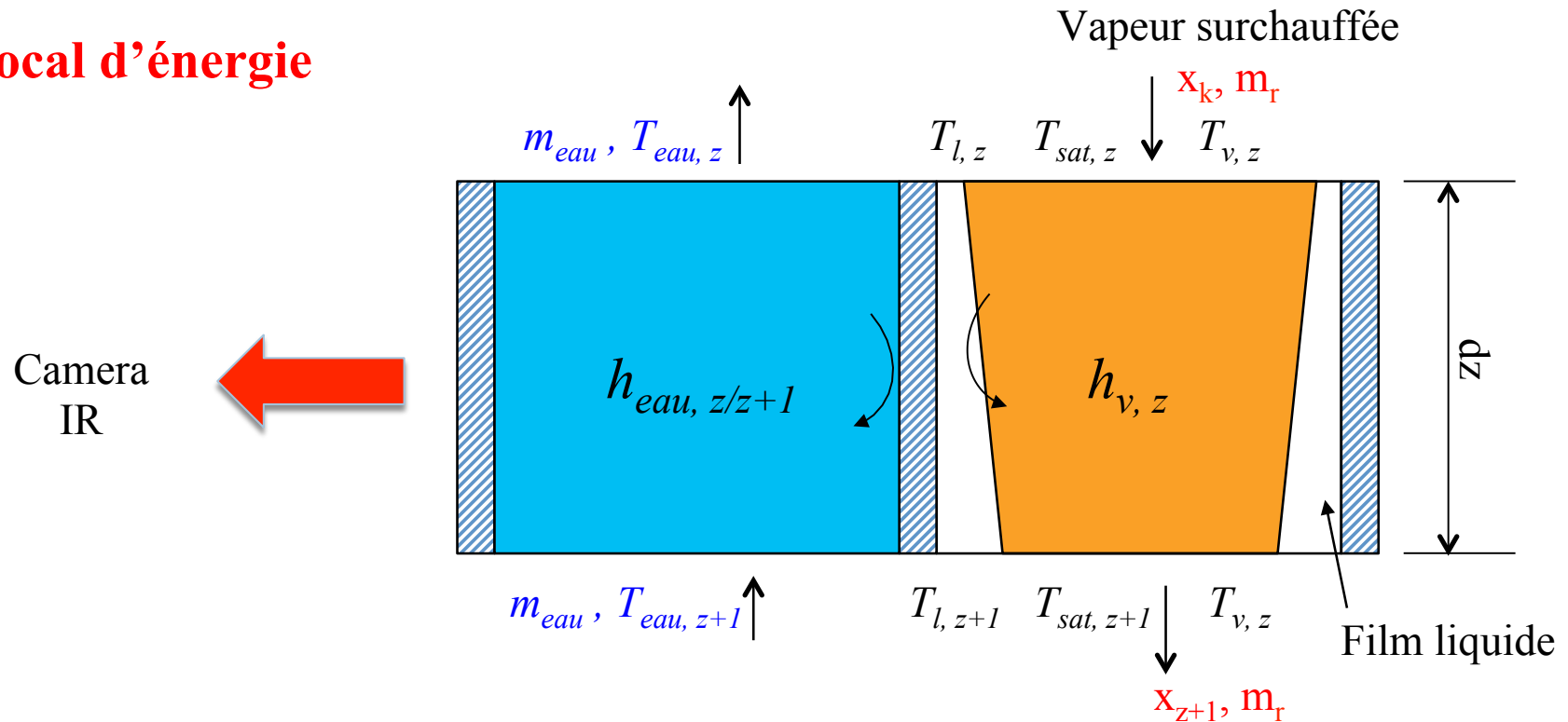
Flux massique
en kg.m⁻².s⁻¹



➔ Surchauffes vapeur
comprises entre 5 et 25 K

Analyse locale : bilans ...

bilan local d'énergie



Enthalpie eau

$$\dot{m}_{eau} c_{eau} (T_{eau,k} - T_{eau,k+1}) = (x_k - x_{k+1}) \dot{m}_r \left[c_{p,l} (T_{sat,k} - \bar{T}_{l,k}) + lv + c_{p,v} (T_{v,k} - T_{sat,k}) \right]$$

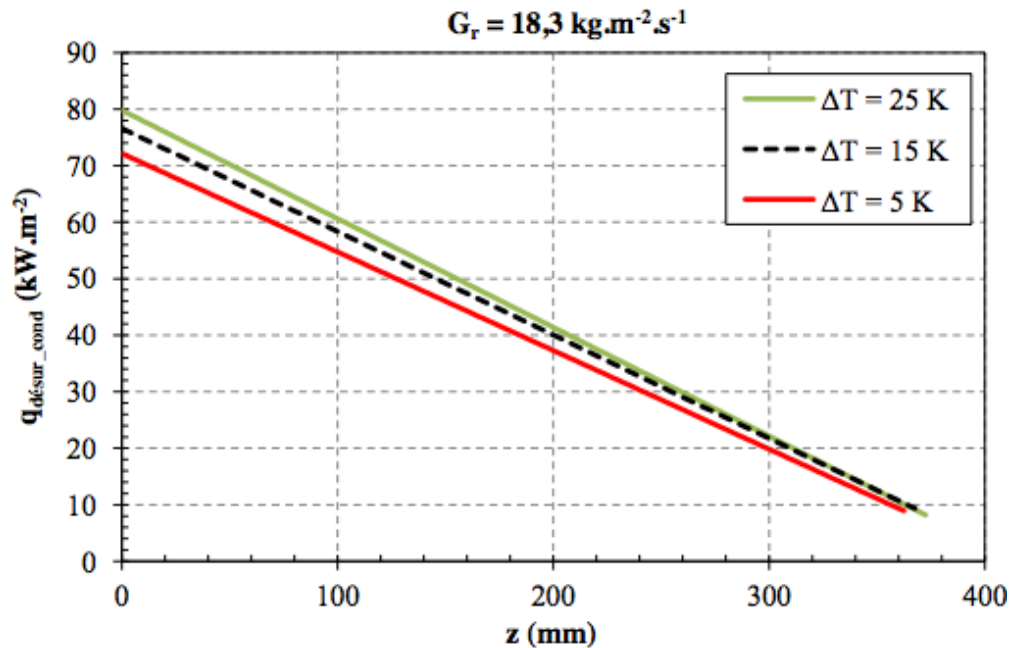
$$x_{k+1} \dot{m}_r c_{p,v} (T_{v,k} - T_{sat,k}) + (1 - x_{k+1}) \dot{m}_r c_{p,l} (\bar{T}_{l,k} - \bar{T}_{l,k+1})$$

Désurchauffe

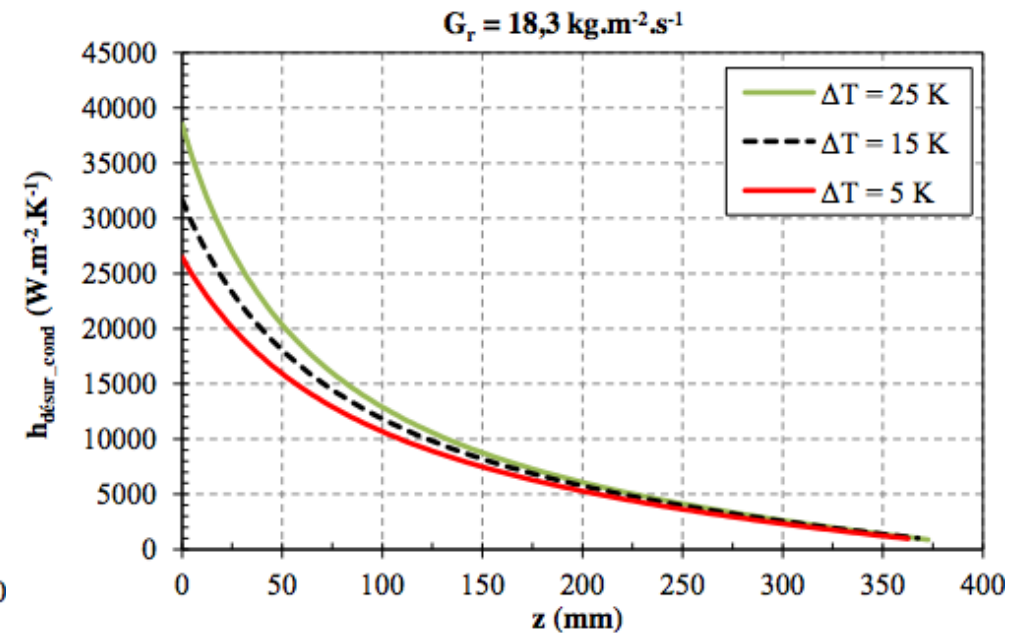
Sous-refroidissement

B. Analyse locale : profils ...

Densité de flux de chaleur



Coefficient d'échange thermique local



- 1/ Intensification des échanges thermiques sur 1/3 de la zone diphasique
- 2/ Réflexion sur les hypothèses de calcul utilisées dans la littérature :
(h ou q uniforme le long du condenseur ...)

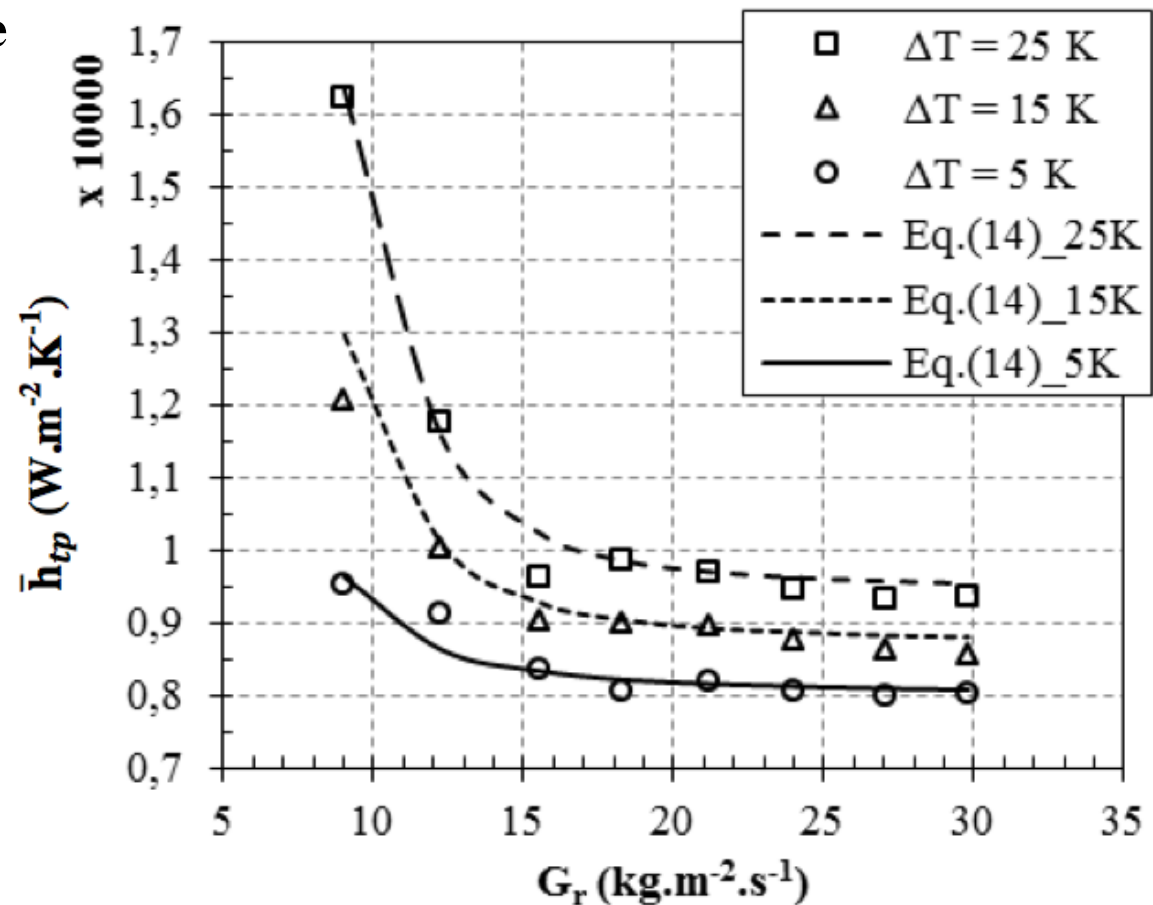
B. Analyse locale : bilan globale zone 2ϕ ...

Coefficient thermique diphasique
(désurchauffe + condensation)

$$\bar{h}_{tp} = \frac{1}{L_{tp}} \cdot \sum_{i=1}^n h_{tp}(z_i) \cdot dz$$

Remarque :

Sous-estimation de h_{tp} entre
15-20 % entre les approches
globales (h ou q uniforme) et
l'approche locale



Ce que l'on note sur l'influence de la surchauffe vapeur :

→ Très favorable pour la condensation en mode gravitaire

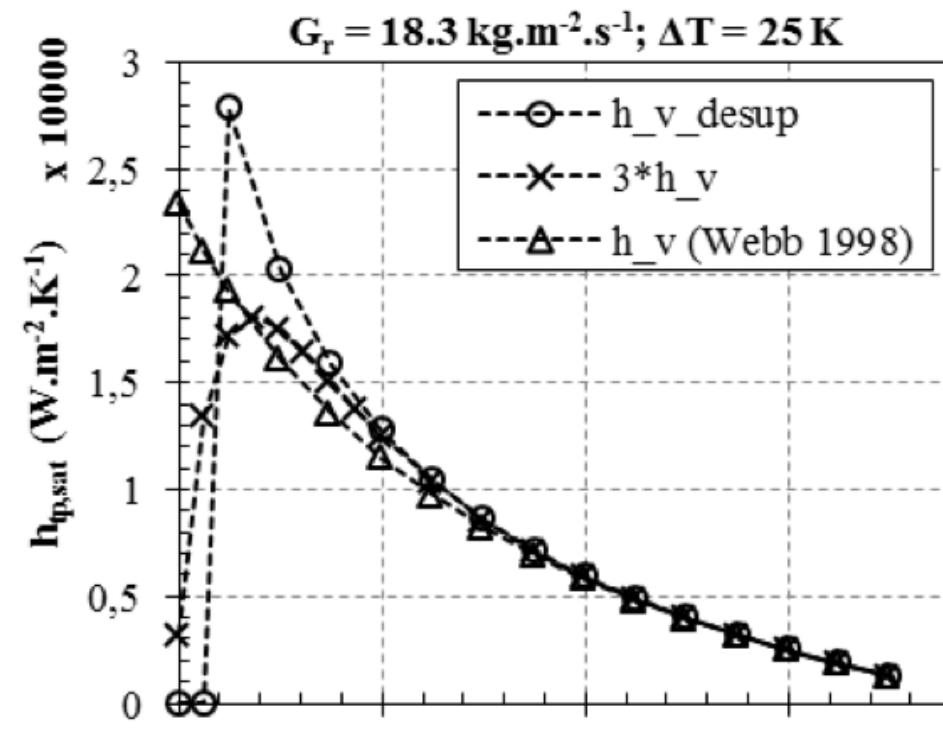
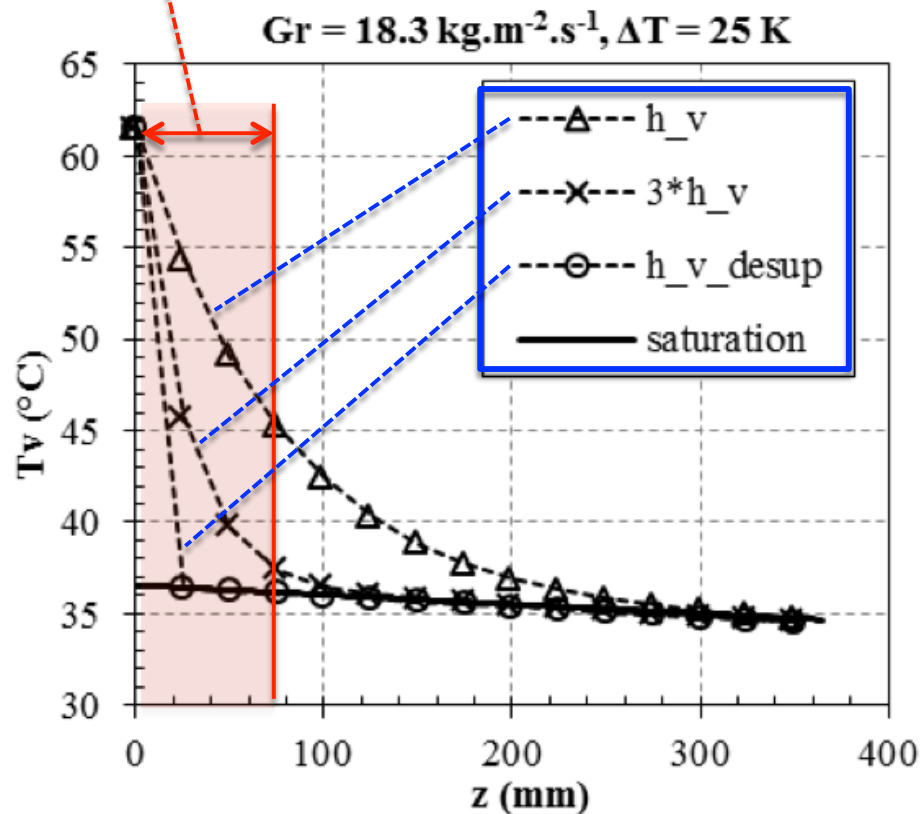
→ Pour la condensation mixte gravitaire/convective, h^* ↗ similairement à ΔP^*

C. Modèles de désurchauffe vapeur

Modèles de désurchauffe :

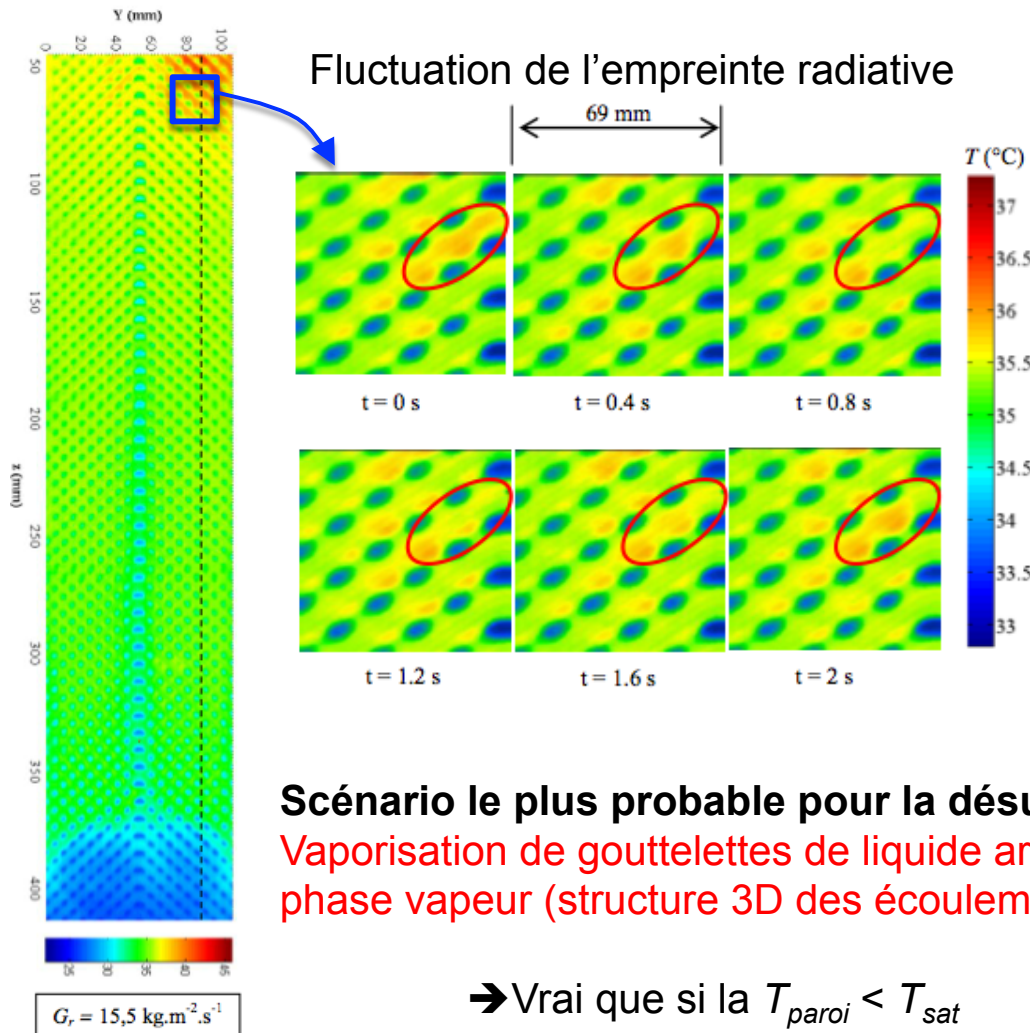
- Désurchauffe vapeur purement convective : h_v
- Désurchauffe vapeur convective intensifiée : $3 \cdot h_v$
- Désurchauffe vapeur sèche ($\Delta x = 0$) : h_{v_desup}

Distance de désurchauffe
par visualisation exp IR

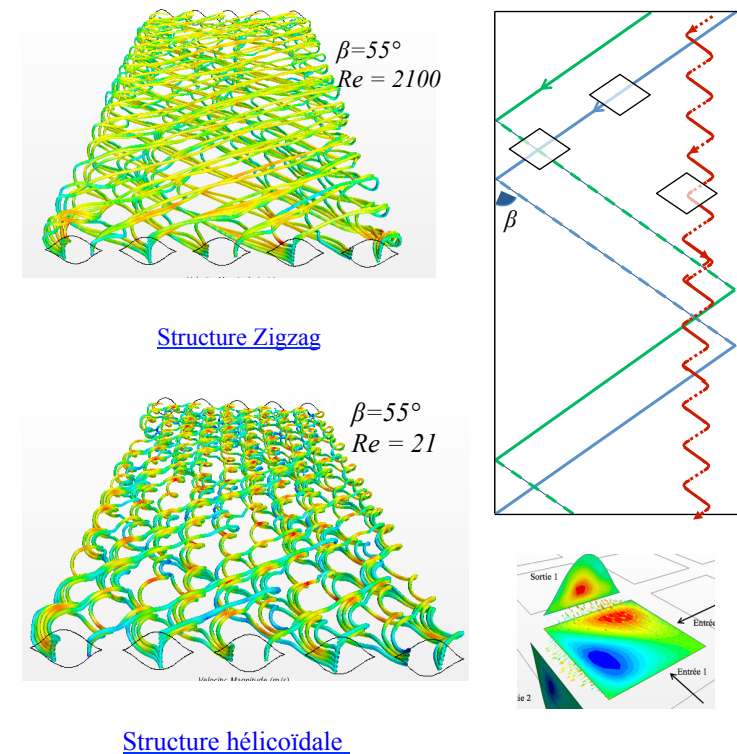


C. Modèles de désurchauffe vapeur

Visualisation IR dans la zone d'entrée du condenseur :



Analyse des écoulements :
→ approche numérique



Scénario le plus probable pour la désurchauffe :

Vaporisation de gouttelettes de liquide arrachées du film de condensat au cœur de la phase vapeur (structure 3D des écoulements favorisant les interactions).

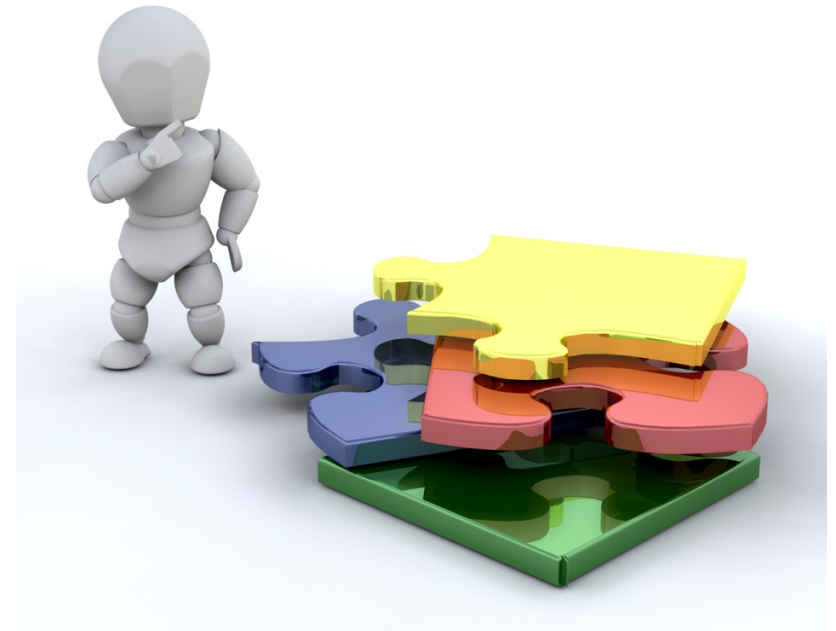
→ Vrai que si la $T_{paroi} < T_{sat}$

- Contexte général du travail

- Outils expérimentaux
 - ❖ Dispositif expérimental
 - ❖ Métrologie IR

- Transferts thermiques
 - ❖ Observation qualitative
 - ❖ Analyse quantitative
 - ❖ Modèles de désurchauffe

- **Conclusion**



Conclusion

Surchauffe de la vapeur induit une intensification des transferts thermo-hydrauliques dans les échangeurs à plaques en mode condenseur :

- **amélioration de la distribution de l'écoulement en entrée d'échangeur**
- **Intensification des interactions d'écoulement** entre la phase vapeur et le film tombant du condensat dans une géométrie d'écoulement 3D
 - ➔ **Déstabilisation du film liquide et désurchauffe de la vapeur** par rapport à une surface d'échange étendue

 **À la condition que la température de la paroi soit inférieure à la température de saturation !**

Mise en évidence d'une forte variation du coefficient d'échange et de la densité de flux de chaleur entre l'entrée et la sortie de l'échangeur

- ➔ **Sous-estimation** des approches **DTLM et $q = cte$** sur les valeurs du coefficient d'échange de condensation moyen, de **15-20 %** (% IR)



Merci pour votre attention

Références articles

K. Sarraf, S. Launay, L. Tadrict, **Experimental investigation of superheated vapor effects on condensation inside a plate heat exchanger: highlight of phase change presence in vapor desuperheating zone**, *International Journal of Thermal Science*, Accepted in Feb. 2016.

K. Sarraf, S. Launay, G. El Achkar, L. Tadrict, **Local vs global heat transfer and flow analysis of hydrocarbon complete condensation in plate heat exchanger based on infrared thermography**, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 90, Nov. 2015, p. 878-893.

K. Sarraf, S. Launay, L. Tadrict, **Complex 3D-flow analysis and corrugation angle effect in plate heat exchanger**, *International Journal of Thermal Sciences*, Volume 94, Aug. 2015, p. 126-138.