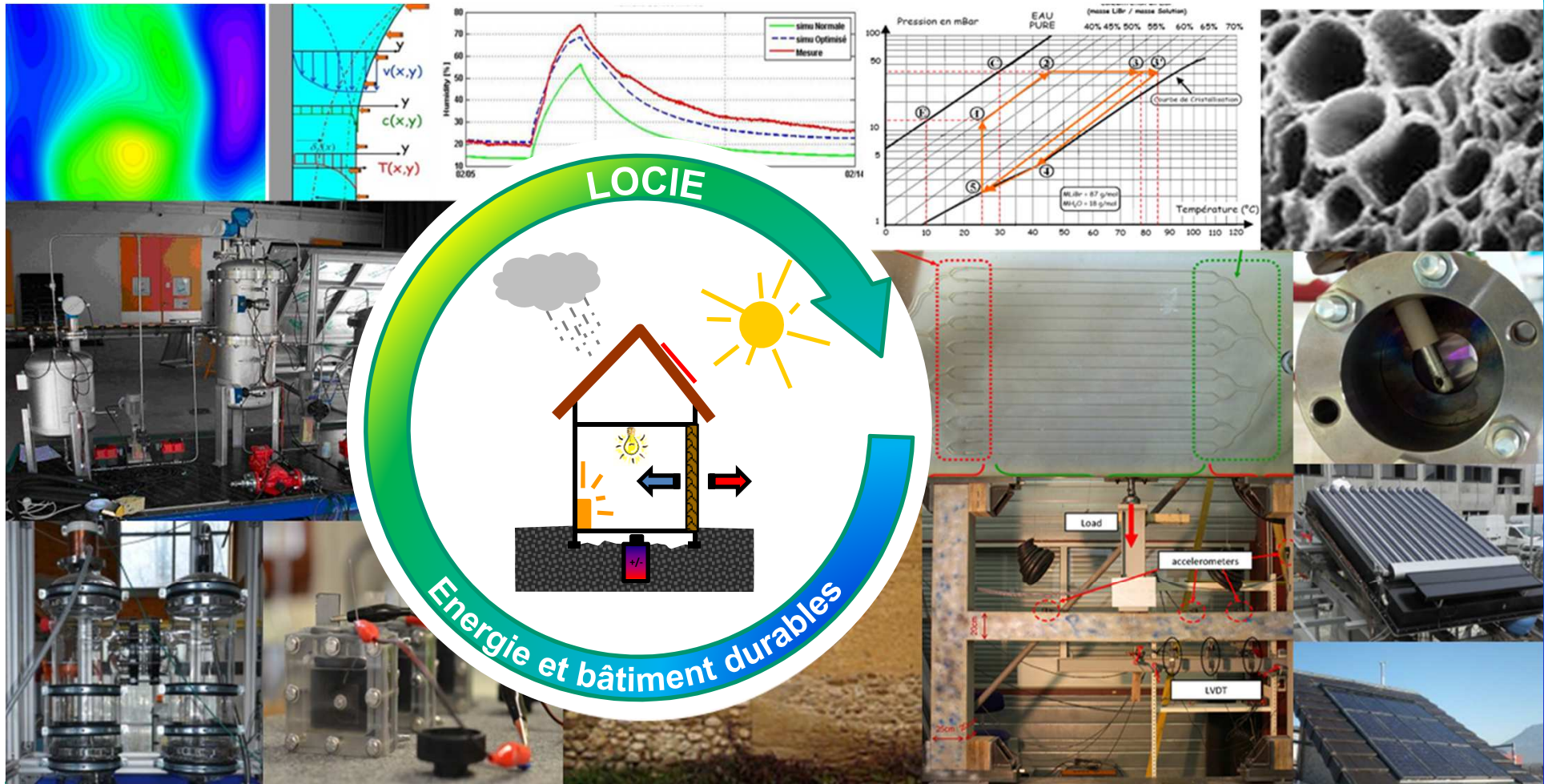


Echangeurs multifonctionnels à films ruisselants



Echangeurs à plaque et films ruisselants

Cadre
Procédés à absorption

↘
Applications potentielles

Froid solaire ; stockage énergie solaire
inter-saisonnier ; transport énergie sur de
longues distances

↘
Blocages actuels

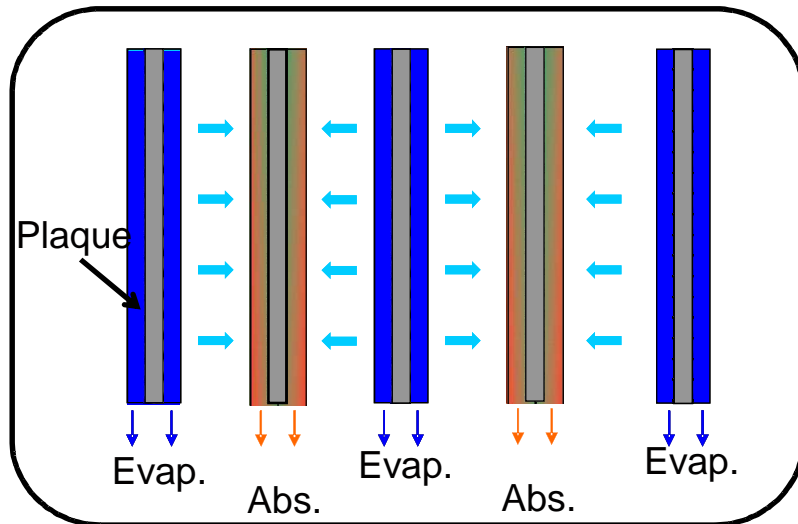
Machines volumineuses
Investissement important
Coûts de fonctionnement importants

↘
Objectifs

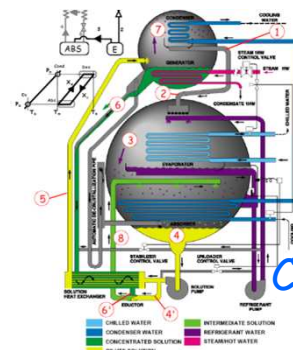
Développement de nouveaux concepts de machines
à fortes compacité et efficacité (évaporateurs,
absorbeurs, desorbeurs, condenseurs)

Enjeux scientifiques et technologiques

Description des transferts de masse et de
chaleur à débits et pertes de charges réduits



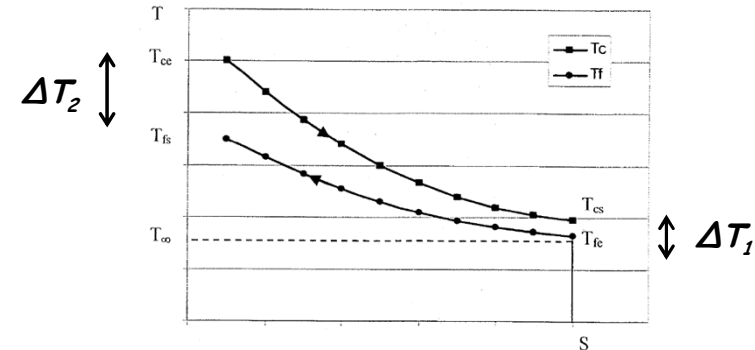
Nouveaux concepts d'évaporateur
absorbeur à plaques et films ruisselants
(régime laminaire ou à ondelettes)



Dimensionnement d'un échangeur à plaque

$$\dot{Q} = KS\Delta T_{LM} \quad \Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_c} + R_{ec} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_f} + R_{ef}$$



Estimation de la puissance échangée

$$E = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} = \frac{1 - \exp[-(1-R)NUT]}{1 - R \cdot \exp[-(1-R)NUT]}$$

$$R = \frac{(\dot{M}Cp)_{min}}{(\dot{M}Cp)_{max}}$$

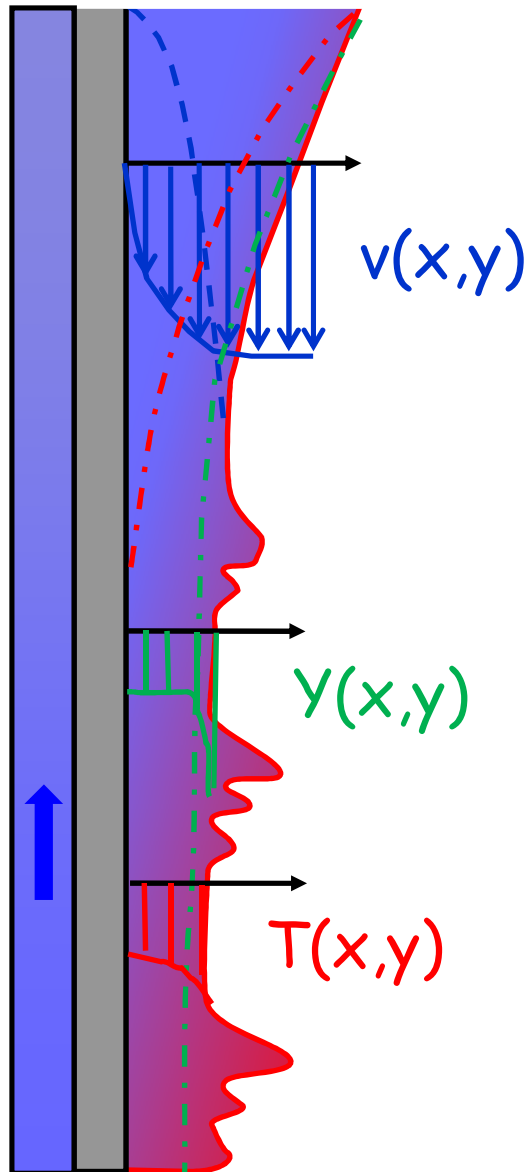
$$NUT = \frac{KS}{(\dot{M}Cp)_{min}}$$

Hypothèses : $h_c = \text{cst}$

$h_f = \text{cst}$

$$dT_c = -\frac{d\dot{Q}}{\dot{M}_c C_{p_c}}$$

$$dT_f = -\frac{d\dot{Q}}{\dot{M}_f C_{p_f}}$$



Ecoulement de surface libre

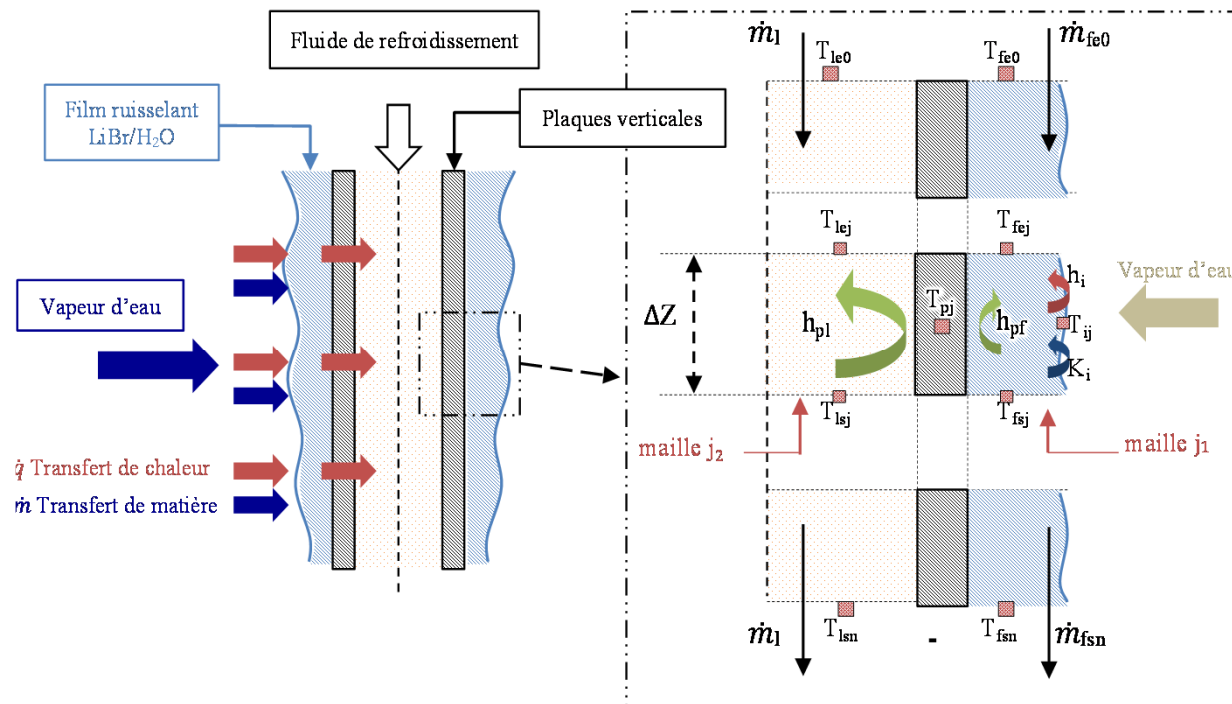
Couplage des transferts de masse et de chaleur à l'interface ($Y_i = Y_{sat}(T_i, P)$)

Coefficients de transfert de masse fortement variable le long de la plaque

Apport de chaleur et de matière à l'interface

Les méthodes du DTLM ou du NUT ne sont plus applicables

Modélisation simple des échangeurs multifonctionnels à plaque et films ruisselants



Bilan enthalpie film ruisselant

$$\dot{m}_{fsj} \cdot h_{fsj} - \dot{m}_{fej} \cdot h_{fej} - \dot{m}_{abs} \cdot h_{vap} = h_{pf} \cdot (T_{pj} - T_{fj}) \cdot \Delta Z \cdot L$$

Bilan enthalpie liquide refroidissement

$$\dot{m}_{lj} \cdot C_{pl} \cdot (T_{lsj} - T_{lej}) = h_{pl} \cdot (T_{pj} - T_{lj}) \cdot \Delta Z$$

Bilan masse film ruisselant :

$$\dot{m}_{abs} = \dot{m}_{fsj} - \dot{m}_{fej}$$

Bilan d'espèces film ruisselant

$$\dot{m}_{abs} = \dot{m}_{fsj} \cdot x_{fsj} - \dot{m}_{fej} \cdot x_{fej} = K_i \cdot (x_i - x_{fj}) \cdot \rho_{eau} \cdot \Delta Z \cdot L$$

Equilibre de la solution à l'interface :

$$x_i = f(T_i, P)$$

Bilan enthalpie à l'interface :

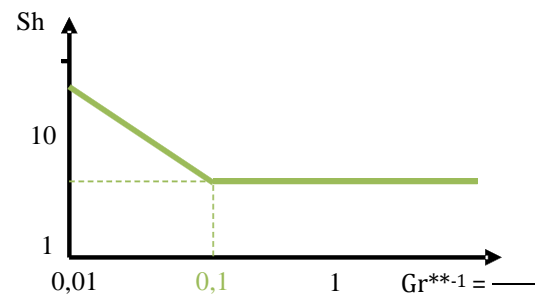
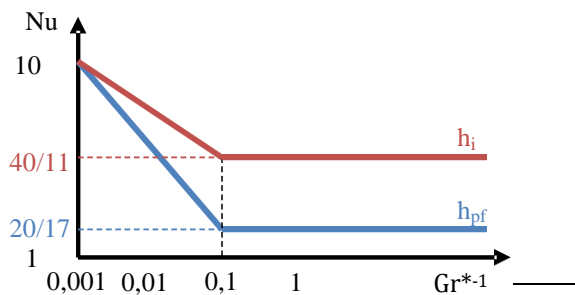
$$\dot{m}_{abs} \cdot \Delta h_{LV} = h_i \cdot (T_{ij} - T_{fj}) \cdot \Delta Z \cdot L$$

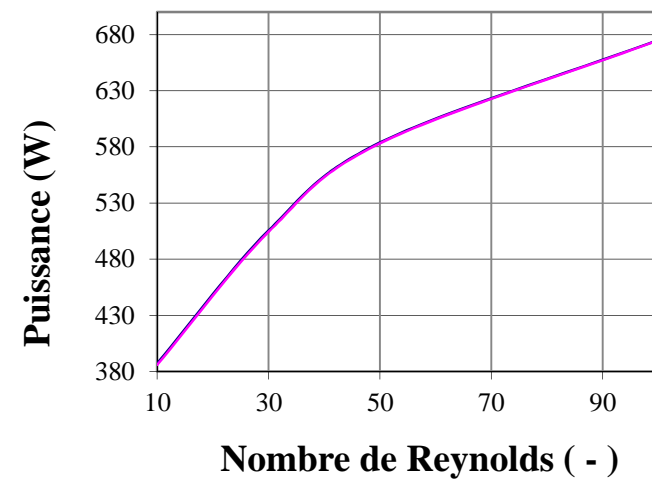
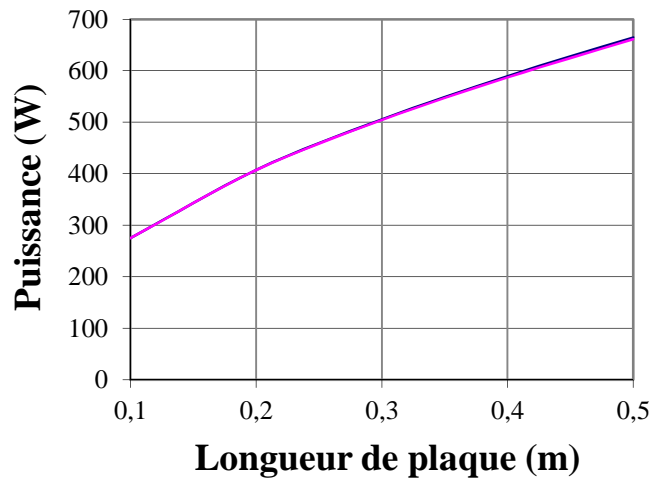
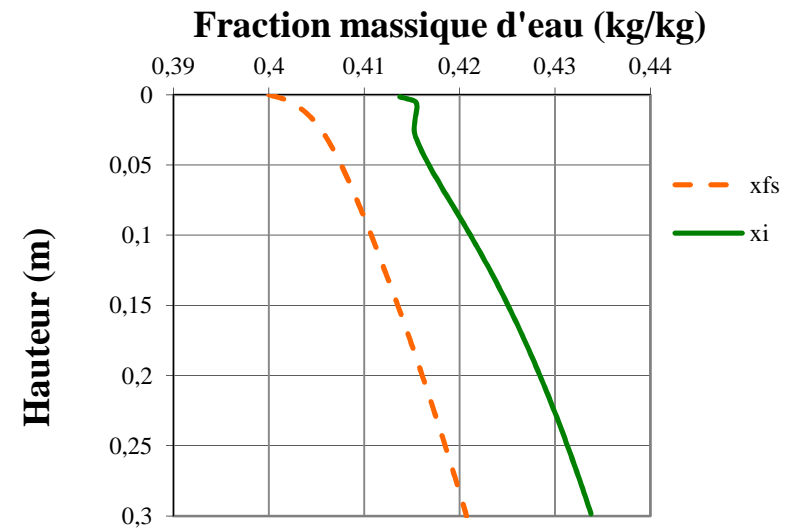
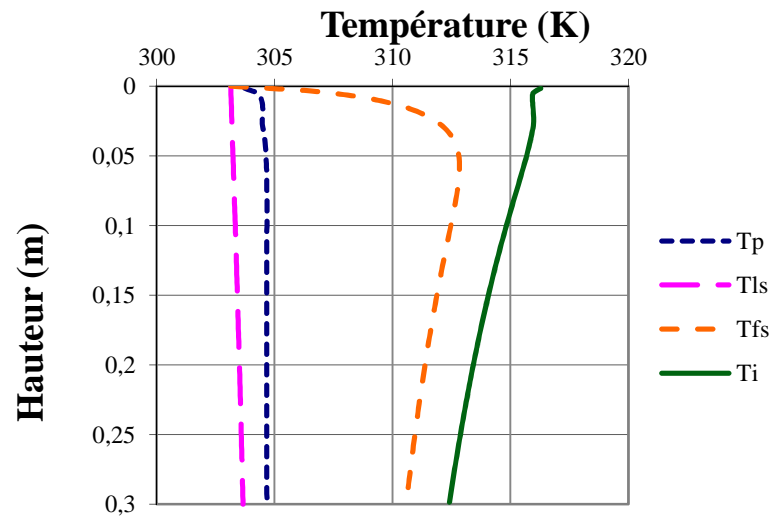
Bilan d'espèces à l'interface à

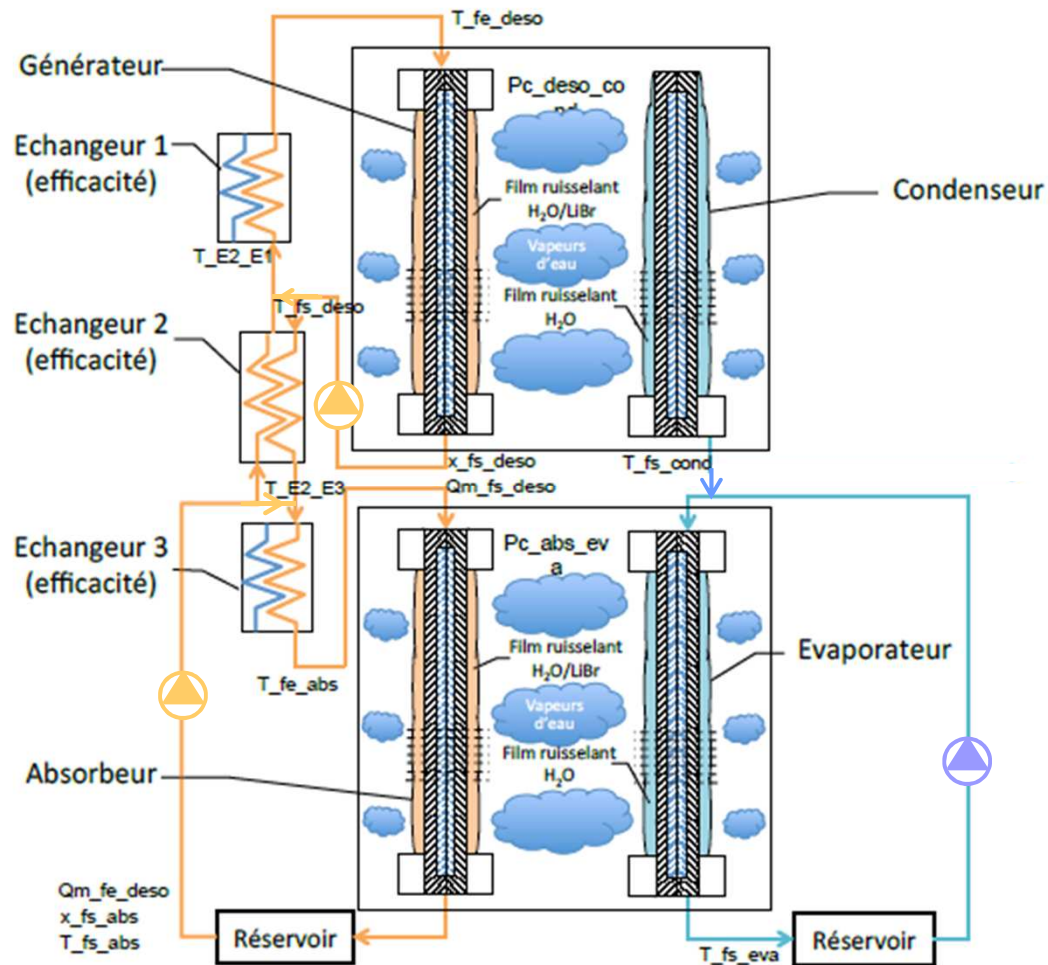
$$\dot{m}_{abs} = K_i \cdot (x_i - x_{fj}) \cdot \rho_{eau} \cdot \Delta Z \cdot L$$

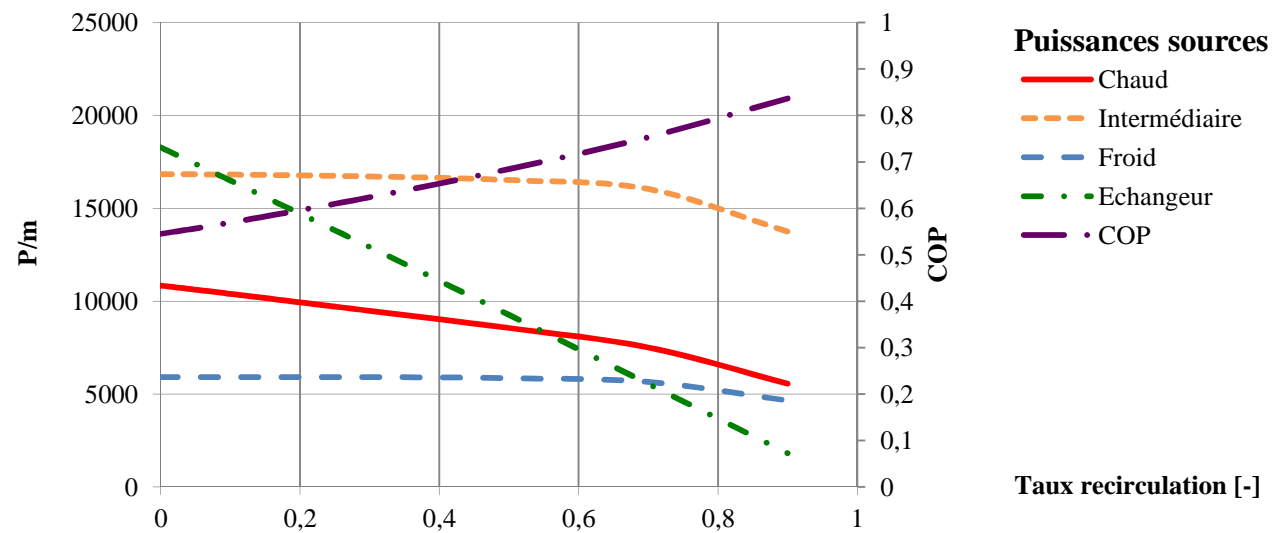
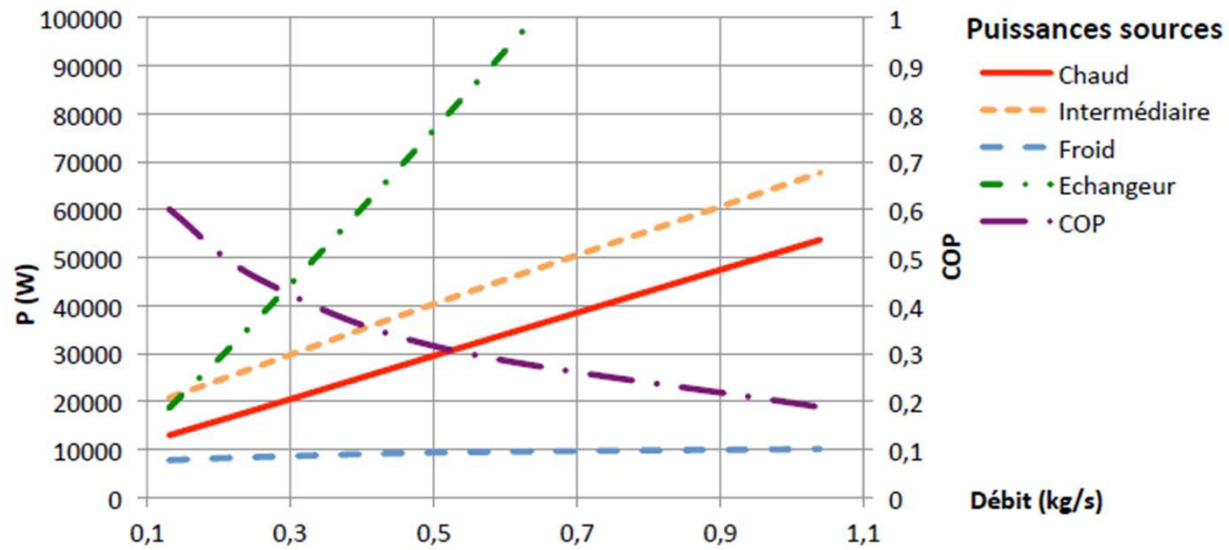
Bilan énergie au niveau de la plaque :

$$h_{pl} \cdot (T_{pj} - T_{lj}) = h_{pf} \cdot (T_{fj} - T_{pj})$$



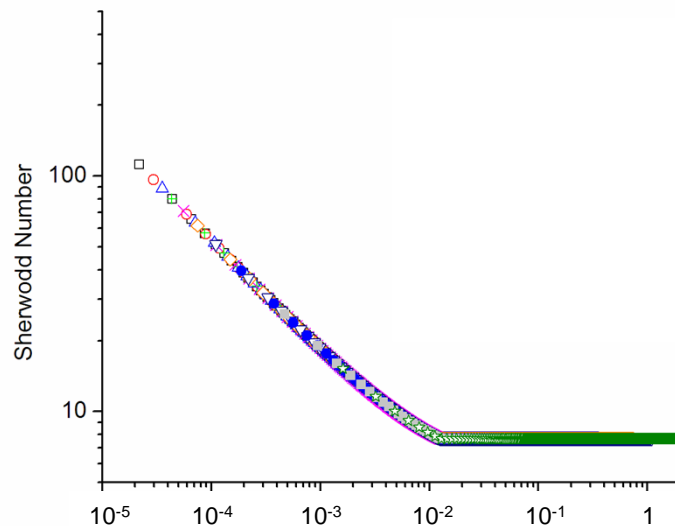




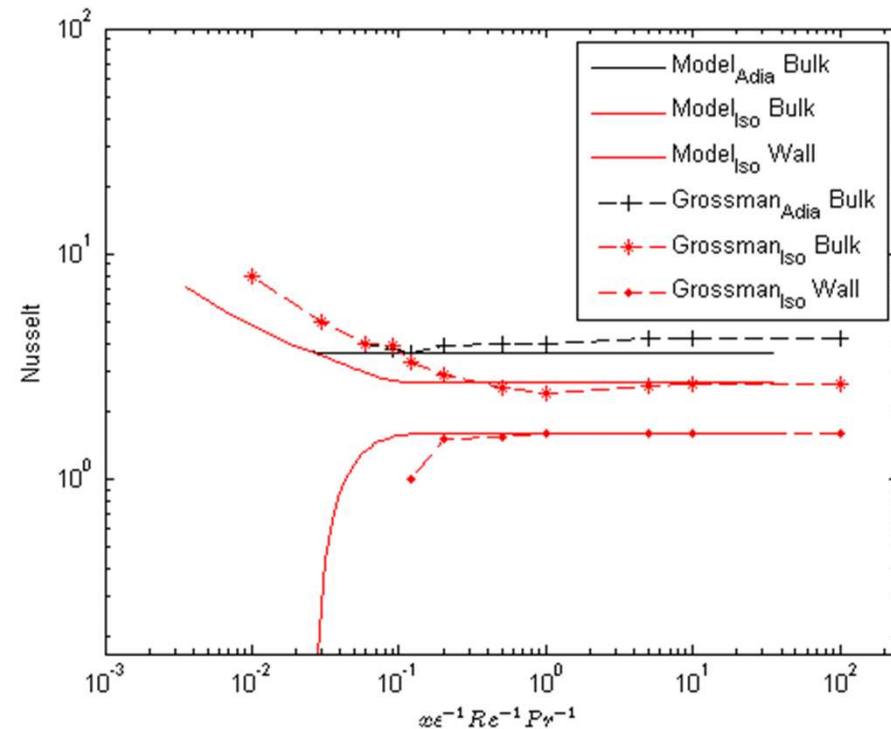


Hypothèse

- Effet Soret et Dufour négligeables,
- Dissipation visqueuse négligeable,
- Pertes radiatives et conductives négligeables
- Equilibre à l'interface
- Écoulement établi bidimensionnel,
- Propriétés physiques du film constantes,
- Débit massique absorbé \ll débit entrant

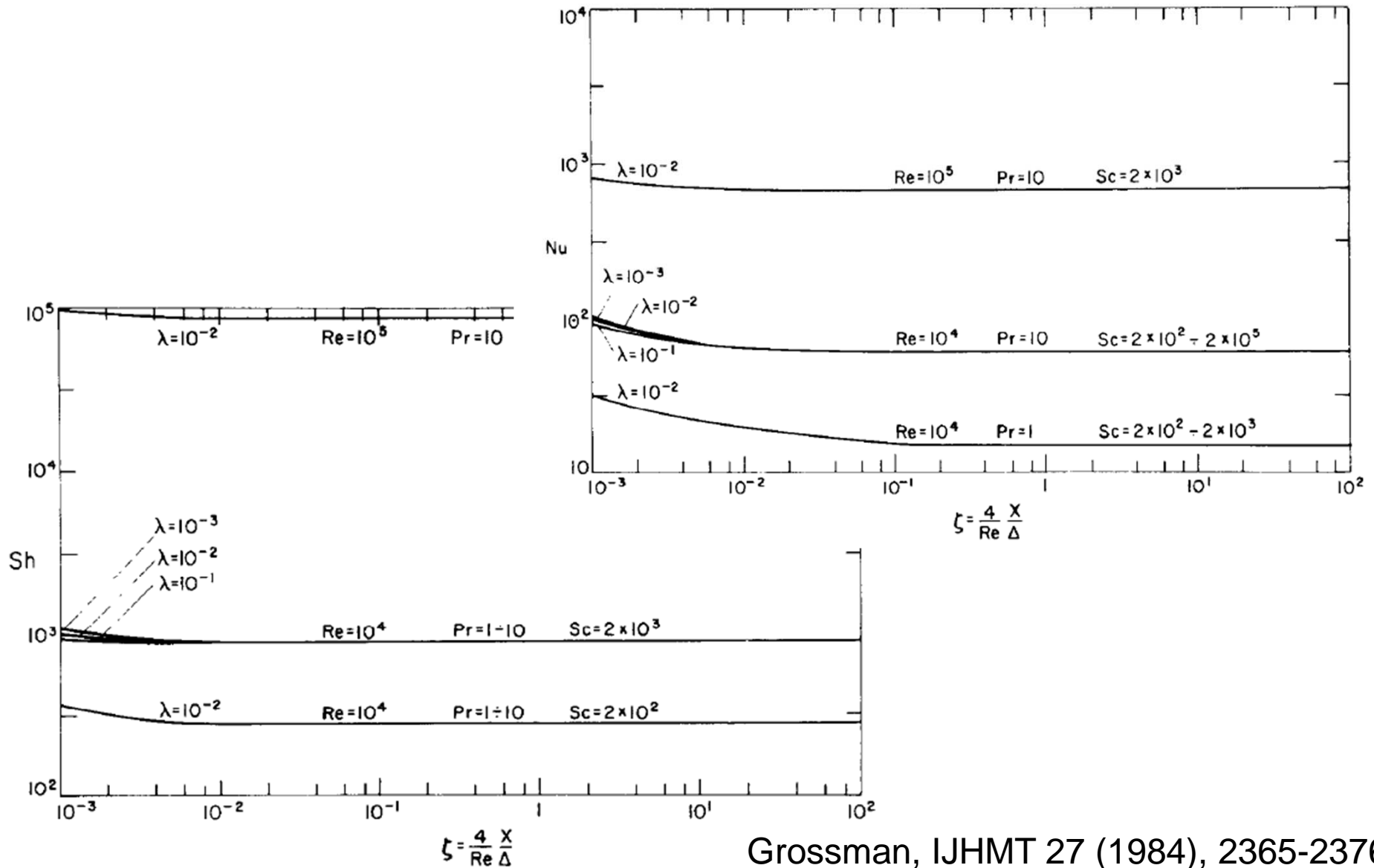


$$Gz^*{}^{-1} = \left(\frac{(1 - Y_{Ai})}{1 - Y_{A0}} \text{Re} \cdot \text{Sc} \cdot x / \varepsilon \right)^{-1}$$



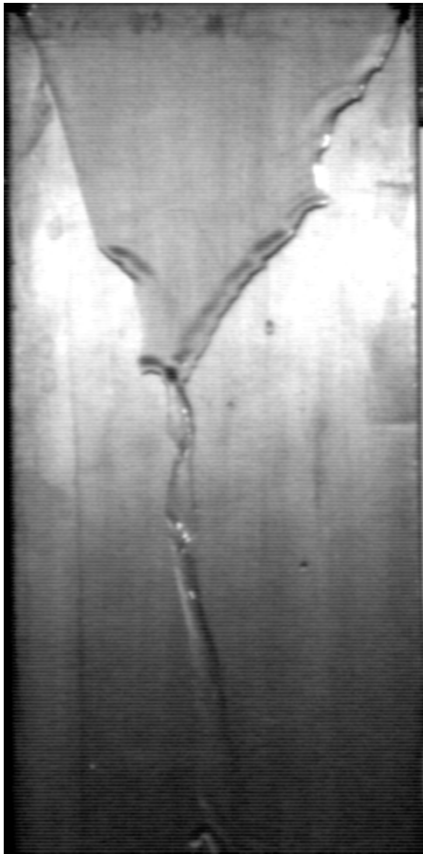
Carolina Flores

Grossman, IJHMT 26 (1983), 357-371



Grossman, IJHMT 27 (1984), 2365-2376

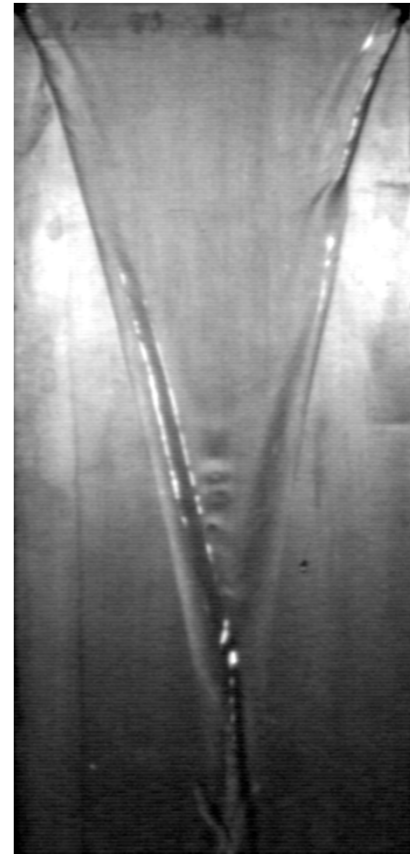
Écoulement sur des plaques planes brutes



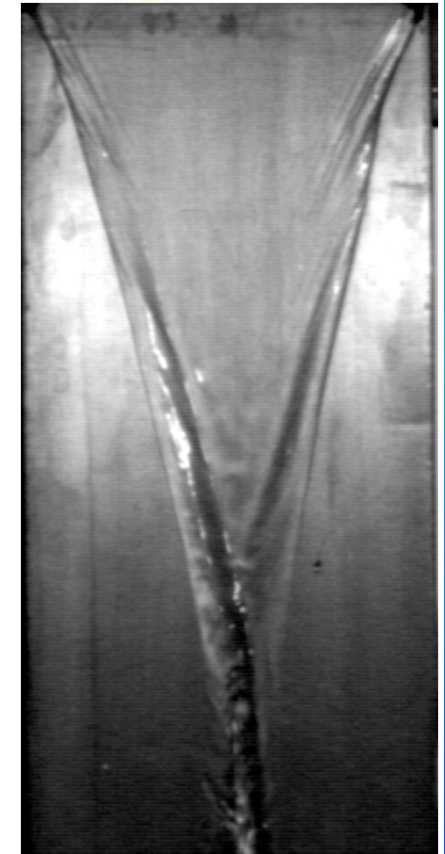
5l/h
Re=55



15l/h
Re=166



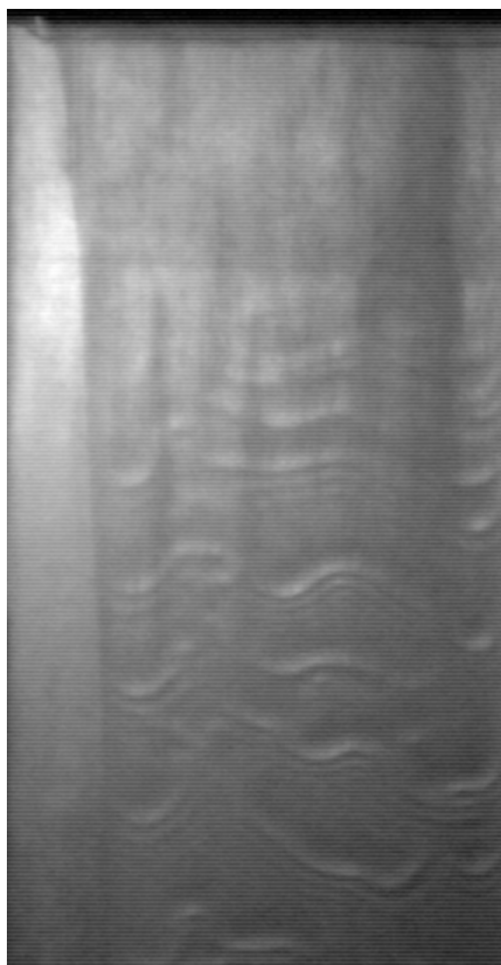
50l/h
Re=555



100l/h
Re=1111

Largeur de plaque : 10 cm

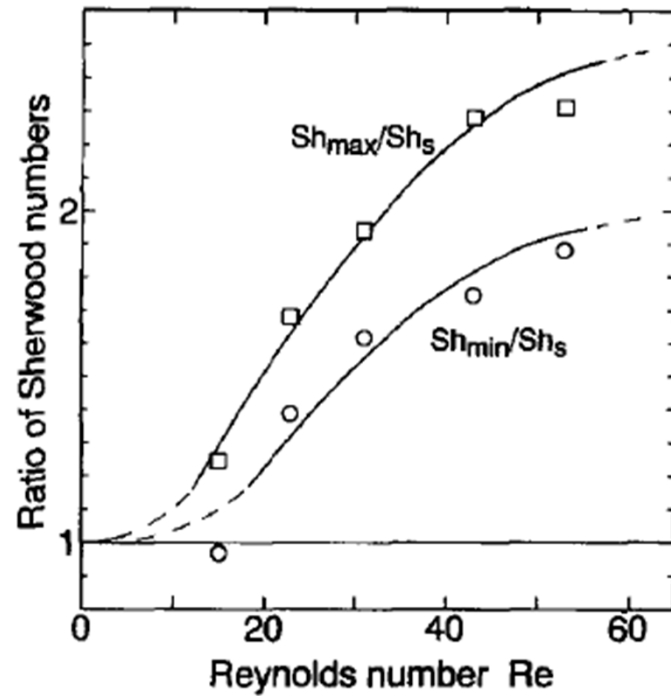
hauteur : 25 cm



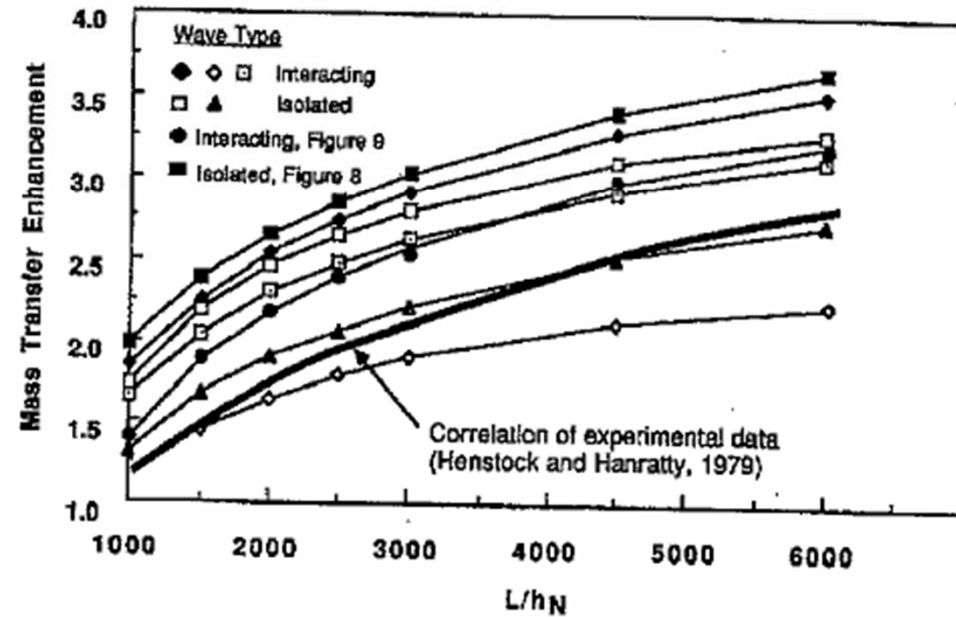
2l/h
Re=22



50l/h
Re=555



Yoshimura et al.,
 Chemical Eng. Science 51 (1995)
 1231-1240



Wasden et Dukler
 AIChE J. 36 (1990) 1379-1390

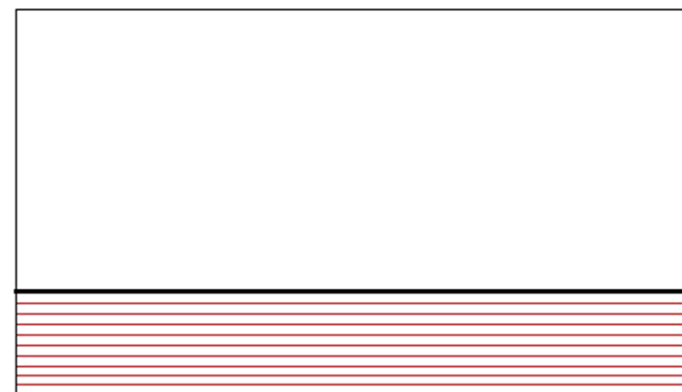
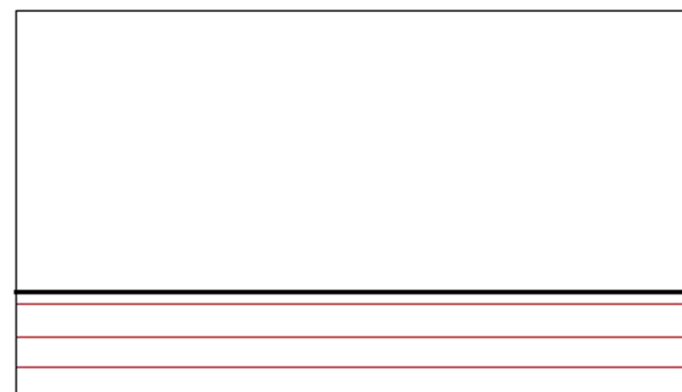
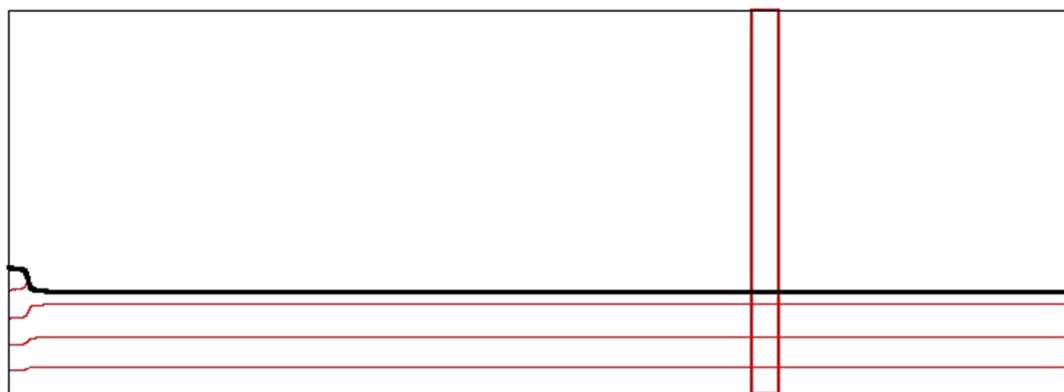


Films ruisselants

- Ecoulements instationnaires
- Ecoulements à surface libre
- Ecoulements Gouvernés par les effets inertiels, gravitaires, visqueux et capillaires

Modélisation des films ruisselants

- **Méthodes CFD non adaptées**
- **Développement de méthodes alternatives** (méthode des résidus pondérés...)
 - Analyse dimensionnelle (troncature des termes d'ordre 2 (CL))
 - Intégration des équations locales (masse + QDM) sur l'épaisseur
 - Obtention de 2 équations gouvernant h et q



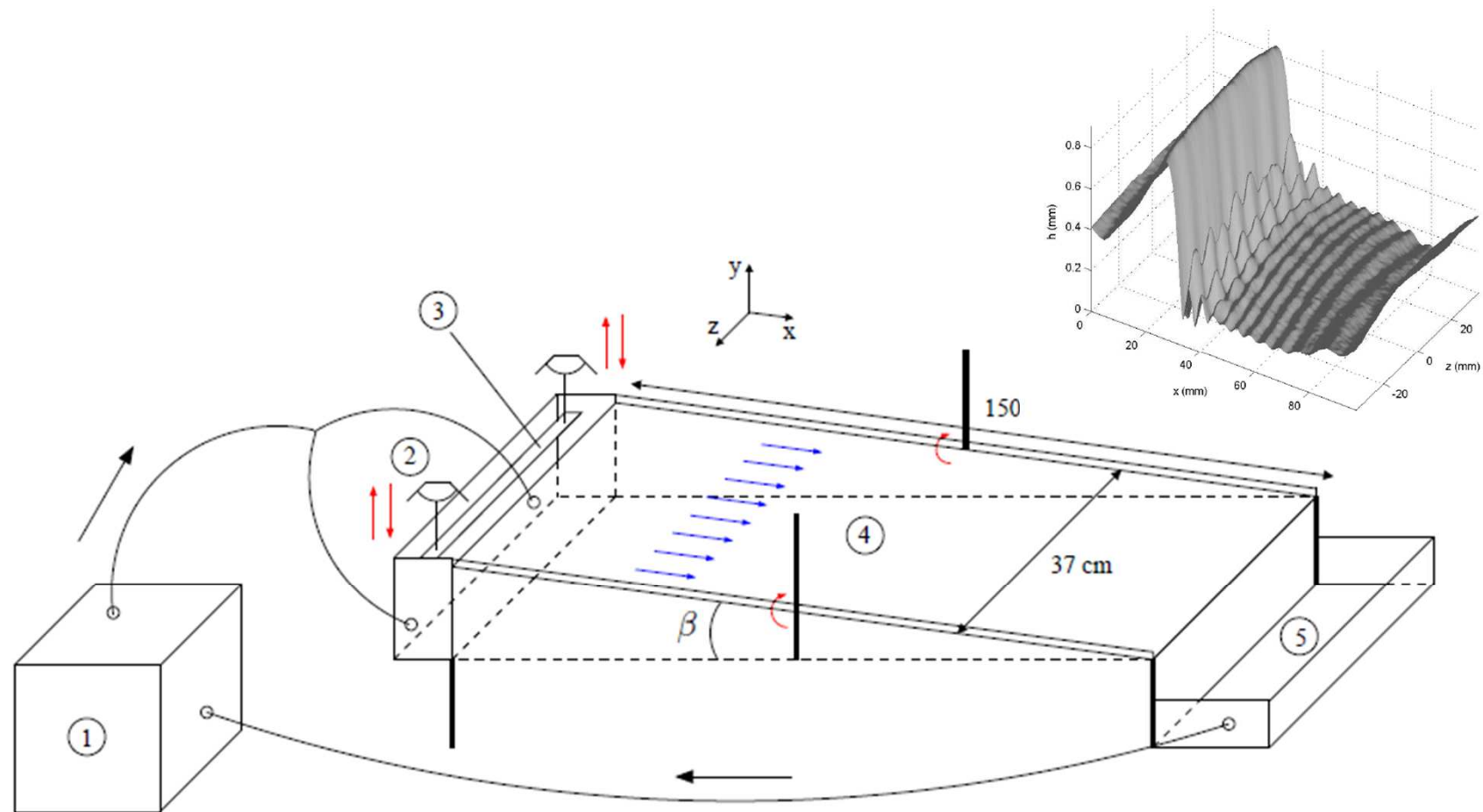
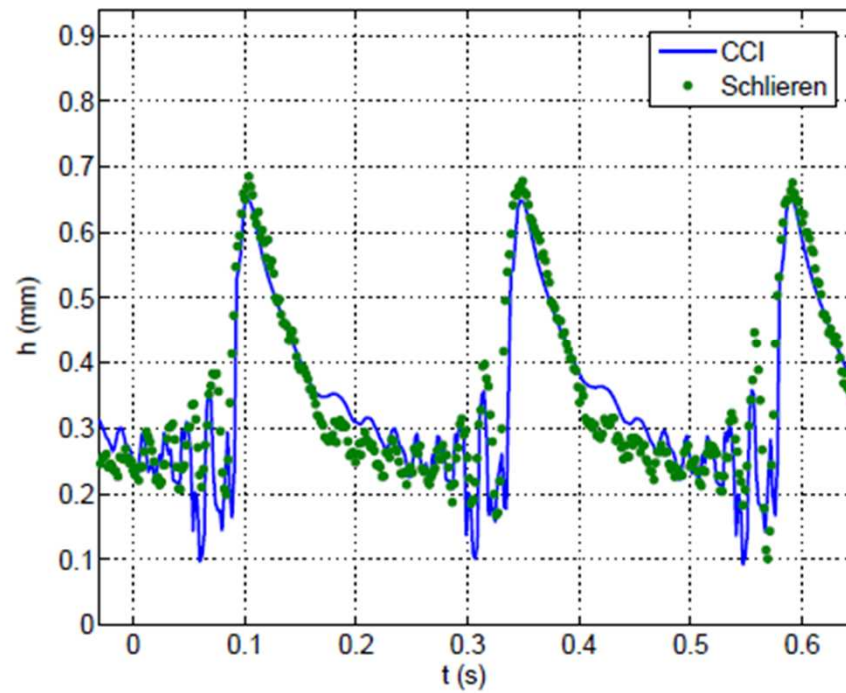
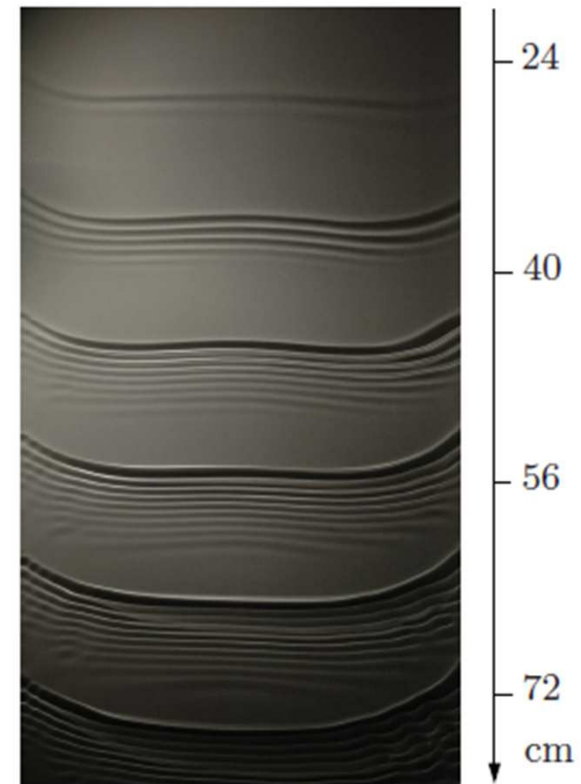


FIGURE 2. Sketch of the experimental set-up. 1: pump, 2: loudspeakers, 3: aluminium plate, 4: glass plate, 5: collection tank.

S . MERGUI (Fast)



(b)



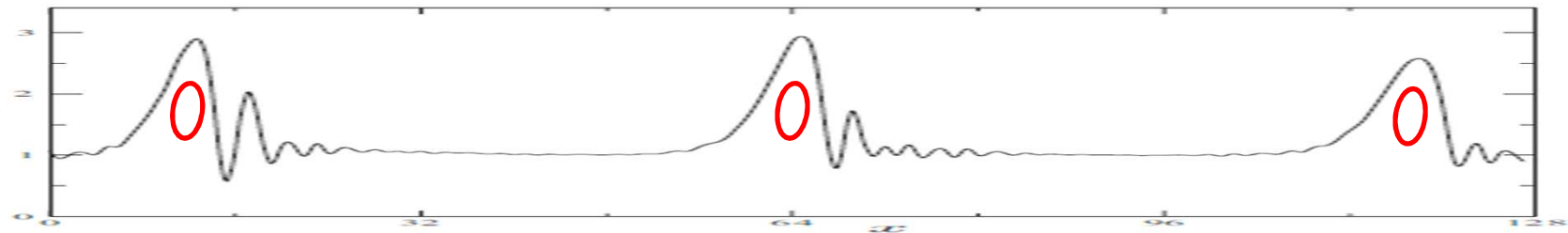
(c)

N. KOFMAN, S. MERGUI,
AND C. RUYER-QUIL



Transferts de masse et de chaleur

- Méthodes CFD non adaptées
- Développement de méthodes alternatives : idem écoulement
- Un problème encore ouvert



LOCIE

Laboratoire Optimisation de la Conception et Ingénierie de l'Environnement

UMR 5271 CNRS – Université de Savoie

The collage features several key elements:

- Top Left:** A 2D contour plot showing a spatial distribution of a variable, with colors ranging from blue (low) to red (high).
- Top Middle:** A graph showing Humidity (%) on the y-axis (10 to 80) and an unlabeled x-axis (0205 to 0211). It compares three data series: 'série Normale' (solid green line), 'série Optimisée' (dashed blue line), and 'Mesure' (solid red line).
- Top Right:** A phase diagram with 'Pression en mBar' on the y-axis (1 to 100) and 'Température (°C)' on the x-axis (0 to 120). It shows a 'Courbe de Cristallisation' and data points for 'EAU PURE' and various concentrations (40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%).
- Center:** A circular logo with 'LOCIE' at the top and 'Energie et bâtiment durables' at the bottom. Inside the circle is a diagram of a house with a sun, a cloud with rain, and a battery, with arrows indicating energy flow.
- Bottom Left:** Photographs of laboratory equipment, including glass vessels and metal components.
- Bottom Middle:** A photograph of a mechanical test rig with labels for 'Load', 'accelerometers', and 'LVDT'.
- Bottom Right:** A photograph of a solar panel array on a roof.