

Responsables du projet

Hubert Monnier, Abdoulaye Kane,
Dominique Alonso, Daniel Tondeur,
Jean-François Portha, Thierry Cachot et
Laurent Falk.

*Laboratoire des Sciences du Génie
Chimique, NANCY*

Partenaires

Olivier Fudym et Bruno Ladevie

*Centre de recherche d'Albi en
Génie des Procédés des Solides
Divisés, de l'Energie et de
l'Environnement, ALBI*

REDINGOTE

PR08-1.2-1

[**R**ationalisation **E**nergétique de la **D**istillation par l'**I**Ntensification et la
Gestion **O**ptimale des **T**ransferts pour l'**E**nvironnement]

Hubert Monnier



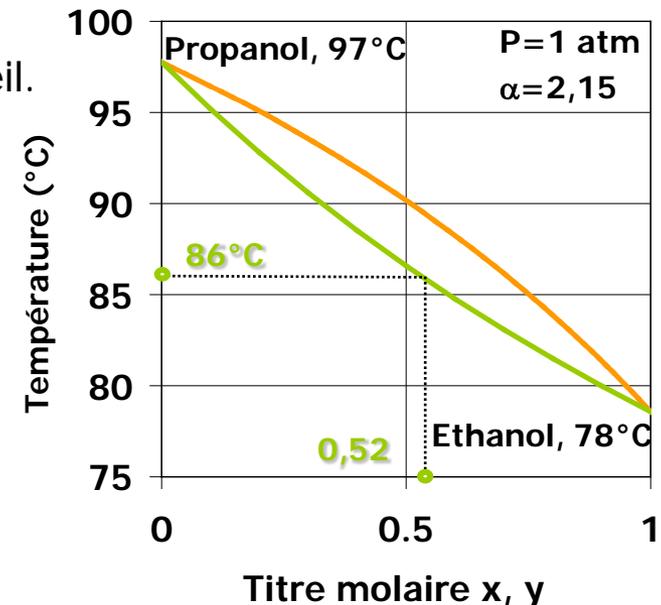
**Programme Interdisciplinaire Energie CNRS
Nantes 2009**

Mélange liquide
Ethanol/Propanol

Introduction

- **Objectifs du travail**
 - Réaliser et gérer des profils thermiques contrôlés dans une petite structure,
 - Rationaliser l'apport d'énergie aux contacteurs.
- **Exemples d'applications**
 - Séparation par distillation, pour de petites quantités (< 2 mL/min),
 - Réactions chimiques : réalisation du « Profil Optimal de Température ».
- **Souci...**
 - L'homogénéité thermique de l'appareil.
- **Cas de la distillation**
 - Binaire connu : Ethanol-*n* Propanol,
 - $x_A=0,52$, $\theta_{éb.}=86^\circ\text{C}$,
 - Technologie du film tombant.
 - **Intensification des transferts.**

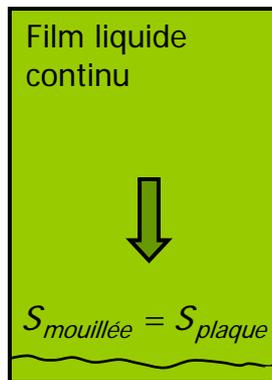
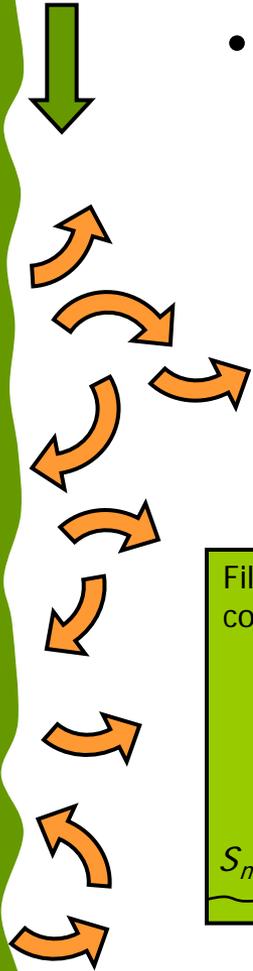
Vapeur ⊕
riche en
éthanol



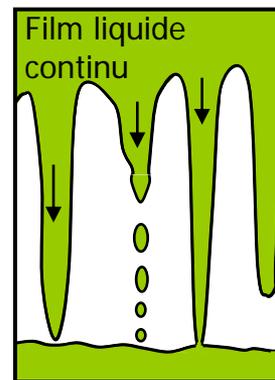
Mélange liquide
Ethanol/Propanol

Film mince et stable

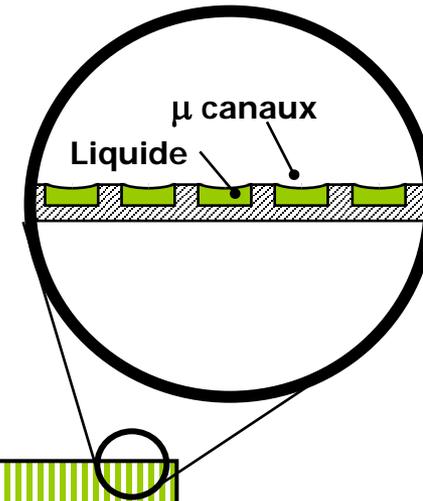
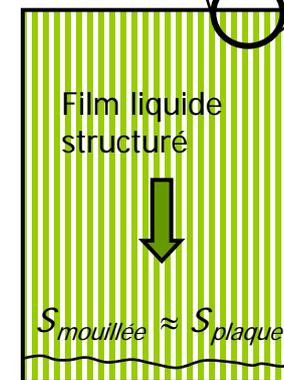
- **Problème hydrodynamique d'une plaque lisse**
 - Difficulté de générer un film mince,
 - Le film se casse, apparition de zones sèches.



A (mL/min) ↘



Micro structuration

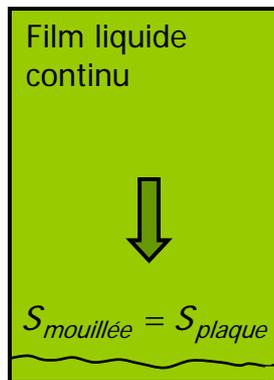
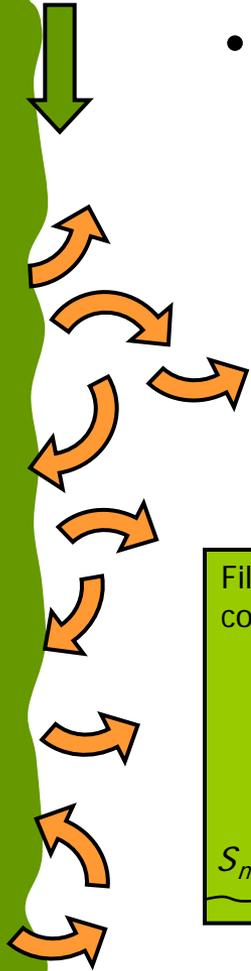


Vapeur ⊕
riche en
éthanol

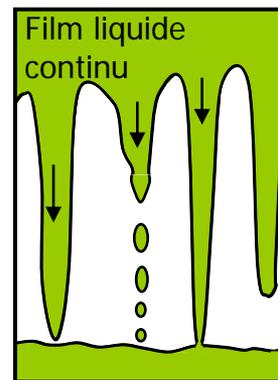
Mélange liquide
Ethanol/Propanol

Film mince et stable

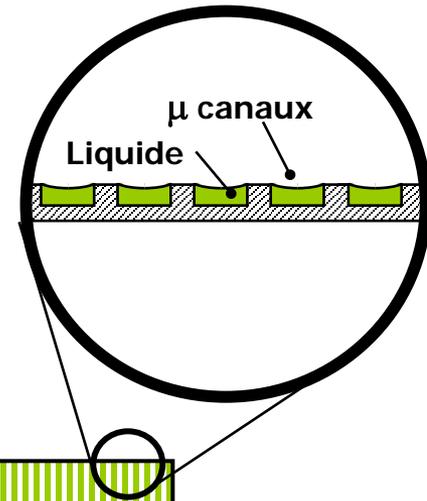
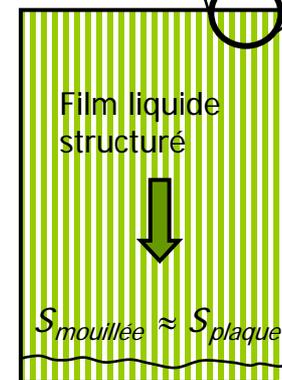
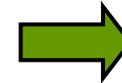
- **Problème hydrodynamique d'une plaque lisse**
 - Difficulté de générer un film mince,
 - Le film se casse, apparition de zones sèches.



A (mL/min) ↘



Micro structuration

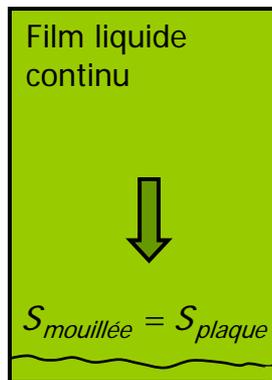
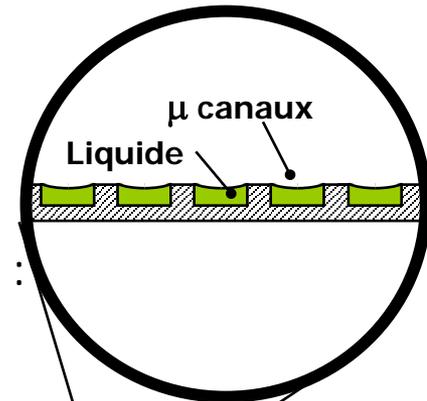


Vapeur ⊕
riche en
éthanol

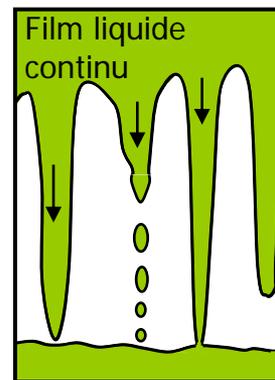
Mélange liquide
Ethanol/Propanol

Film mince et stable

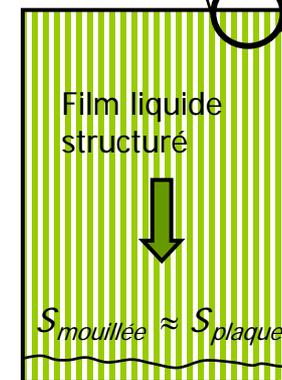
- **Problème hydrodynamique d'une plaque lisse**
 - Difficulté de générer un film mince,
 - Le film se casse, apparition de zones sèches.
- **Conséquences**
 - La surface, de liquide chauffé et vaporisé, diminue :
 $S_{L/V} \Downarrow, a \Downarrow,$
 - L'épaisseur du film liquide augmente.



A (mL/min) \Downarrow



Micro
structuration

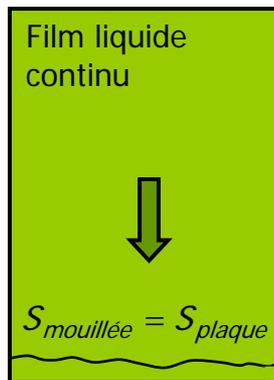
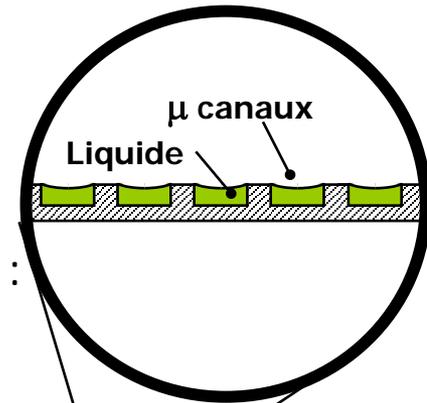


Vapeur ⊕
riche en
éthanol

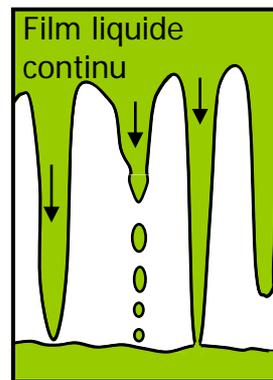
Mélange liquide
Ethanol/Propanol

Film mince et stable

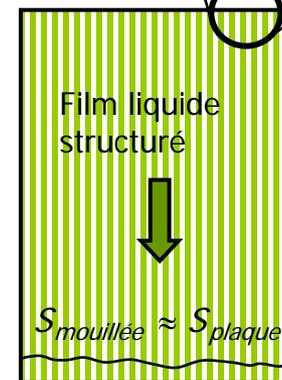
- **Problème hydrodynamique d'une plaque lisse**
 - Difficulté de générer un film mince,
 - Le film se casse, apparition de zones sèches.
- **Conséquences**
 - La surface, de liquide chauffé et vaporisé, diminue :
 $S_{L/V} \Downarrow, a \Downarrow,$
 - L'épaisseur du film liquide augmente.



A (mL/min) \Downarrow



Micro
structuration

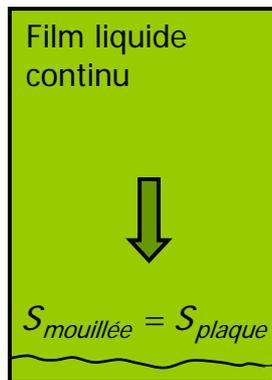
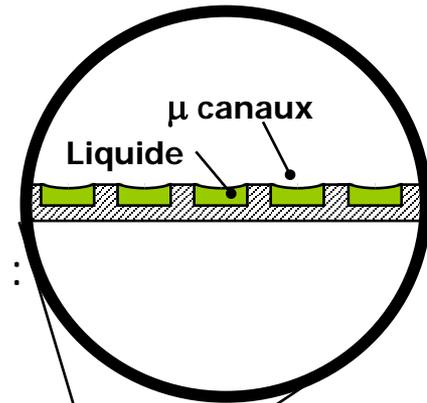


Vapeur ⊕
riche en
éthanol

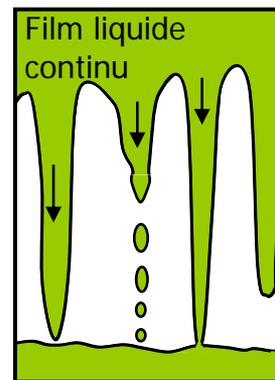
Mélange liquide
Ethanol/Propanol

Film mince et stable

- **Problème hydrodynamique d'une plaque lisse**
 - Difficulté de générer un film mince,
 - Le film se casse, apparition de zones sèches.
- **Conséquences**
 - La surface, de liquide chauffé et vaporisé, diminue : $S_{L/V} \Downarrow, a \Downarrow,$
 - L'épaisseur du film liquide augmente.

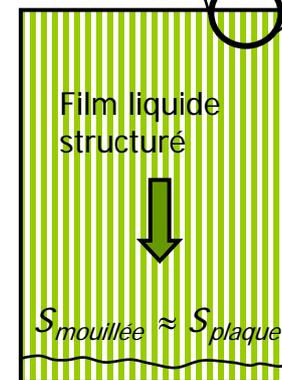


A (mL/min) \Downarrow



$S_{mouillée} \neq S_{plaque}$

Micro
structuration



$S_{mouillée} \approx S_{plaque}$

Vapeur ⊕
riche en
éthanol

Mélange liquide
Ethanol/Propanol

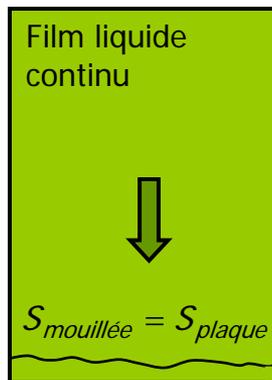
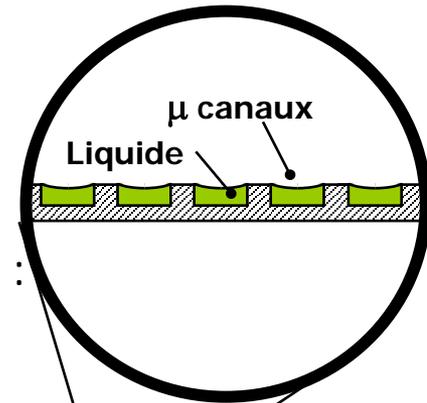
Film mince et stable

• Problème hydrodynamique d'une plaque lisse

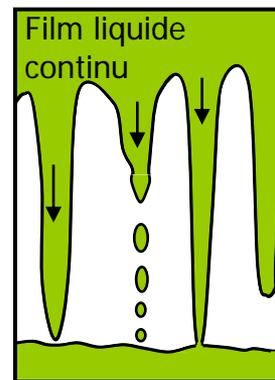
- Difficulté de générer un film mince,
- Le film se casse, apparition de zones sèches.

• Conséquences

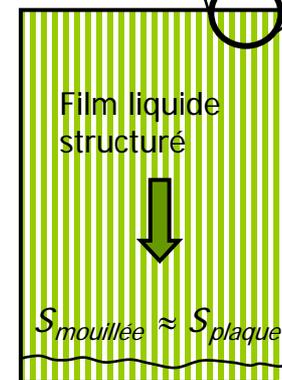
- La surface, de liquide chauffé et vaporisé, diminue :
 $S_{L/V} \Downarrow, a \Downarrow,$
- L'épaisseur du film liquide augmente.



A (mL/min) \Downarrow



Micro structuration

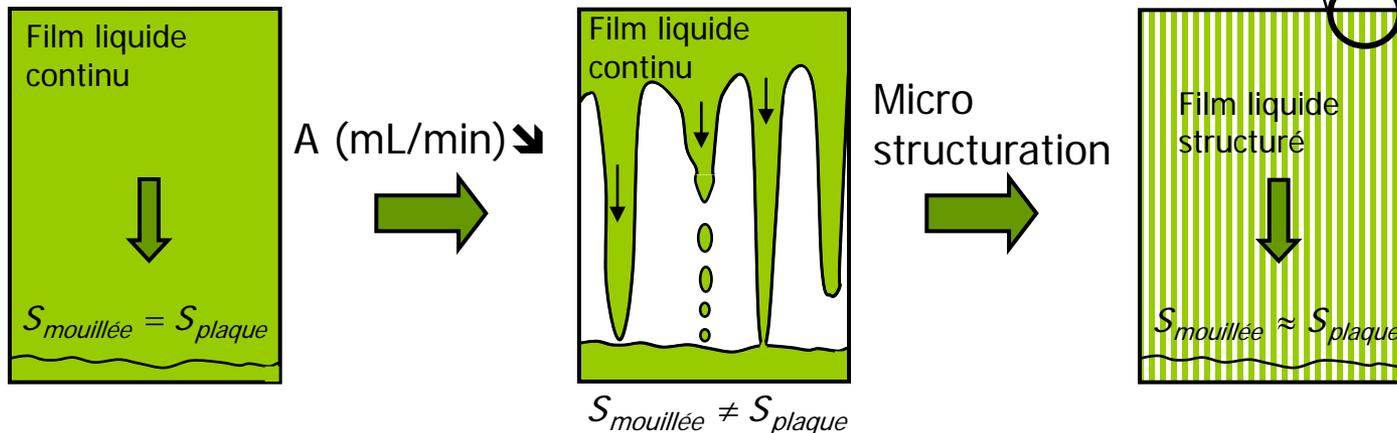
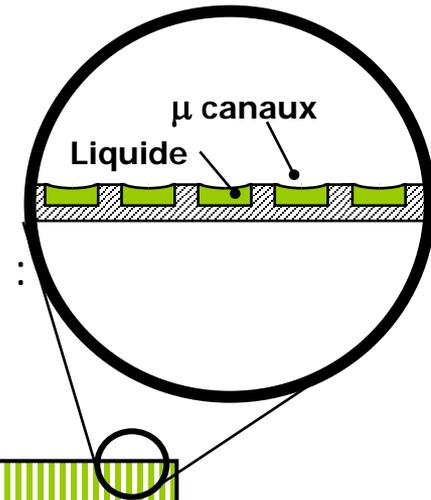


Vapeur ⊕
riche en
éthanol

Mélange liquide
Ethanol/Propanol

Film mince et stable

- **Problème hydrodynamique d'une plaque lisse**
 - Difficulté de générer un film mince,
 - Le film se casse, apparition de zones sèches.
- **Conséquences**
 - La surface, de liquide chauffé et vaporisé, diminue : $S_{L/V} \Downarrow, a \Downarrow,$
 - L'épaisseur du film liquide augmente.



- **Solution**

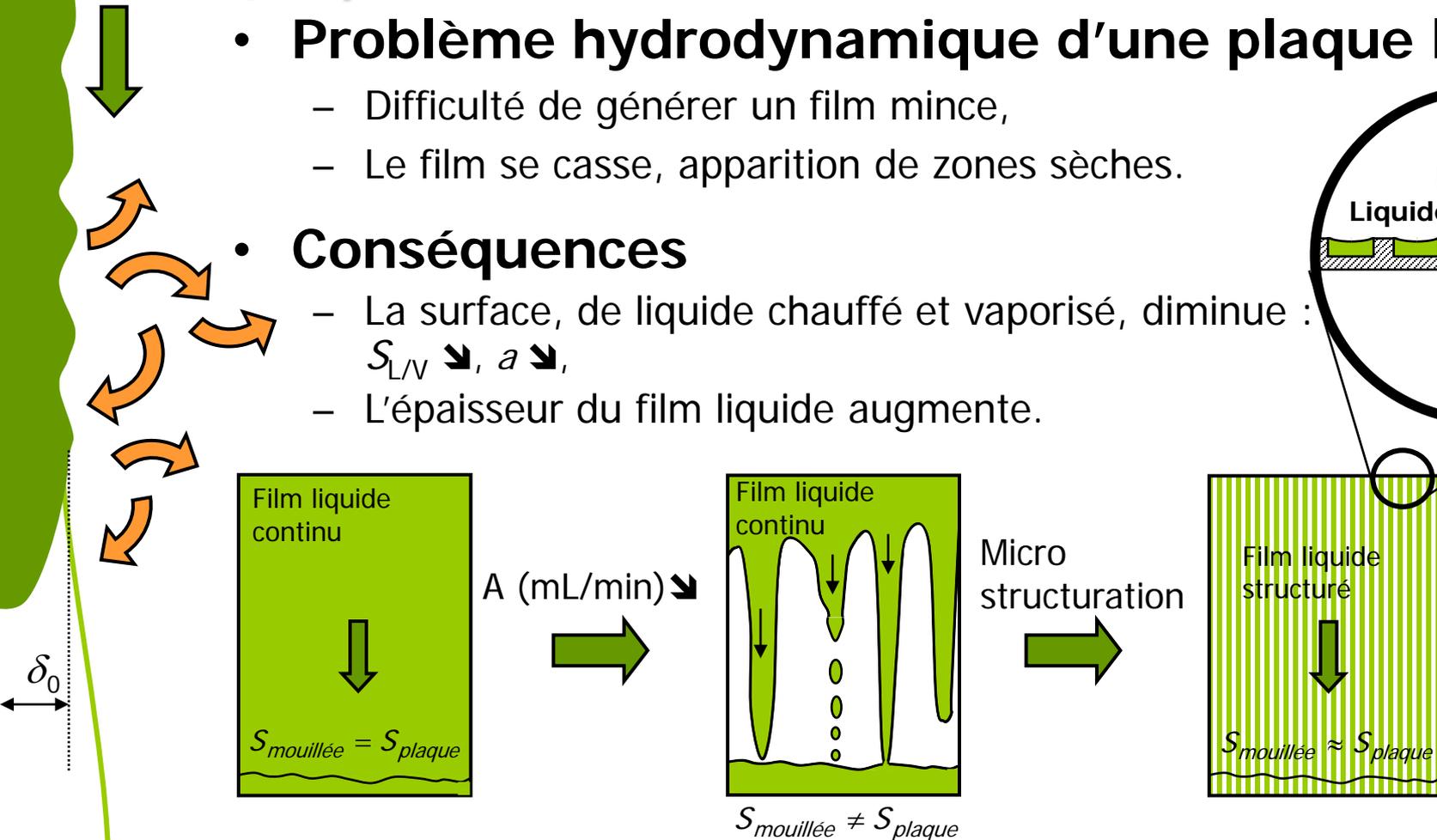
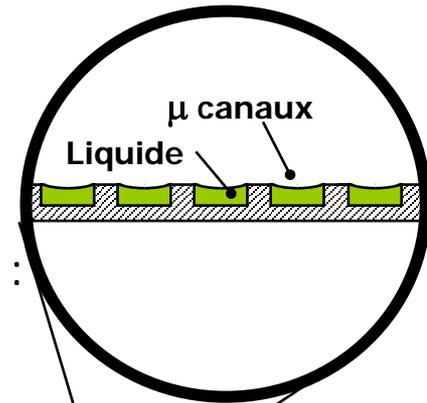
- Usinage de micro canaux : $\Omega = 150\mu m \times 1000\mu m$
- Stabilité du film grâce aux tensions de surface.

δ_0

Mélange liquide
Ethanol/Propanol

Film mince et stable

- **Problème hydrodynamique d'une plaque lisse**
 - Difficulté de générer un film mince,
 - Le film se casse, apparition de zones sèches.
- **Conséquences**
 - La surface, de liquide chauffé et vaporisé, diminue : $S_{L/V} \Downarrow, a \Downarrow,$
 - L'épaisseur du film liquide augmente.



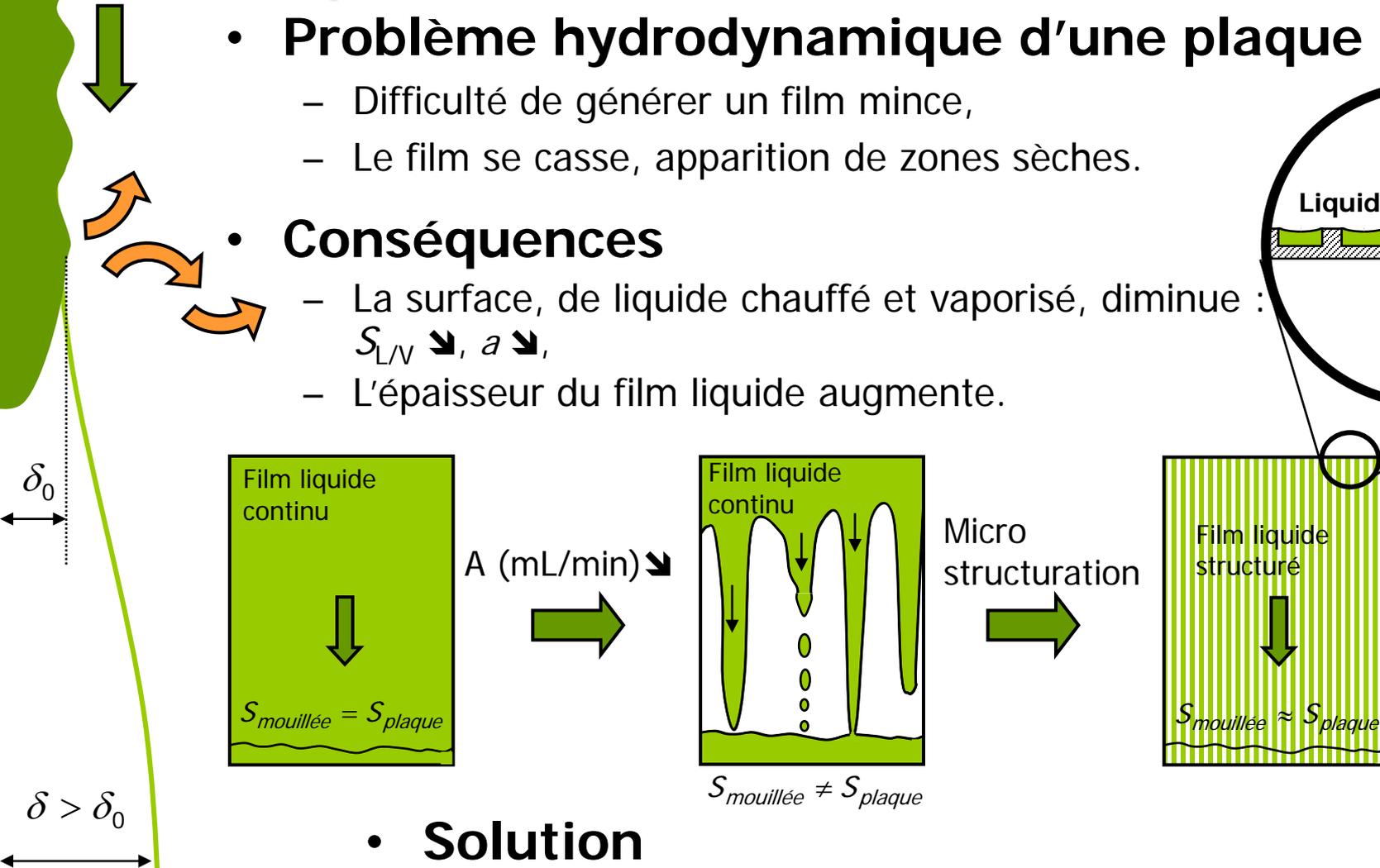
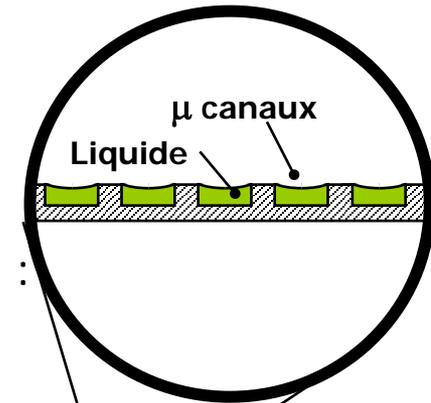
- **Solution**

- Usinage de micro canaux : $\Omega = 150\mu m \times 1000\mu m$
- Stabilité du film grâce aux tensions de surface.

Mélange liquide
Ethanol/Propanol

Film mince et stable

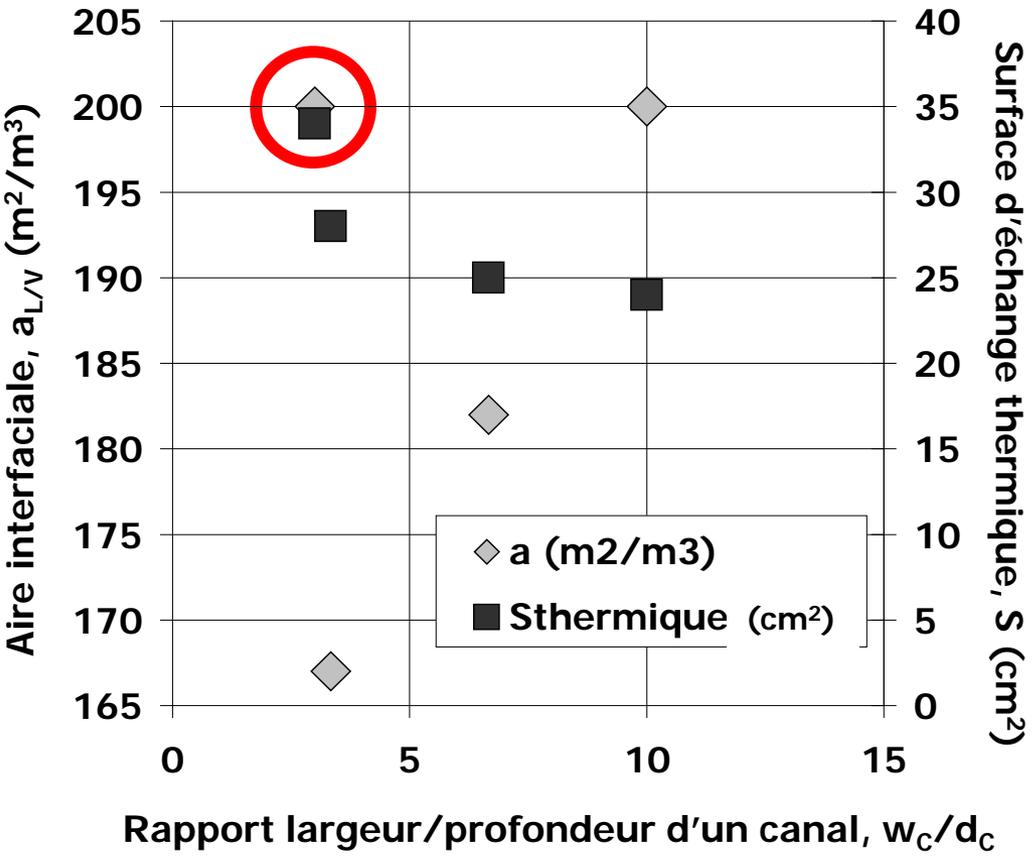
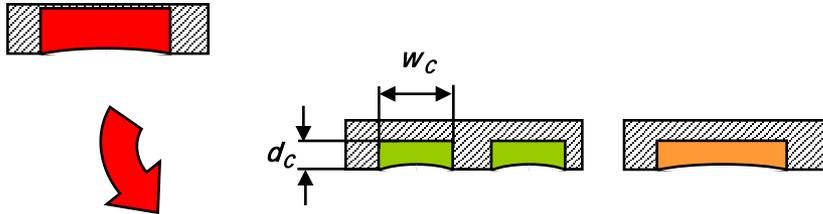
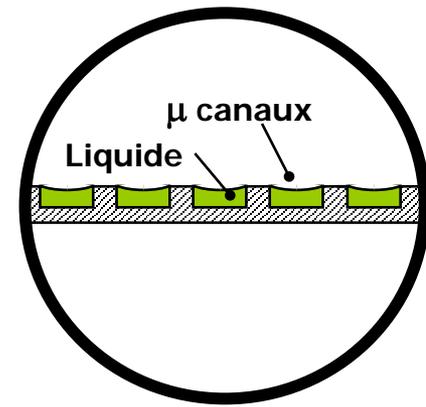
- **Problème hydrodynamique d'une plaque lisse**
 - Difficulté de générer un film mince,
 - Le film se casse, apparition de zones sèches.
- **Conséquences**
 - La surface, de liquide chauffé et vaporisé, diminue : $S_{L/V} \Downarrow, a \Downarrow,$
 - L'épaisseur du film liquide augmente.



- **Solution**

- Usinage de micro canaux : $\Omega = 150\mu m \times 1000\mu m$
- Stabilité du film grâce aux tensions de surface.

Effet d'ailettes



• Autre conséquence

- La surface chauffée \searrow quand $w_c \nearrow$,
- Sauf si la profondeur d_c augmente.

• Conclusion

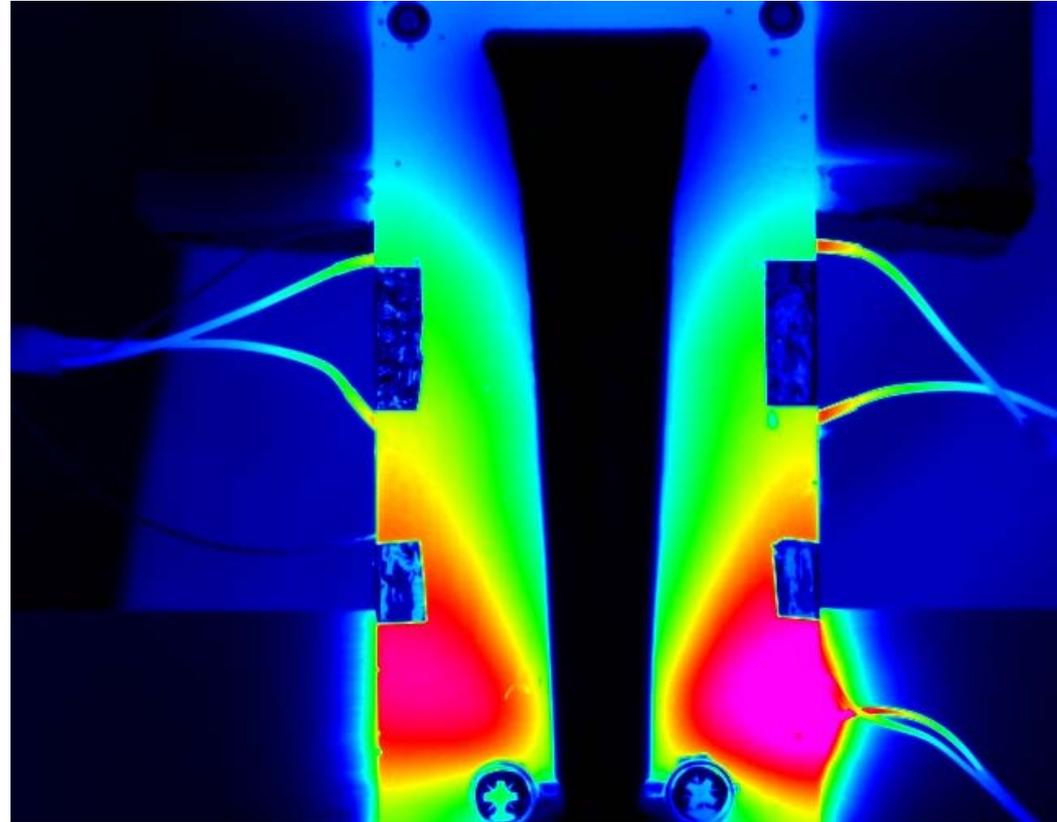
- Effet d'ailettes,
- Puissance fournie \nearrow ,
- Importance du rapport w_c/d_c

Visualisation de l'écoulement

- **Conditions - résultats**

- Plaque lisse,
- Débit d'eau de 1,18 mL/s,
- Caméra IR
- Largeur obtenue : 2 cm...

$$\text{gradT} = 0,3^{\circ}\text{C}/\text{cm}$$



- **Conclusion - perspectives**

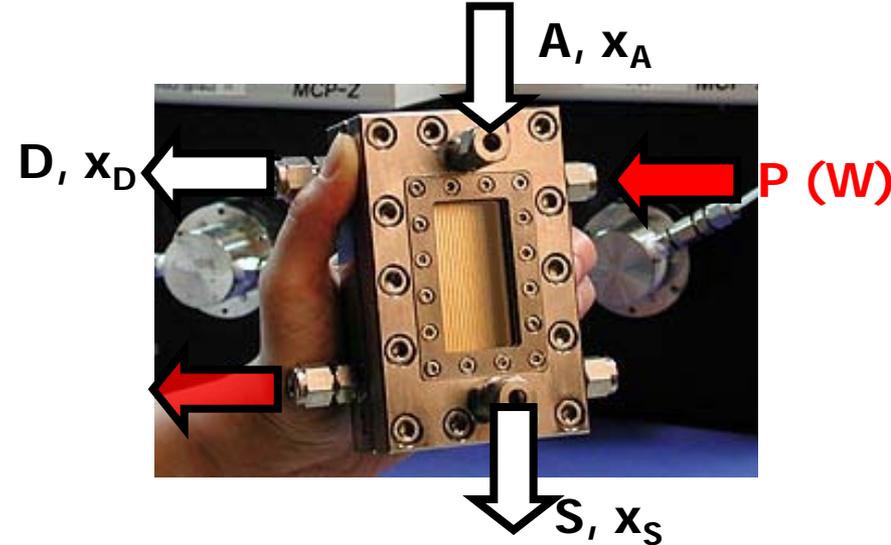
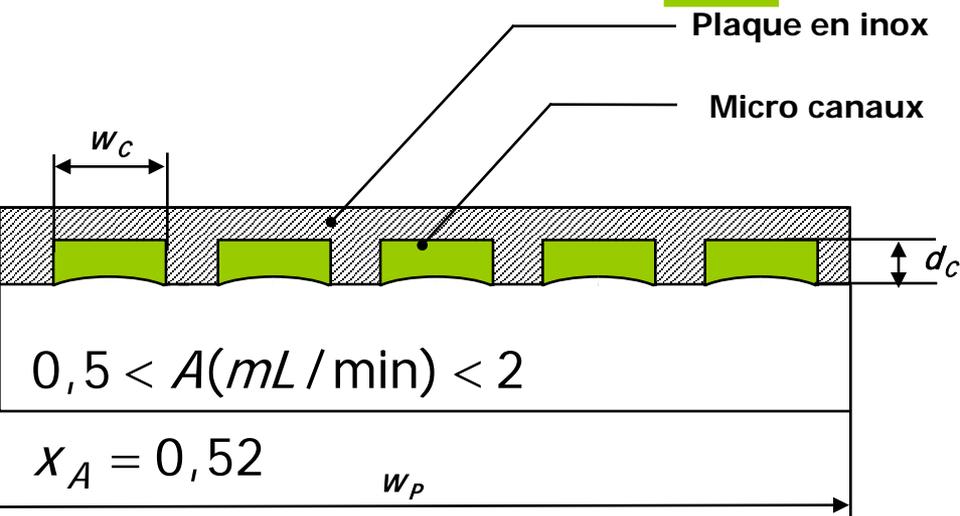
- Nécessité de structurer pour stabiliser le film liquide,
- Génération d'un gradient mais faible,
- Mesure sur plaque structurée.

Experiences

• Montage expérimental

- Utilisation d'un microcontacteur similaire à celui de l'IMM (calorifugé et chauffé),
- Etude de la partie "appauvrissement" de la distillation,
- Analyses par chromatographie phase gaz, x_A , x_D , x_S .

w_c (μm)	500	1000	1500	1500
d_c (μm)	← 150 →		500	
w_p (mm)	← 25 →			
$a_{L/V}$ (m^{-1})	167	182	200	200
$S_{thermique}$ (m^2)	28	25	24	34



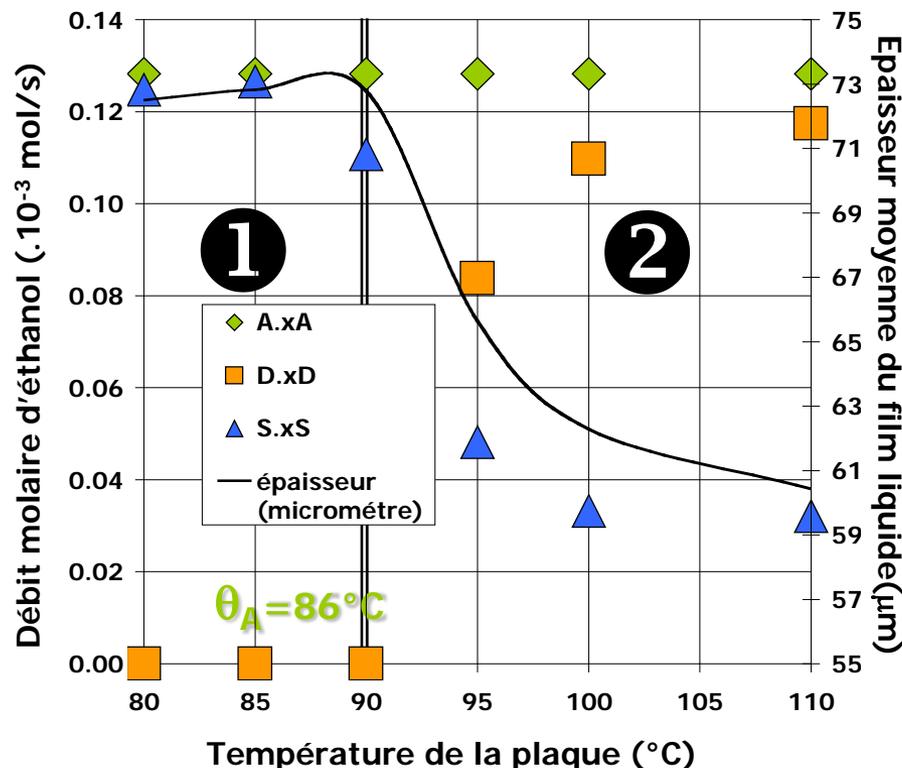
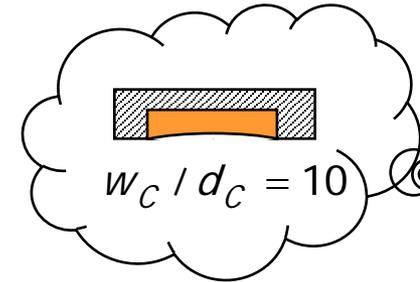
• Variables

- Géométriques, w_c , d_c ,
- Hydraulique, A ,
- Thermique, P (W)

Influence de la température

• Conditions opératoires

- Plaque chauffée uniformément,
- Mélange bouillant : $\theta_A = \theta_{\text{ébullition, A}} = 86^\circ\text{C}$



• Zone 1

- $\theta_{\text{plaque}} < \theta_{\text{ébullition, A}}$
- $\delta(\mu\text{m})$ Cte, $D.x_D \sim 0$

• Zone 2

- $\theta_{\text{plaque}} > \theta_{\text{ébullition, A}}$
- $\delta(\mu\text{m})$ diminue, $D.x_D$ augmente.

Rationalisation

RECIPRO-Cités

[Rationalisation Energétique et Calculée pour

Intensifier des PROCédés par

Albi, Nancy et Montréal]

Ministère
des Relations
internationales

Québec

CAMNET-Energie

M. SORIN Mikhail et M. AYOTTE-SAUVE Etienne

• Objectifs

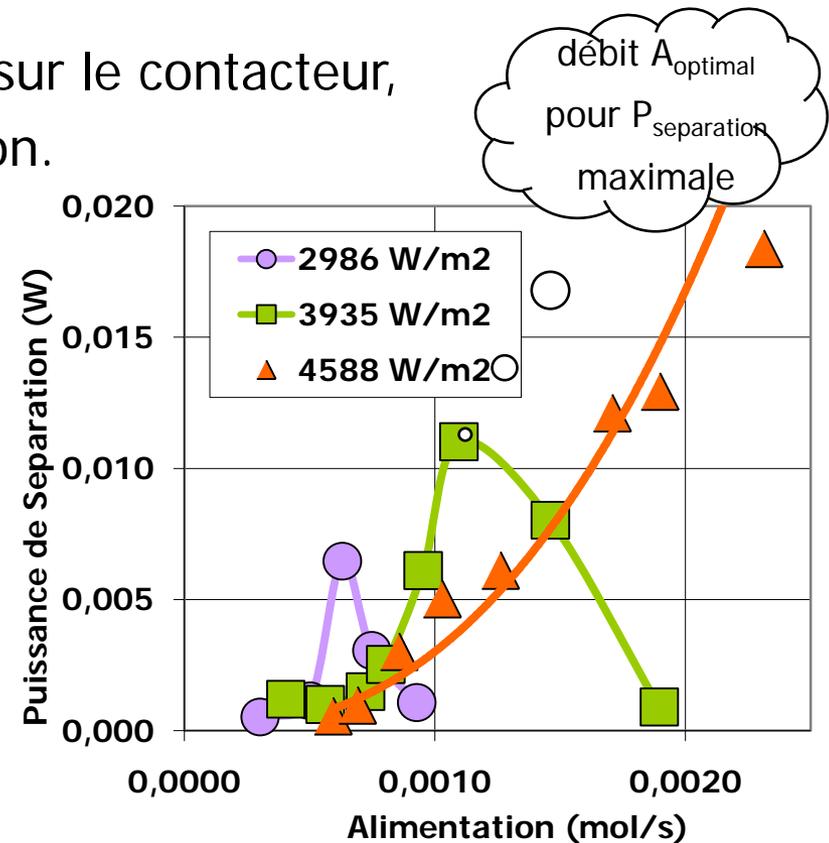
- Optimiser la répartition énergétique sur le contacteur,
- Déterminer la puissance de séparation.

$$P_{Sep.} = RT_0 \left[\sum_{\text{sortie}} F_i x_i \ln \gamma_i x_i - \sum_{\text{entrée}} F_j x_j \ln \gamma_j x_j \right]$$

• Conclusion

obtention d'un optimum

- $A < A_{opt.}$ → trop de puissance :
 $D \nearrow$ mais $x_D \searrow$,
- $A > A_{opt.}$ → pas assez de puissance :
 $D \searrow \nearrow$ mais $x_D \nearrow$.



Conclusion - Perspectives

- **Conclusion**

- Evaporation contrôlée possible,
- Importance de la structuration pour les transferts,
- Choix couplé "conditions opératoires et géométriques".

- **Perspectives**

- Mesure *in situ* des gradients thermiques (caméra IR),
- Génération d'une structure à fort gradient thermique,
- Simulation des transferts,
- Optimisation de la répartition énergétique.

ANR POT

RECIPRO-Cités

 **Lorraine**
conseil régional
Nancy-Université



Programme Interdisciplinaire Energie CNRS
Nantes 2009



ECOLE DES MINES D'ALBI
C A R M A U X