

Journée SFT
« Transferts Thermiques par
Impact de Jets »
Paris – 9 mars 2006

Jet laminaire et turbulent sur
plaque mobile sèche et avec
film

Delphine Lacanette ()*

Eric Arquis ()*

TREFLE /ENSAM/ENSCPB/UBx1 – UMR CNRS 8508 –

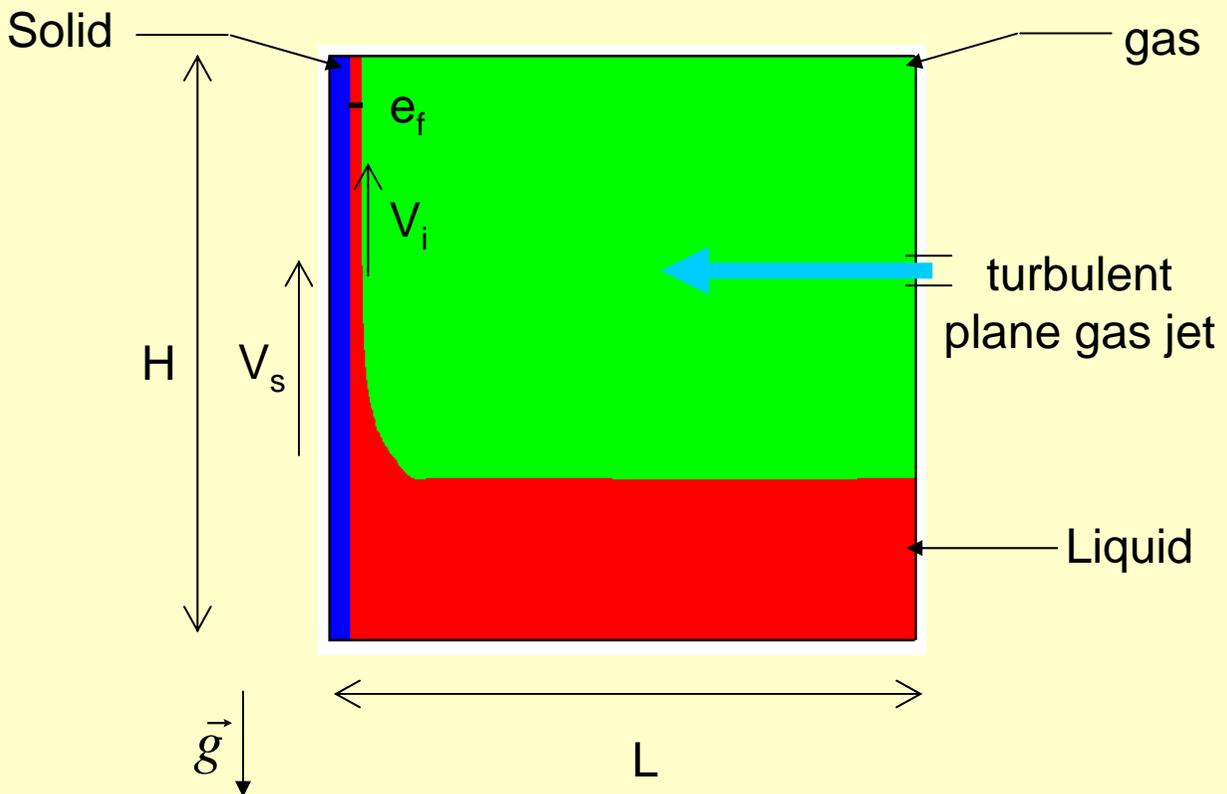
Université de Bordeaux 1 (*) : Site ENSCPB

Plan de la présentation

- Le problème industriel
- Entraînement du **film sans jet**
- **Jet** sur plaque sèche **immobile**
- **Jet** sur plaque sèche **mobile**
 - Laminaire
 - Turbulent
- **Film avec Jet**
 - Essorage
 - Etude 3D
- Conclusions - Perspectives

0 - Problème de l'essorage pneumatique des tôles galvanisées

Configuration générale



Objectifs - Problématiques

- Contrôle de l'épaisseur par le jet**
- Analyse de phénomènes parasites (« splashing »)**
- Rôle thermique du jet (via la tension superficielle)**

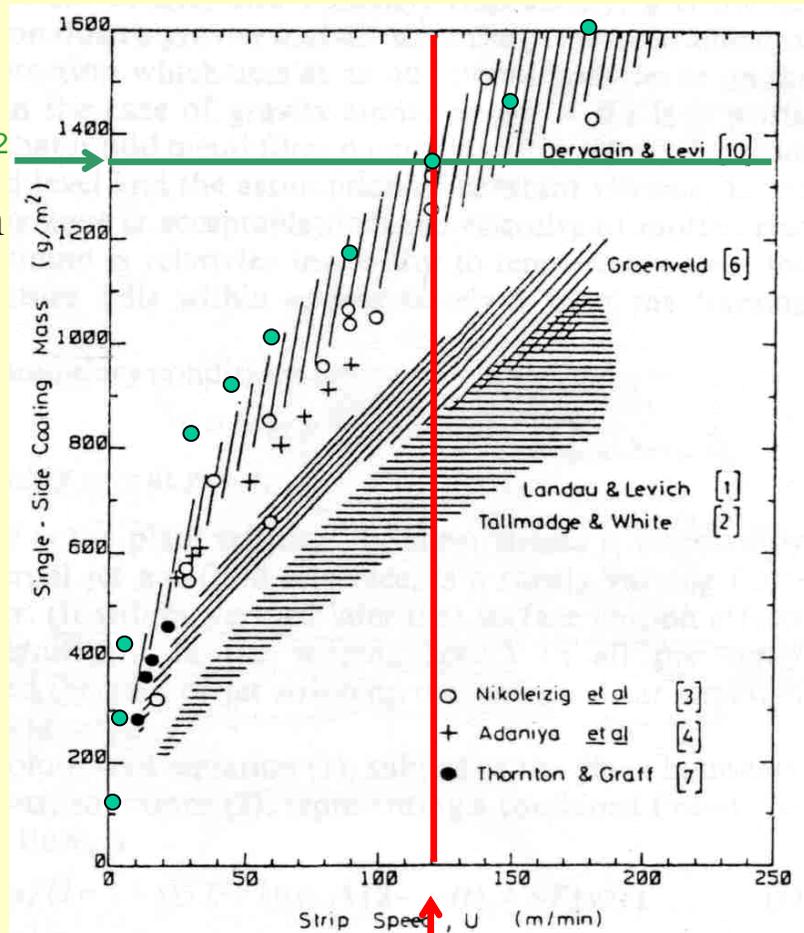
- Diphasique**
- Turbulent**
- Anisotherme**
- Compressible (?)**

1 - Simulation Directe de l'Enduction (Film Seul)

C. H. Ellen & C. V. Tu, dans le *J. Fluid. Eng.*, 1984, **106**, 399-404, comparent les épaisseurs de film expérimentales et théoriques de revêtement de métal liquide (essorage par gravité)

1345 g/m²

Les valeurs calculées sont en accord avec les expériences de A. Nikoleizig, T. Kootz, F. Weber, and M. Espenhahn, *Stahl u. Eisen*, 1978, **98** (7), 336-342, et avec les solutions analytiques de B. V. Deryagin & S. M. Levi, *Focal Point Press, New-York*, 1964



120 m/min

Bon accord avec la (rare) littérature

2 - Impact d'un Jet Plan Turbulent sur surface sèche immobile

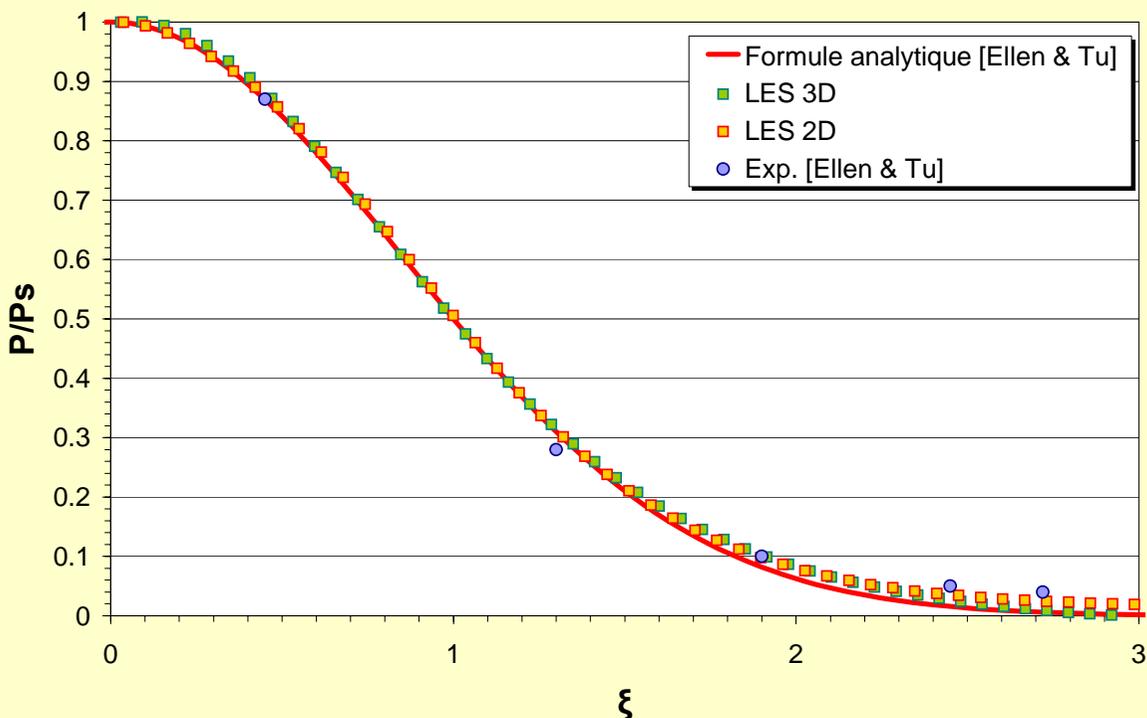
- Profils caractéristiques de pression et de cisaillement (moyens)
- Aspect thermique (coefficient d'échange)
- Etude de la plaque défilante (premiers résultats)

Impact d'un Jet Plan Turbulent / plaque imm. sèche

Ellen & Tu proposent une formule analytique donnant P/P_s à partir de ξ

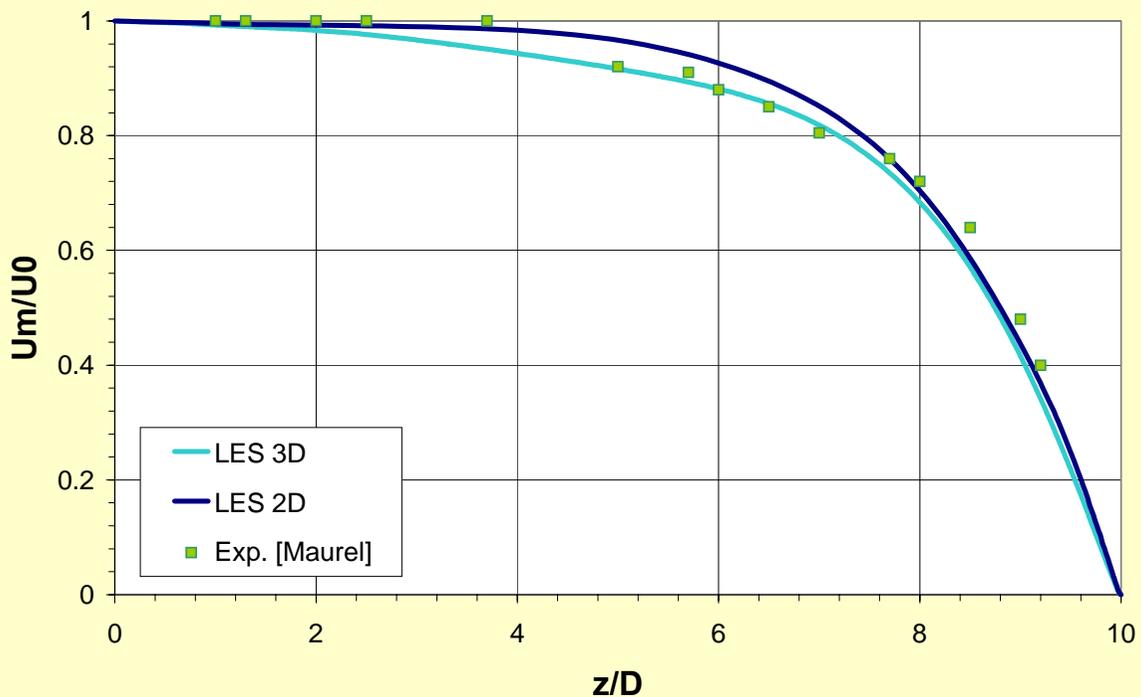
$$\frac{P}{P_s} = e^{-0.693\xi^2}$$

- $P_s = P(x=0)$
- $P(x=b) = P_s/2$
- $\xi = x/b$



Impact d'un Jet Plan Turbulent / plaque imm. sèche

La vitesse axiale moyenne est comparée aux valeurs expérimentales de *S. Maurel and C. Sollicec, Exp. In fluids, 2001, 31(6),687-697*

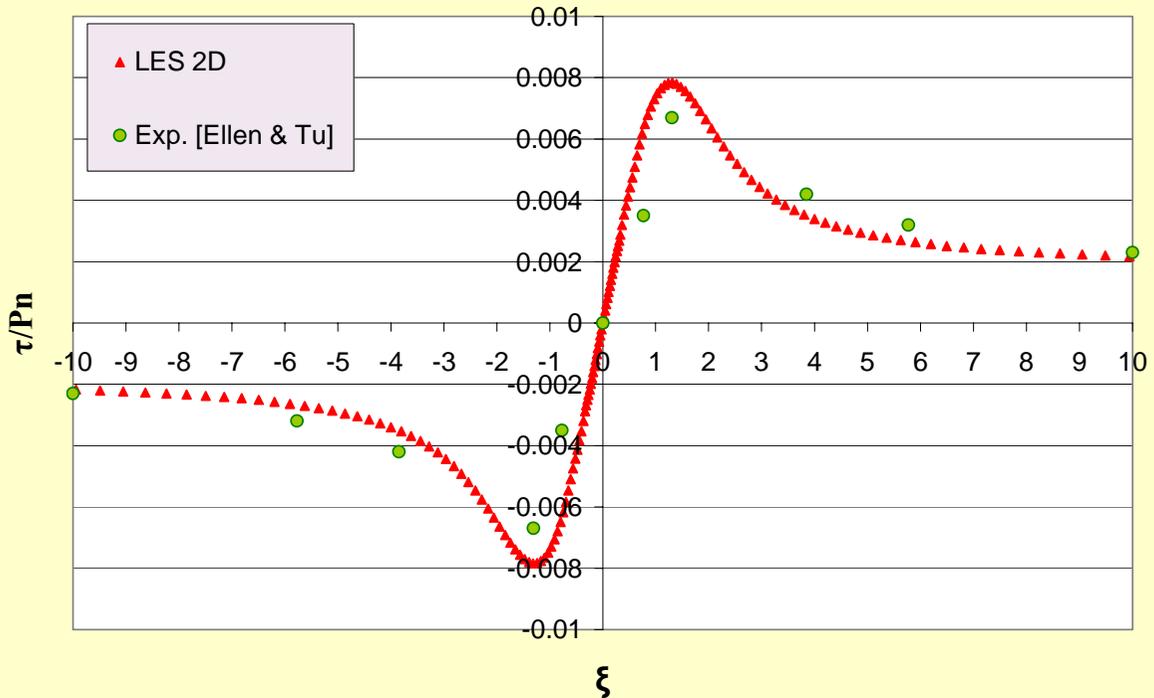


- Bon accord avec expérience
- pas de différences majeures entre 2D-3D

Impact d'un Jet Plan Turbulent / plaque imm. sèche

Ellen & Tu prédisent un cisaillement τ_{\max} pour $1 < \xi < 1,4$

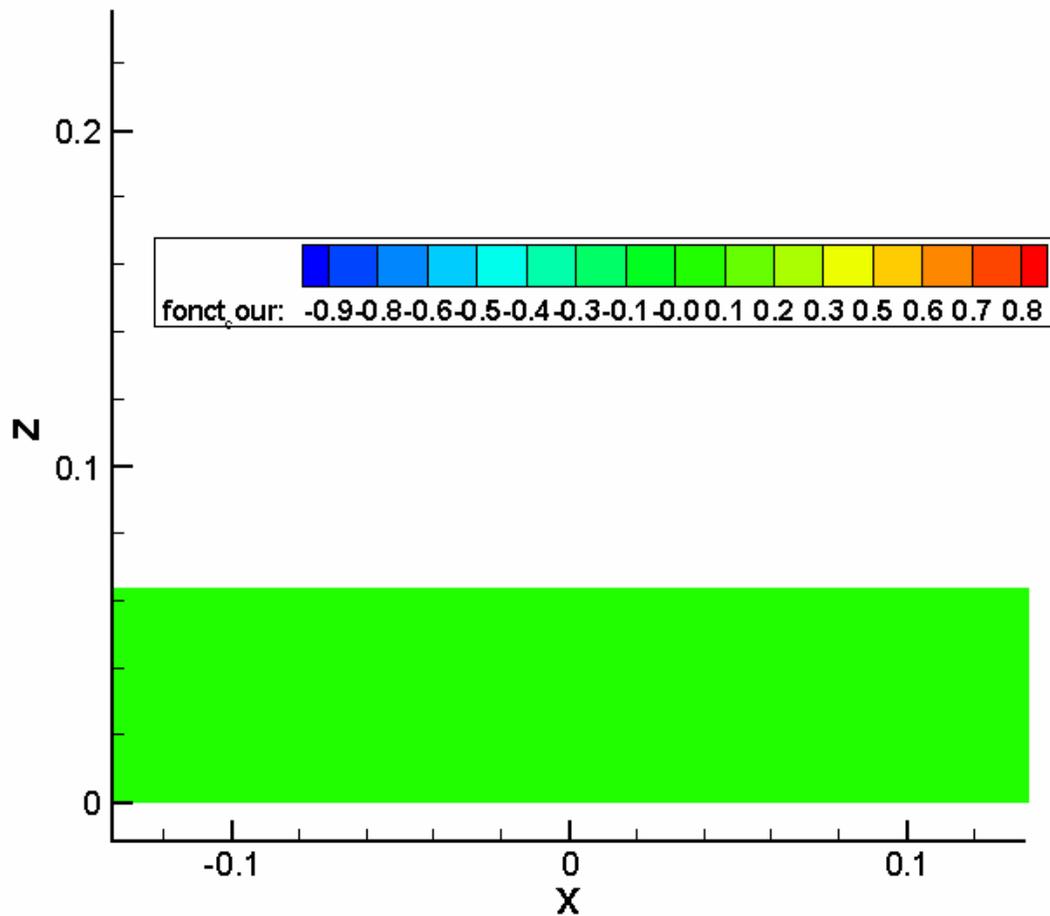
La simulation donne τ_{\max} pour $\xi < 1,3$



C. V. Tu & D. H. Wood, Exp. Thermal Fluid Sci., 1996, 13, 364-373, trouvent expérimentalement $\tau_{\max}/P_n = 0,0067$, comparé au $\tau_{\max}/P_n = 0,0080$ avec notre calcul

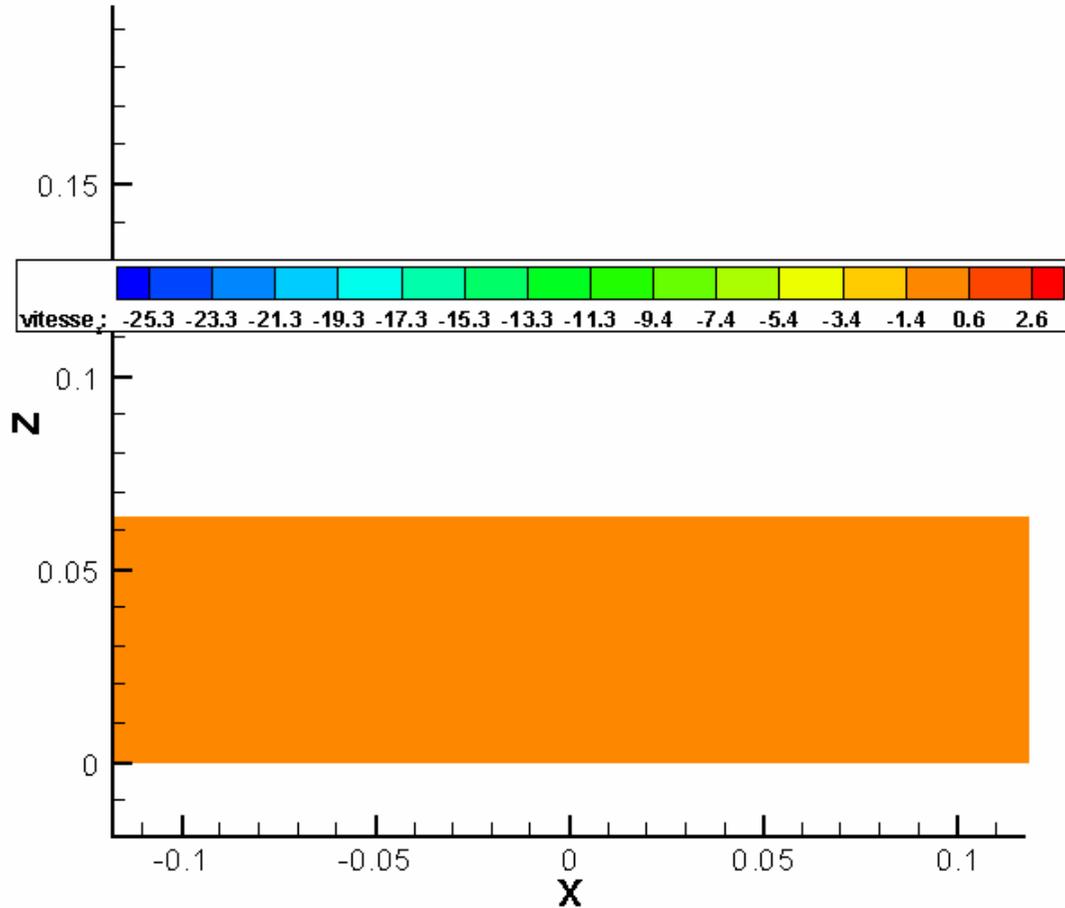
Impact d'un Jet Plan Turbulent / plaque imm. sèche

Fonction courant



Impact d'un Jet Plan Turbulent / plaque imm. sèche

Vitesse normale à la paroi



2- Impact sur plaque mobile sèche

- Laminaire : “DNS”
- Turbulent : LES Smago ... 2D
- Diphasique : VOF-TVD
- Maillage typique 400 x 200
- Schéma Ordre 2 en espace, 1 en temps $\Delta x_{\min} \approx 10 \text{ à } 1 \mu\text{m}$ (diphasique)
- Résolution Vitesse – Pression + Lagrangien Augmenté

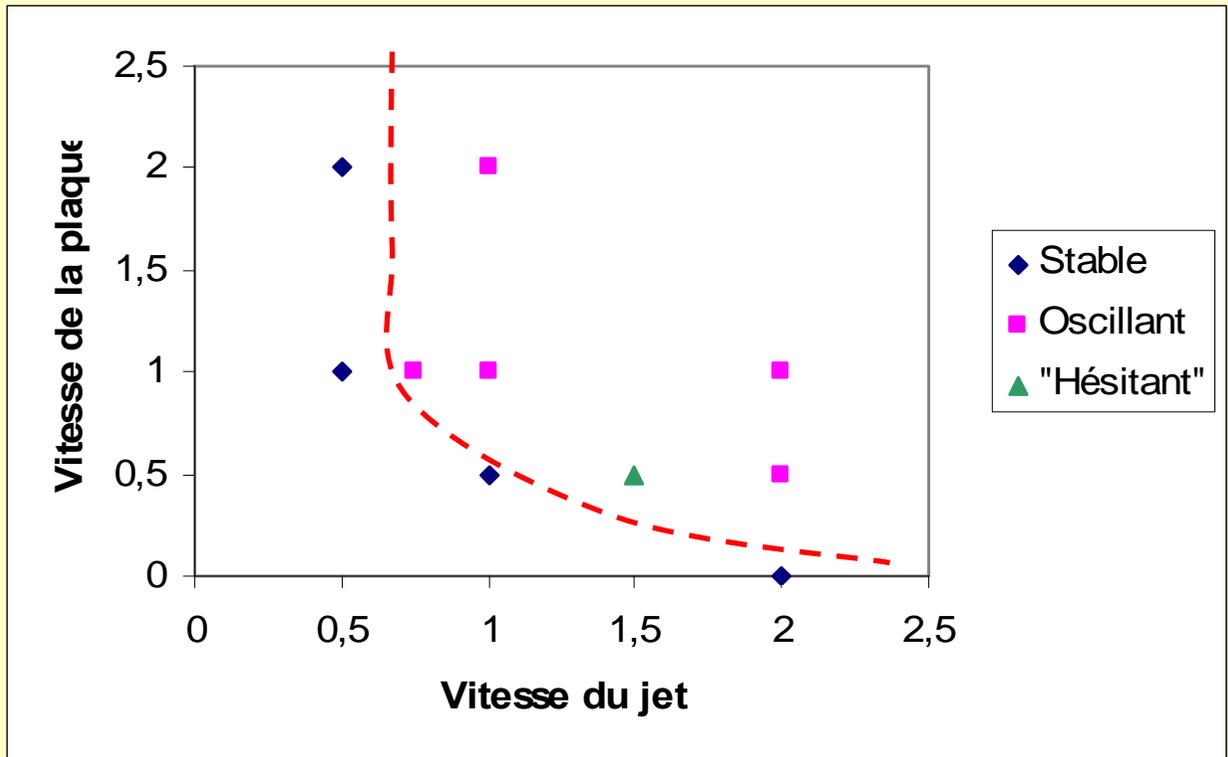
Préliminaire : Jet Laminaire – Pré-turbulent

- Vitesse du Jet : [1-10 m/s]
- $e = 2 \text{ mm}$
- $D = 2 \text{ cm}$ ($D/e = 10$)
- $Re_{\text{jet}} = 200 - 2000$
- Vitesse de plaque : [0 -1 m/s]

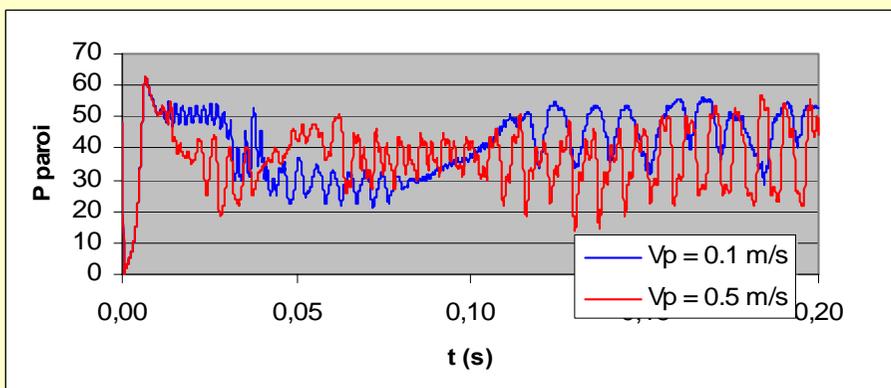
Questions :

- le glissement provoque t-il une déstabilisation du jet ?
- Le Transfert thermique est il augmenté ?

Déstabilisation de l'écoulement

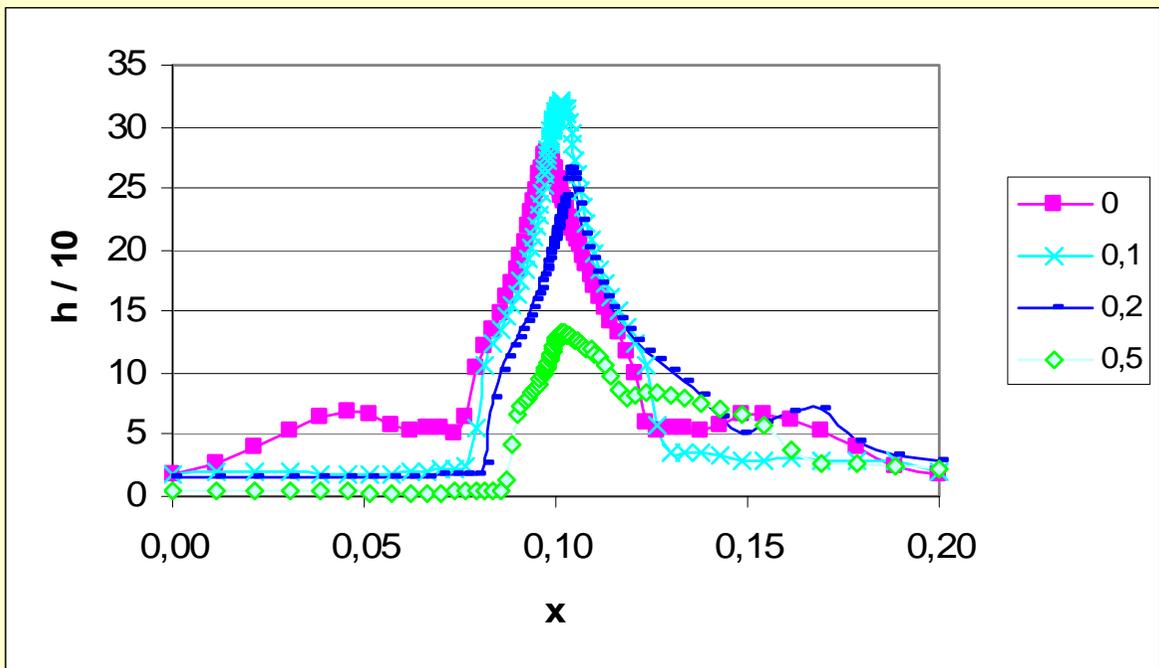


=> Le glissement de la paroi déstabilise le jet



Effet thermique

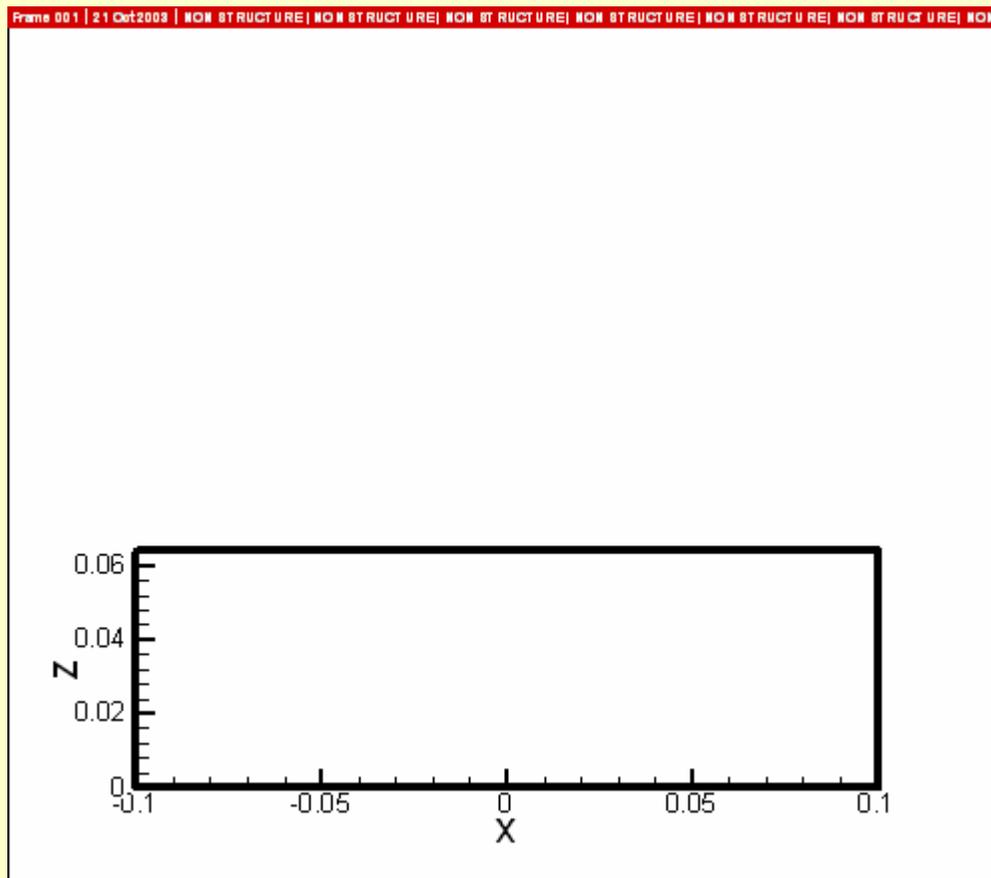
Nota : flux imposé à la paroi, h identifié par écart entre T plaque et T fluide



Le glissement réduit le transfert,
notamment pour des forts V_p / V_j

Impact d'un Jet Plan Turbulent – Plaque défilante

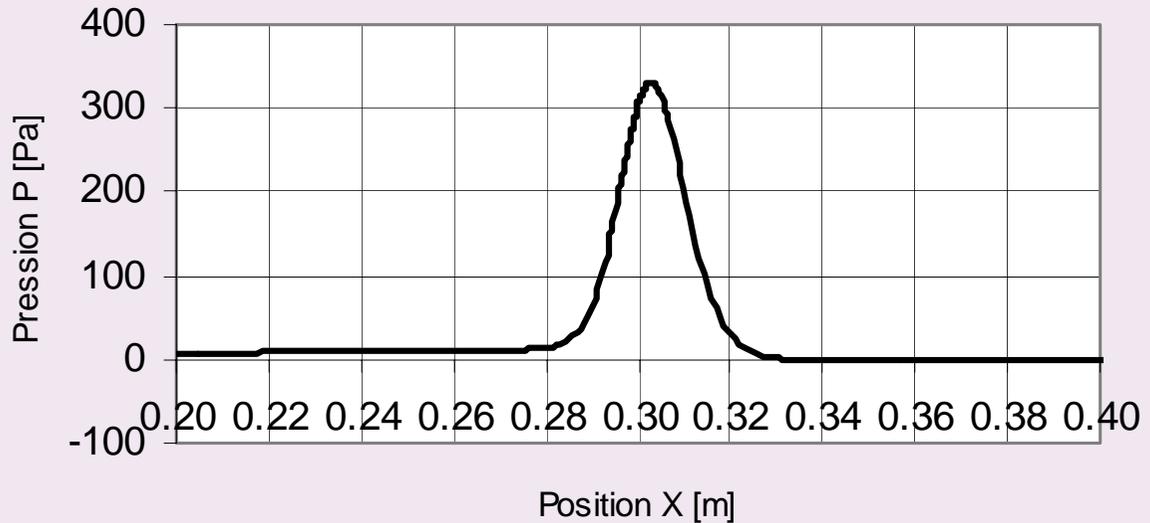
Attention : $D/e = 20$



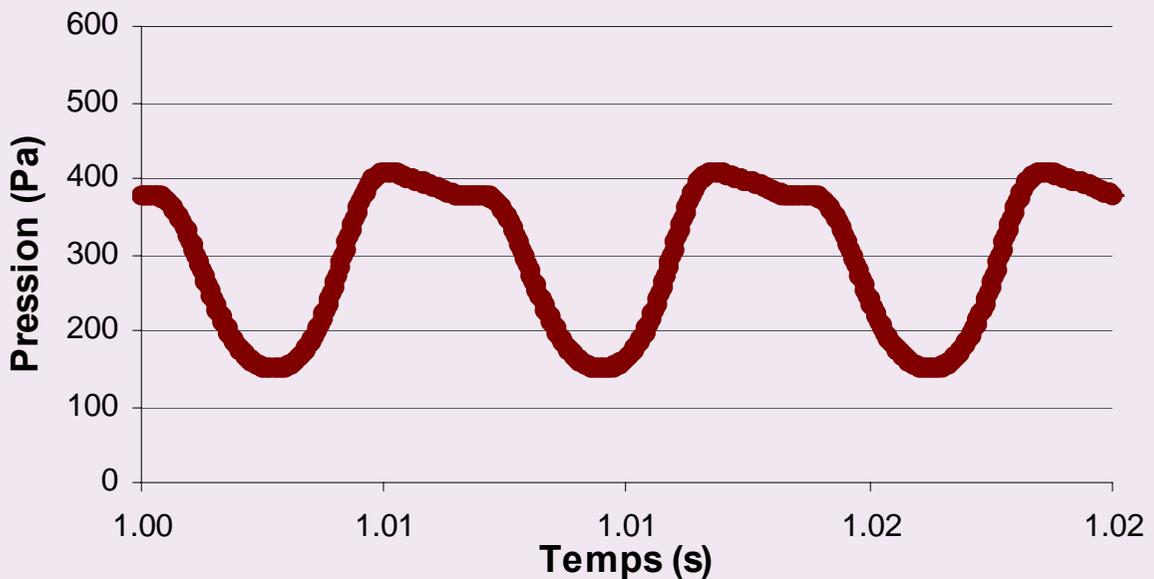
Pas de référence (à ces Re)

Impact d'un Jet Plan Turbulent – Plaque défilante

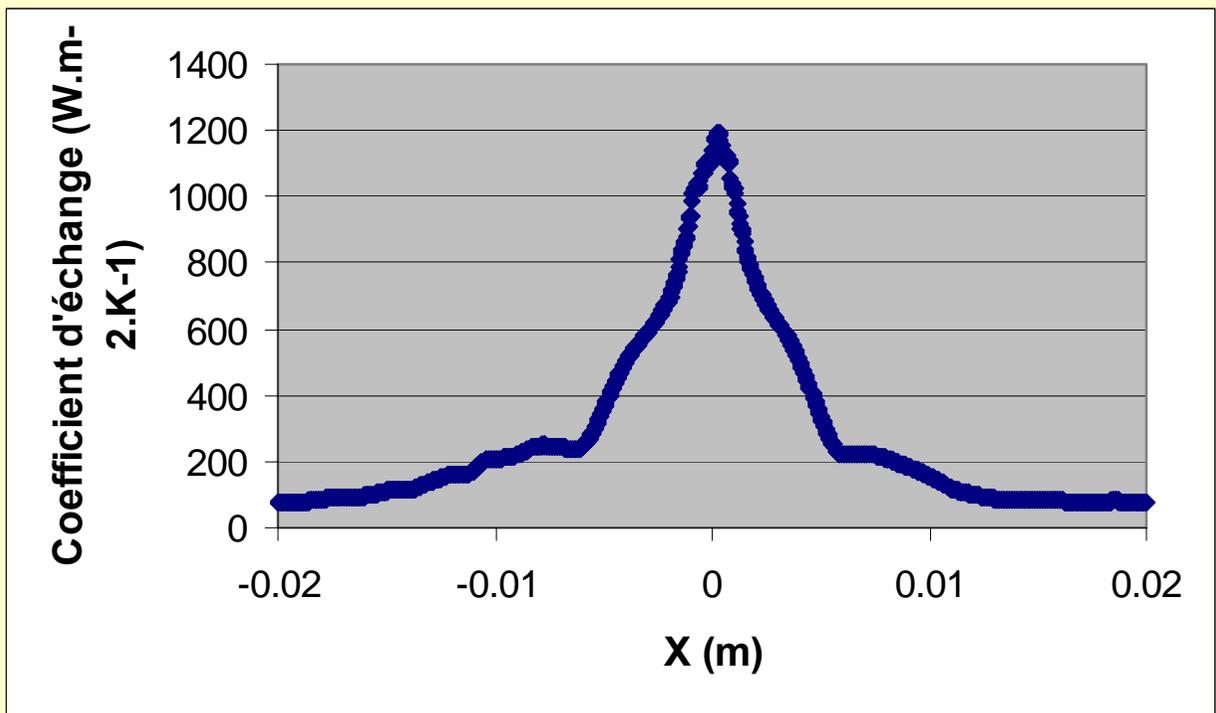
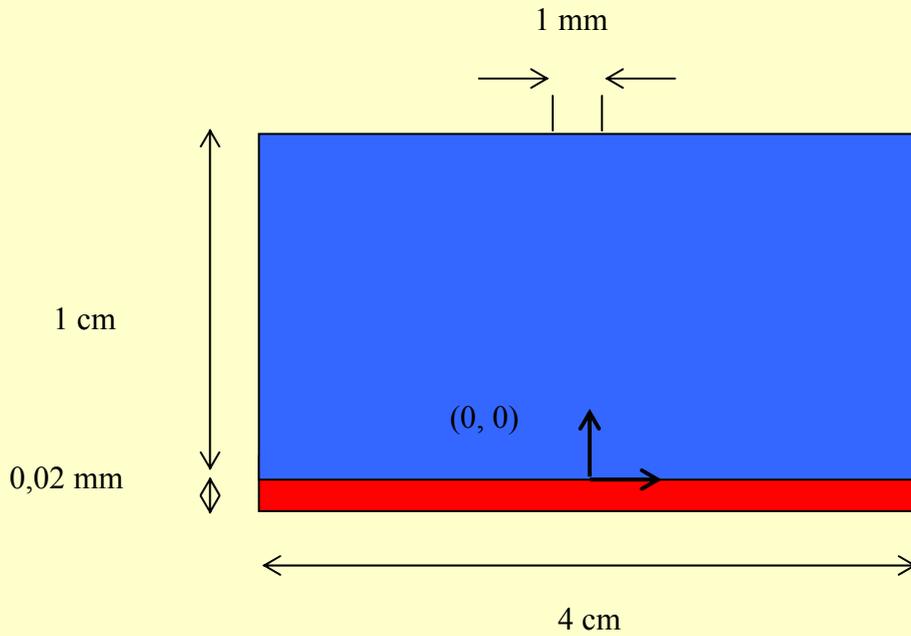
Distribution de la pression sur la paroi
(jet d'air impactant 27 m/s avec paroi glissante 2m/s)



Evolution temporelle de la pression en x="0"



Impact d'un Jet Plan Turbulent – Aspects thermiques



Bon accord avec la littérature à + faible Re

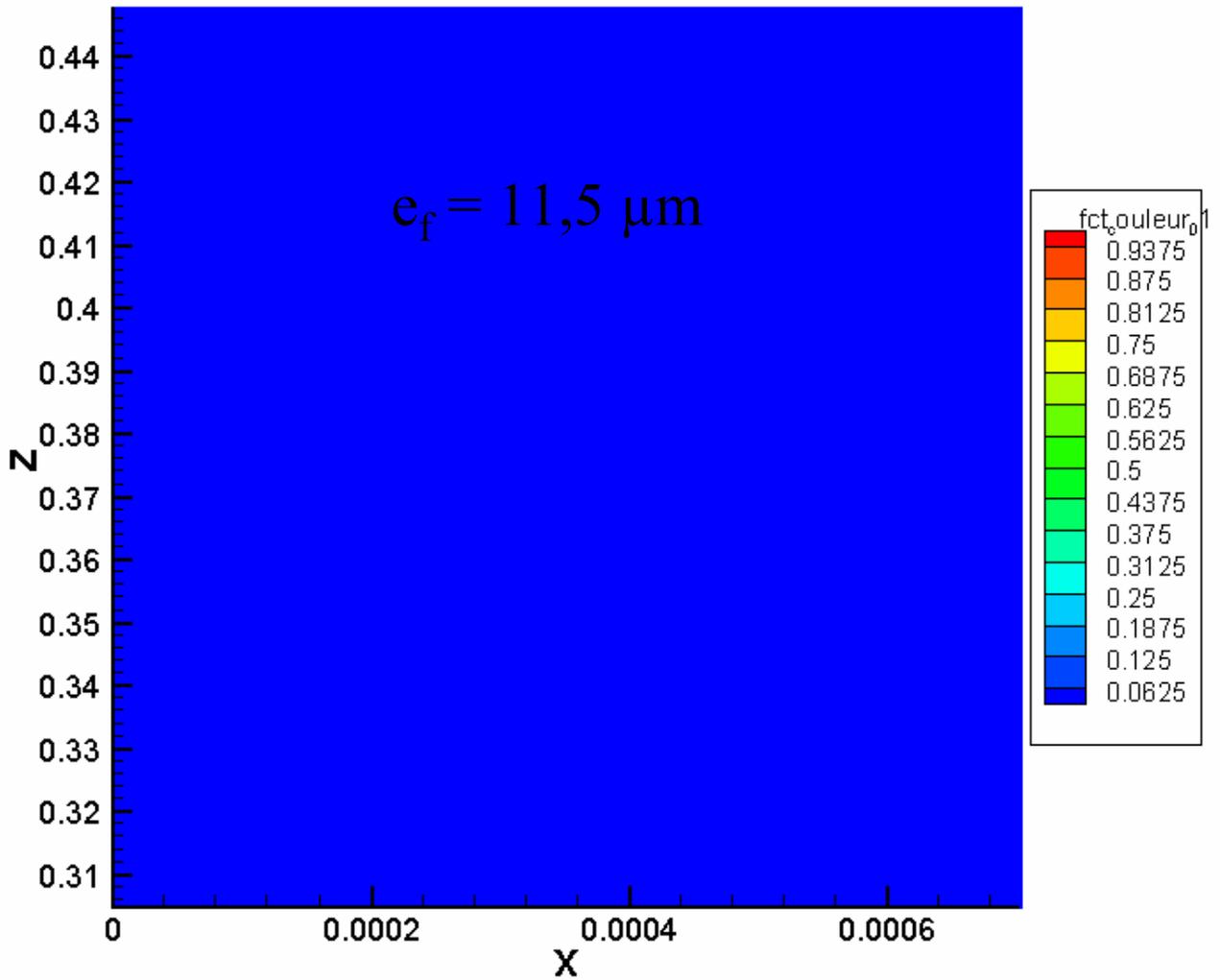
4 - Problème complet

Jet + Film

- Essorage
- Splashing
- Complément 3D

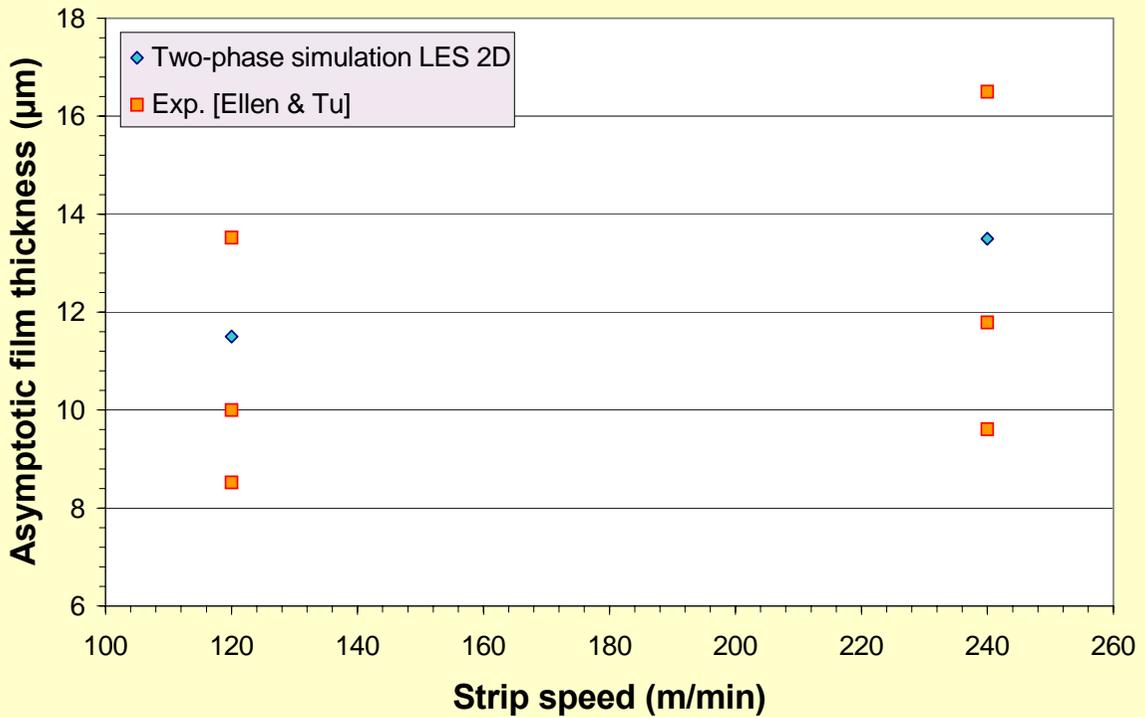
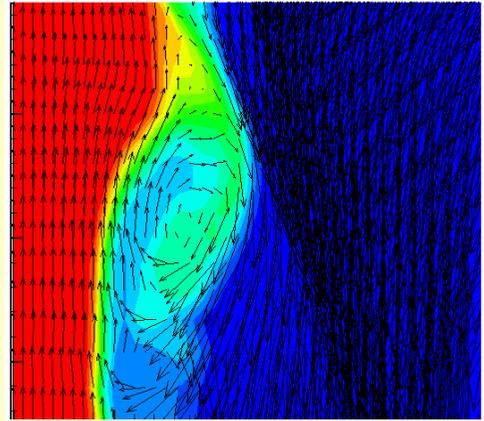
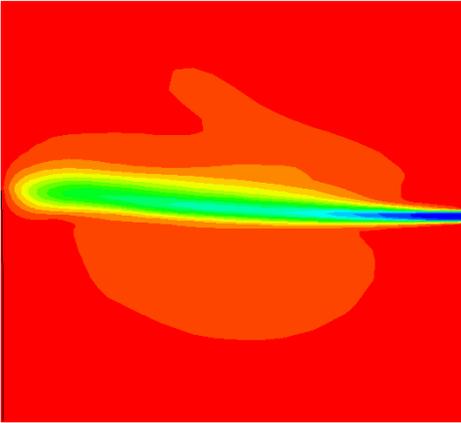
Essorage

$V=2$ m/s, $U=200$ m/s, fluide : zinc



« Tient le coup » in conditions indus.

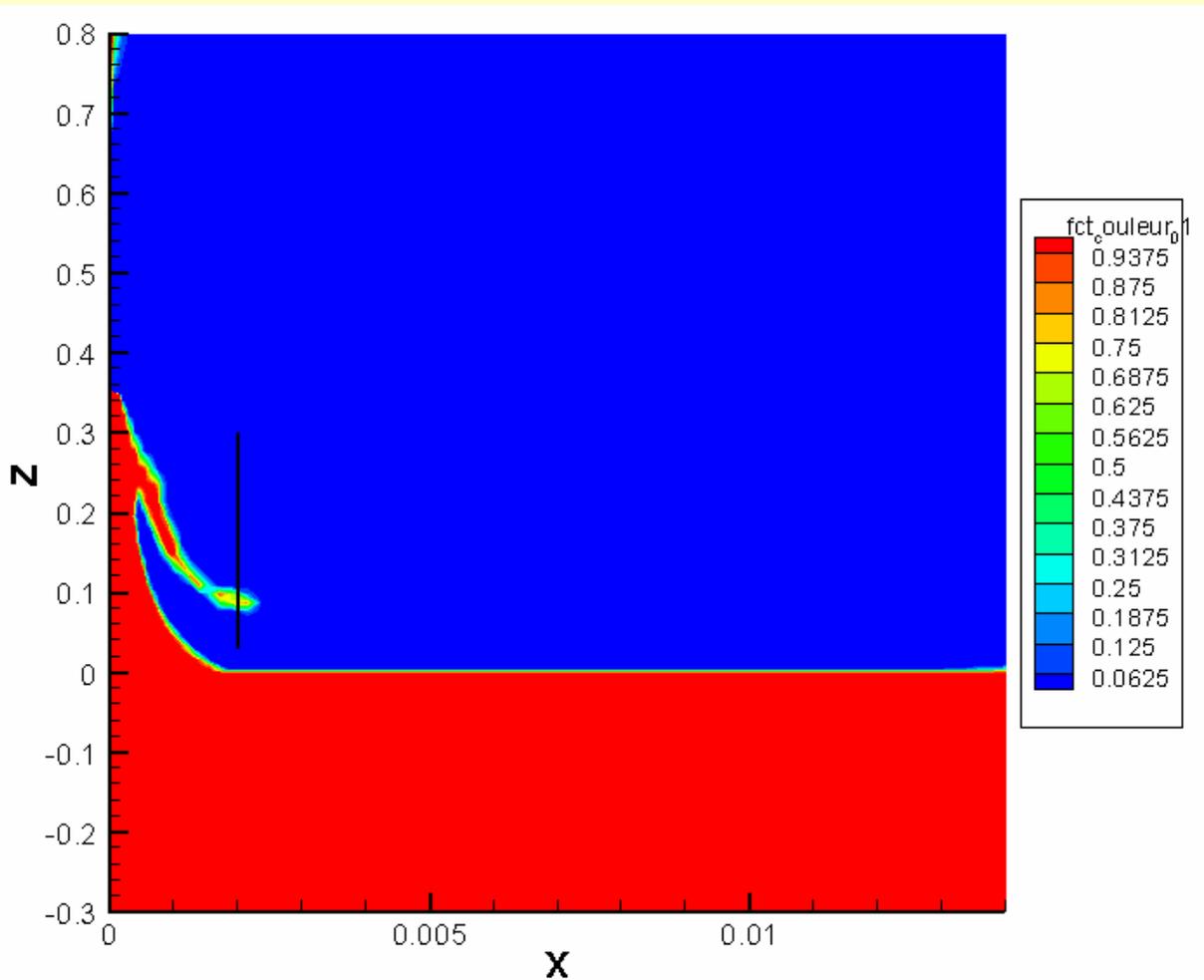
Essorage



Bon accord avec les observations IRSID

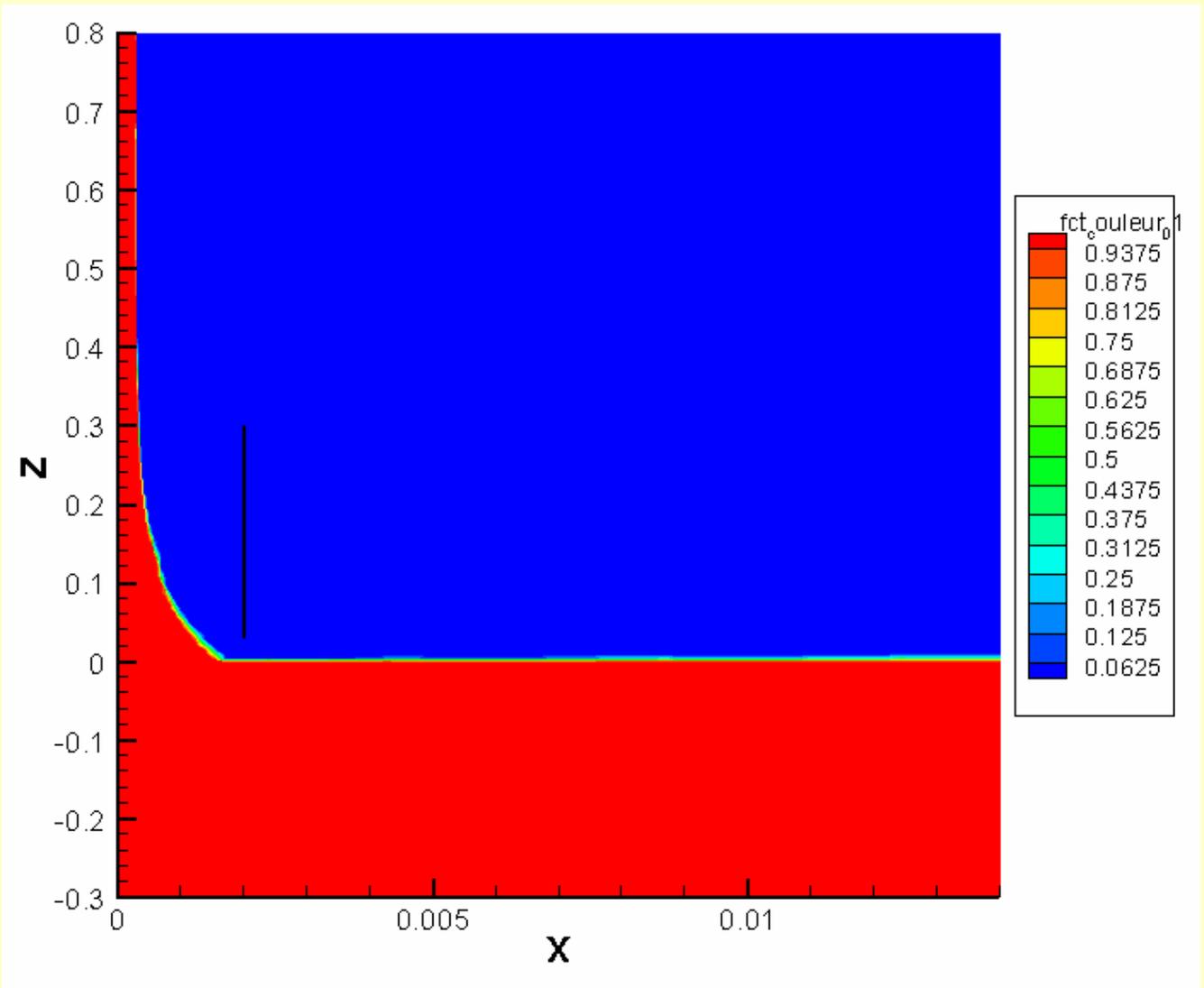
Splashing

Mise en place d'un compteur de quantité de zinc éjecté



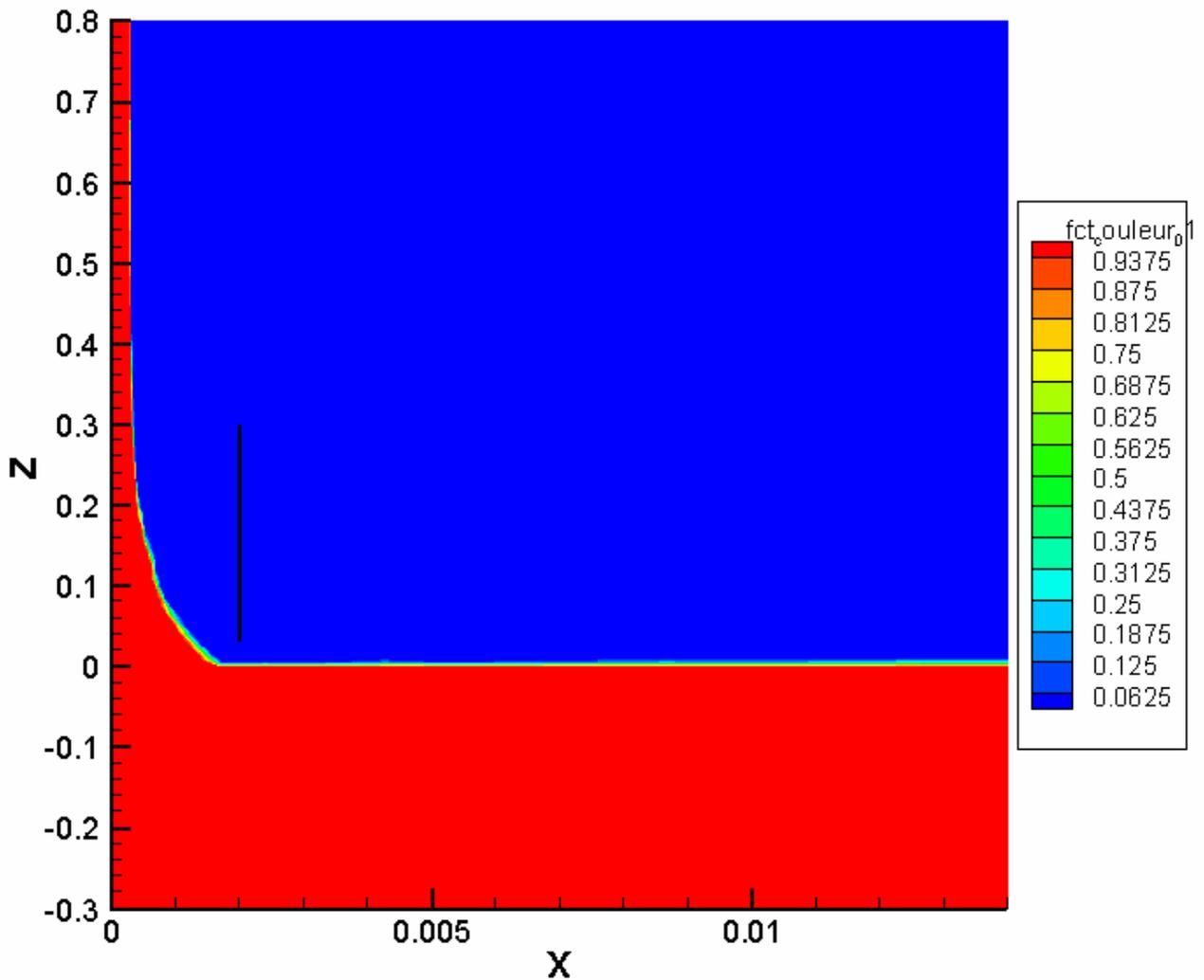
Splashing

Fluide : EAU, $V=2$ m/s, $U=58,3$ m/s ($P=2000$ Pa)



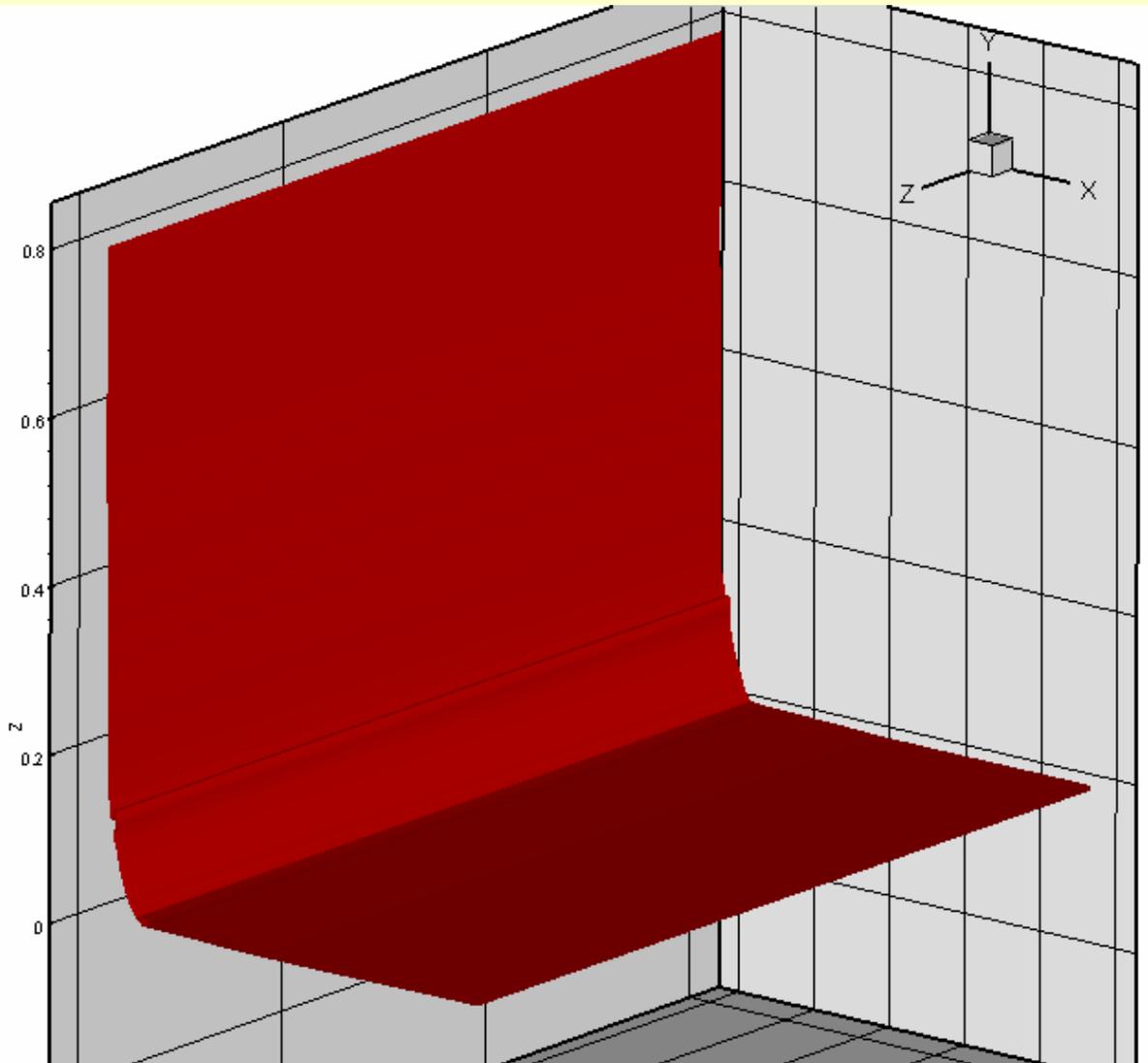
Splashing

Fluide : EAU, $V=4$ m/s, $U=58,3$ m/s ($P=2000$ Pa)



Cas complet en dimension 3

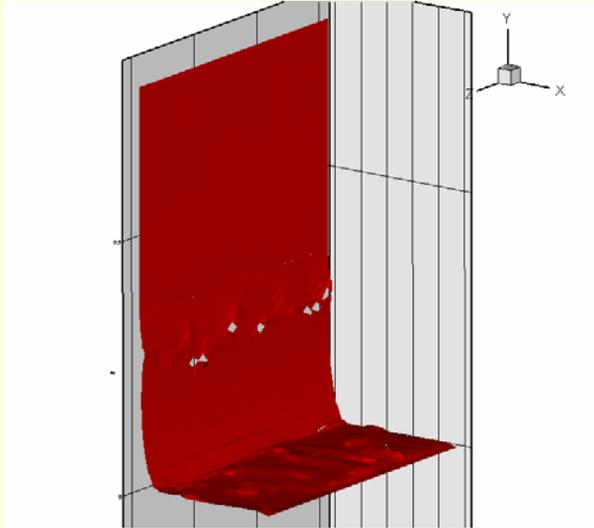
Evolution de l'interface



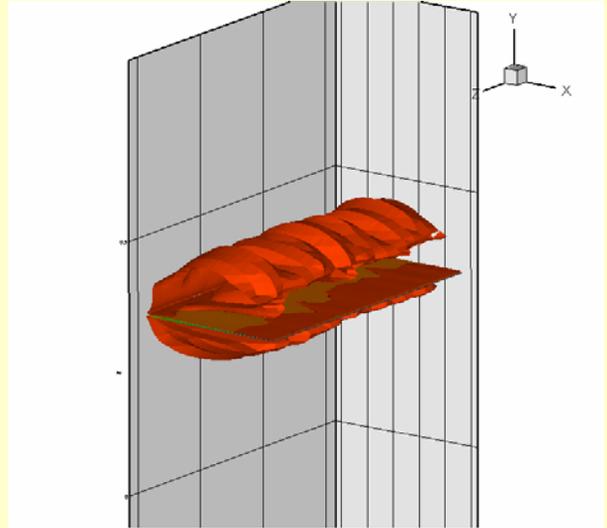
Maillage : 150 x 110 x 20

Cas complet en dimension 3

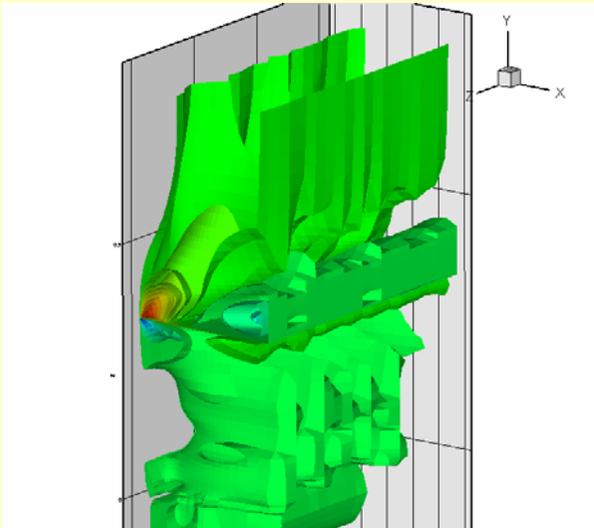
$t=0,6$ s



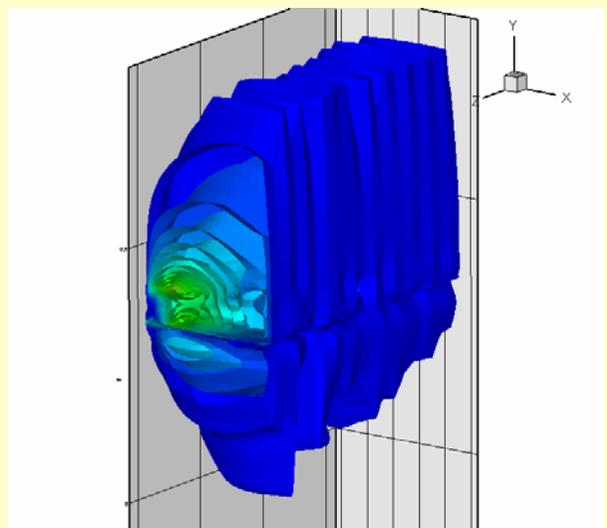
Fonction couleur



Vitesse moyenne normale
à l'interface



Vitesse moyenne tangentielle
à l'interface



Ecart type de la vitesse
moyenne tangentielle

« Ondulations » ... mais en transitoire et in y-axis

CONCLUSIONS

PERSPECTIVES

- **Phénomènes complexes dus à l'interaction plaque(film) – jet**
- **Déstabilisation Jet augmentée par glissement**
- **Pas d'augmentation, voire diminution du transfert due au glissement**

- **Poursuite en 3D ...**
- **Exploitation plus systématique = corrélations**
- **Couplage Thermique – Film**
- **? « Compressible »**