

GDR 3058

THERMOACOUSTIQUE

Journée d'étude SFT/SFA/GDR
"Thermoacoustique"

Contexte

- GDR créé en 2007
- Participants : LMFA, LAUM, LIMSI, LEA
- Objectifs :
 - travail collectif sur les problèmes scientifiques de la thermoacoustique, mise en commun et confrontation des travaux théoriques et expérimentaux.
 - Mise en place d'une structure de collaboration scientifique permettant une réponse coordonnée aux diverses sollicitations et appels d'offre.
- 2010 : demande de renouvellement incluant l'IPNO et FEMTO-ST

Thématiques de recherche

- **Thème 1 : Phénomènes fondamentaux**
 - Processus non linéaires acoustiques et thermiques
 - Non linéarités hydrodynamiques locales
 - Echanges thermiques en régime instationnaire
 - Transferts couplés de masse et de chaleur
- **Thème 2 : Métrologie adaptée à l'étude des systèmes thermoacoustiques**
 - Microcapteurs de pression, de température, de flux thermique
 - Méthodes de mesures optiques (PIV, LDV) et traitement du signal adaptés à la caractérisation des phénomènes acoustiques et écoulements redressés.
 - Méthodes de mesures thermographiques, mesures de température par thermométrie par images de particules PIT.

Thématiques de recherche

- **Thème 3 : Méthodologie de modélisation**
 - Changement d'échelle : extrapolation micro/macro.
 - Complémentarité des différents codes numériques développés :
(i) liens entre les codes basés sur des modèles compressibles ou faible Mach ; (ii) liens entre les modèles de champ et les modèles semi empiriques 1D.
- **Thème 4 : Composantes, Architectures et Systèmes**
 - Sources acoustiques
 - Echangeurs, stacks, régénérateurs
 - Fluides et matériaux non conventionnels
 - Architectures non conventionnelles
 - Dimensionnement des systèmes thermoacoustiques et optimisation énergétique.
 - Développement de nouveaux dispositifs exploitant les phénomènes thermoacoustiques

Actions communes

- Organisation de 3 colloques réunissant les chercheurs des 4 équipes du GDR + FEMTO-ST, IPNO, PHASE, PHELMA, ...
- Organisation d'une session spécialisée « thermoacoustique » à l'occasion du 10^{ème} CFA de Lyon
- Organisation d'une école d'été « Thermoacoustique » du 30 mai au 4 juin 2010, à Roscoff (42 participants)
- Benchmarking LDV LAUM - LEA.

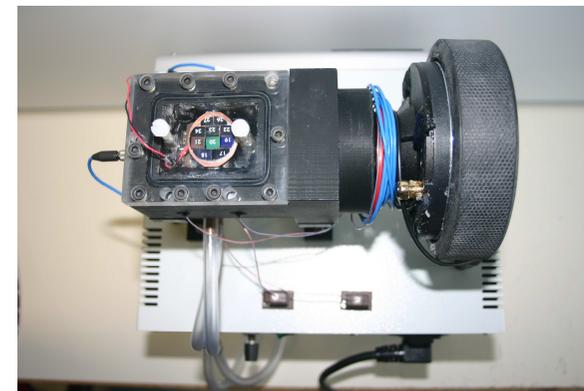
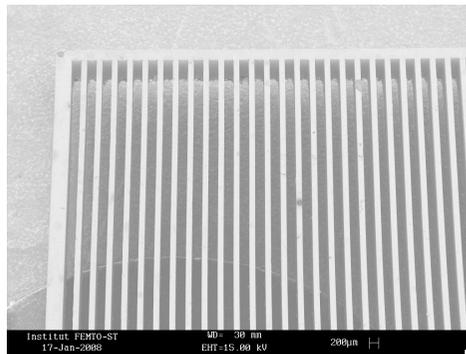
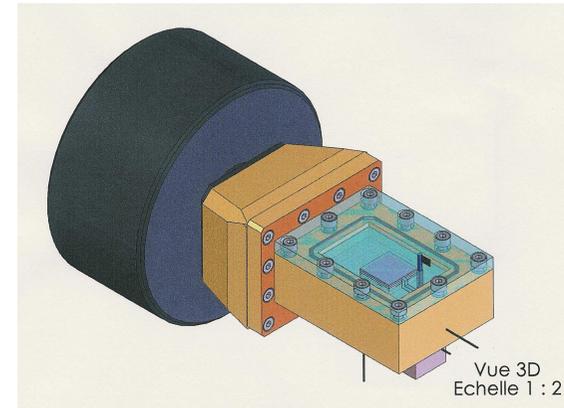
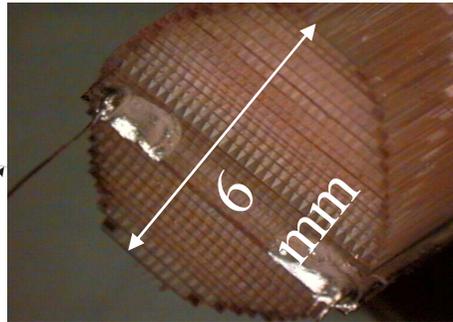
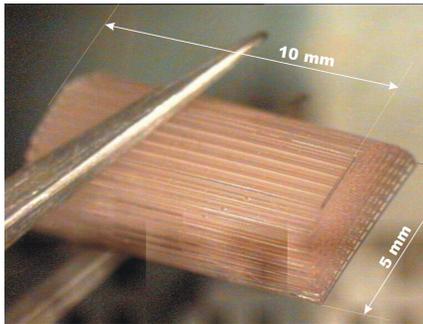
Actions communes

- 1. Développement d'architectures adaptées à la miniaturisation des machines thermoacoustiques**
- 2. Etude des effets de bords**
- 3. Etudes expérimentales et théorique du vent acoustique, développement de méthodes de mesure Laser**
- 4. Instrumentation spécifique à la thermoacoustique**
- 5. Développement d'outils de modélisation**

1. Développement d'architectures adaptées à la miniaturisation des machines thermoacoustiques

Laboratoires impliqués: LAUM, LMFA

ANR Microthermac



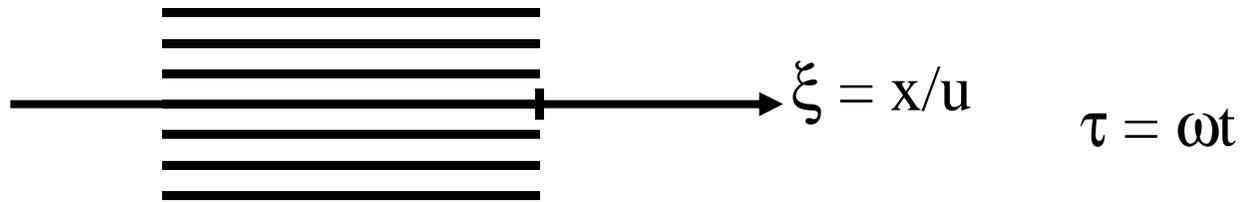
Conception de stack et d'échangeurs de chaleurs par technologie MEMS,

Etude de nouvelles géométries de résonateur de type compact

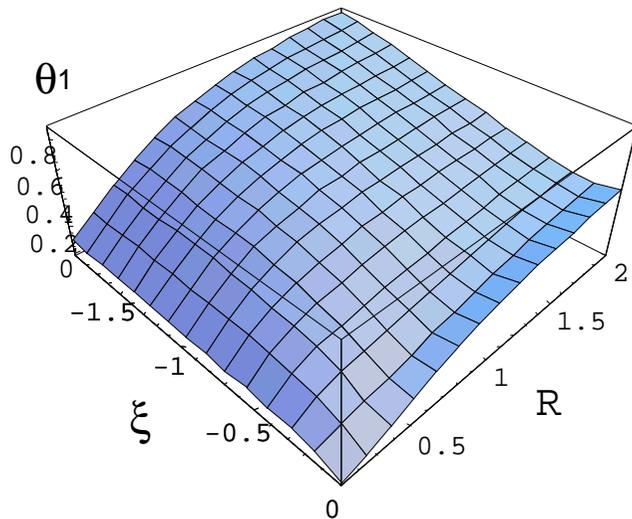
Journée d'étude SFT/SFA/GDR
"Thermoacoustique"

2. Etude des effets de bords

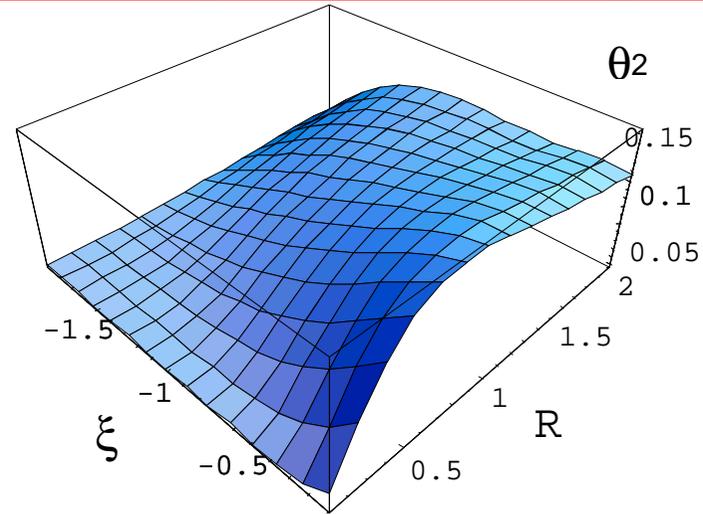
Laboratoires impliqués: LAUM, LMFA, LEA



$$\theta = \frac{R}{1+R^2} \sin \tau - \frac{R^2}{1+R^2} \cos \tau + \frac{R}{1+R^2} \frac{\sin[\arccos(\xi + \cos \tau)]}{\text{sh}\left[\frac{\arccos(\xi + \cos \tau)}{R}\right]} e^{-\tau/R}$$

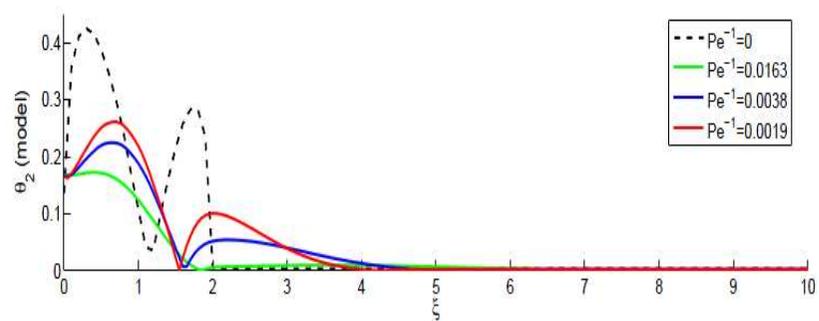
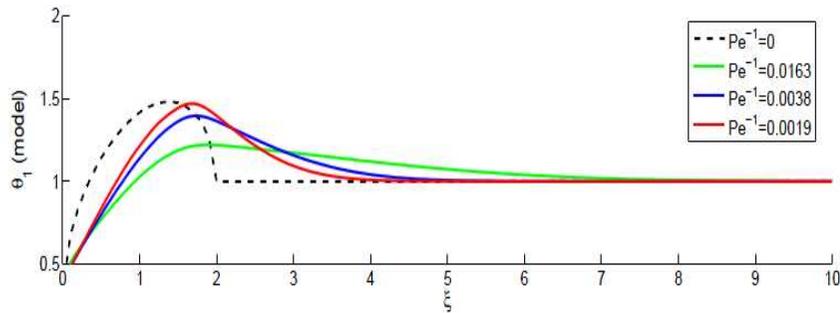
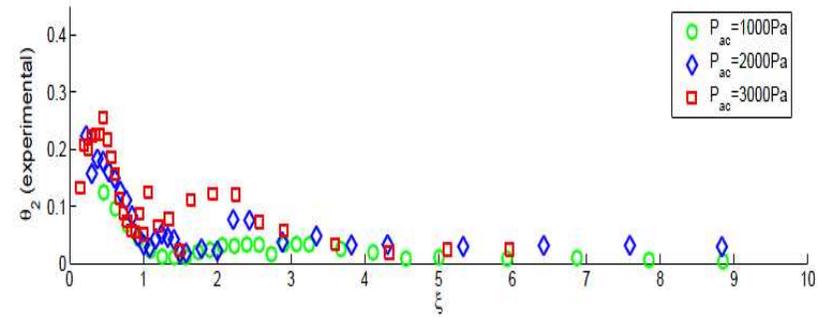
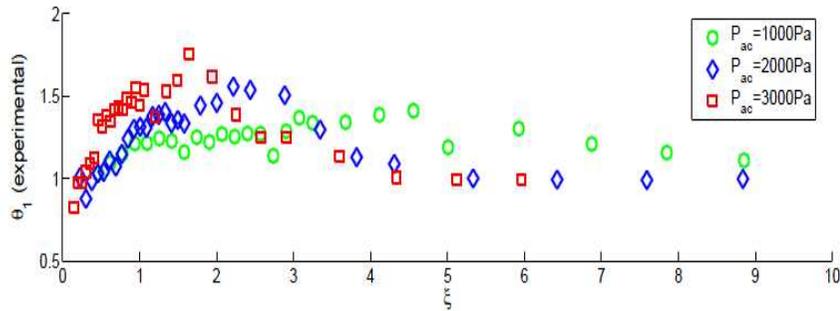
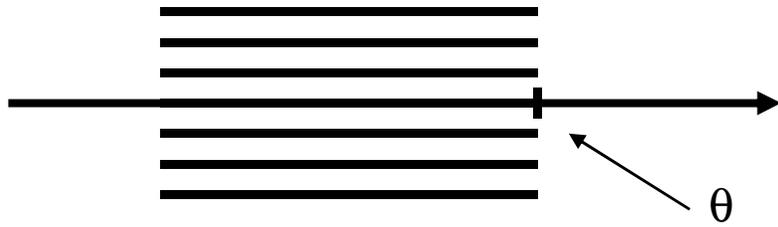


Fondamental



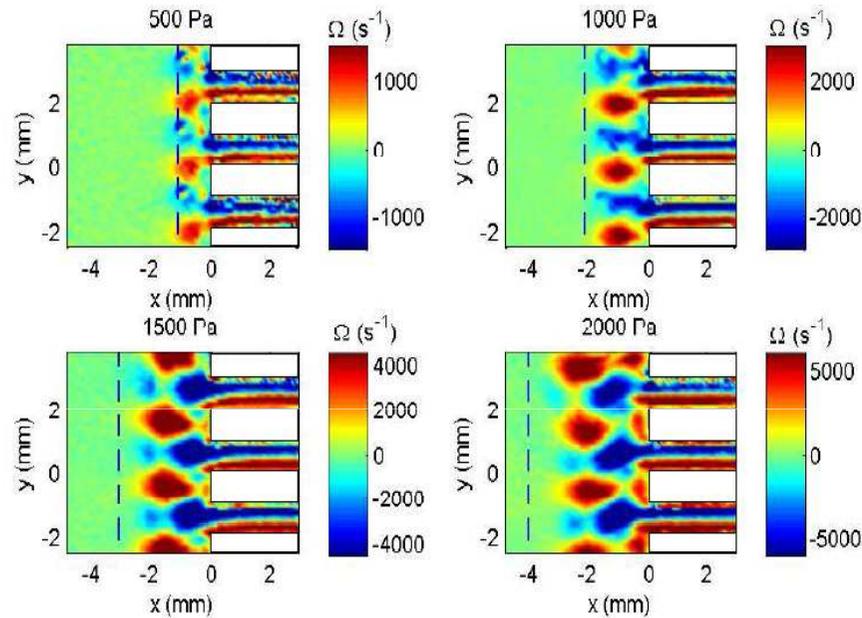
1^{er} harmonique

Etude **analytique** des effets de bords non linéaires thermiques aux extrémités du stack et des échangeurs de chaleur (LAUM)



Etude *expérimentale* des effets de bords non linéaires thermiques aux extrémités du stack et des échangeurs de chaleur (LMFA)

Vorticity fields and boundaries of vortices $|\Gamma_2|=2/\pi$



$$Re = \frac{Vd}{\nu}, St = \frac{fd}{V}$$

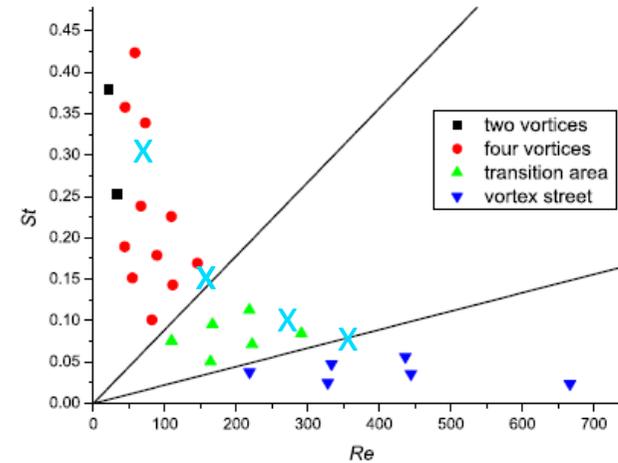
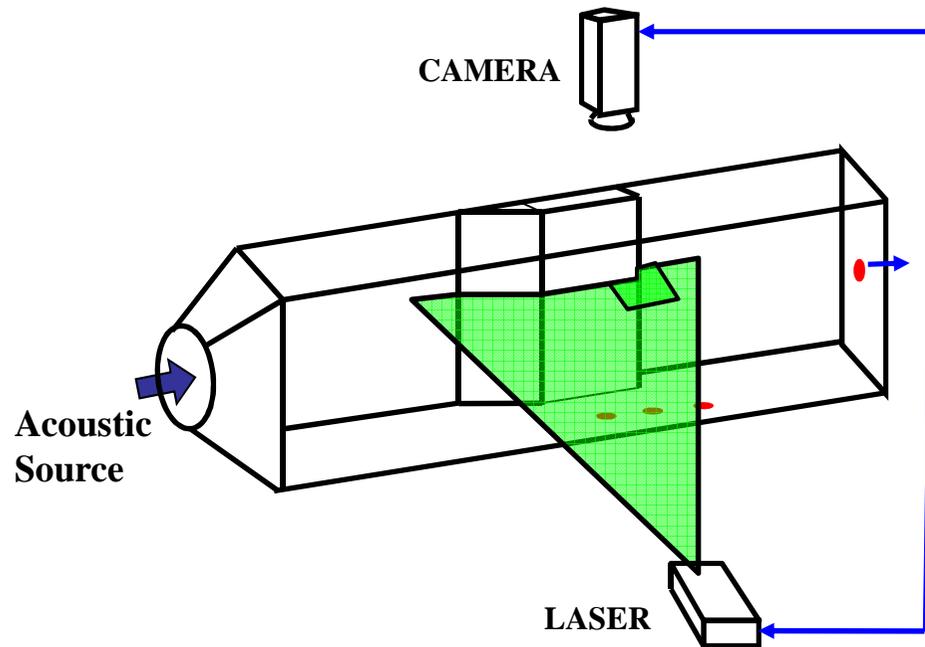


Fig. 9 from Aben

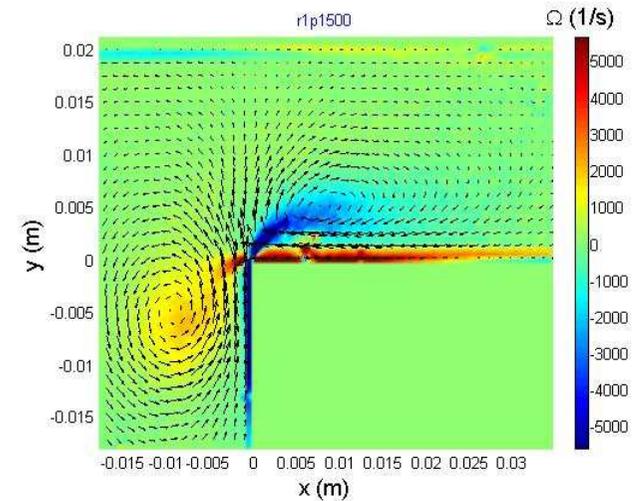
Shear layers elongation extend about $2d_{ac}$ (Berson 2008).



Études numériques et expérimentales (PIV) des effets de bords aérodynamiques aux extrémités du stack et des échangeurs de chaleur (LMFA)



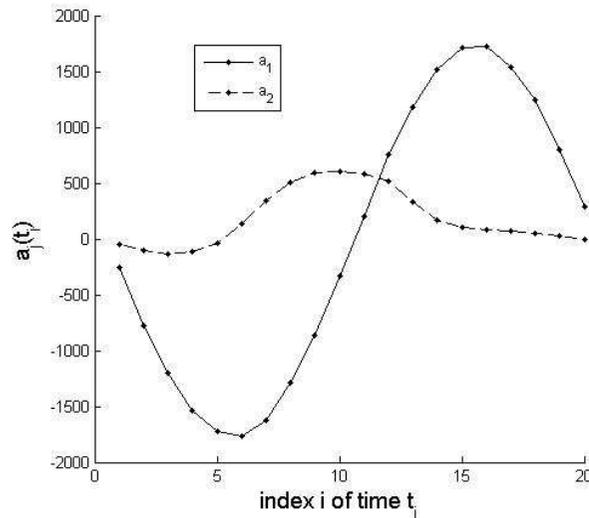
Acta Acustica, 2008



Proper Orthogonal Decomposition for acoustic flow analysis

$$\mathbf{U}(x, y, t_i) = \sum_j a_j(t_i) \Phi_j(x, y)$$

Φ_j (j=1...N) is the jth mode



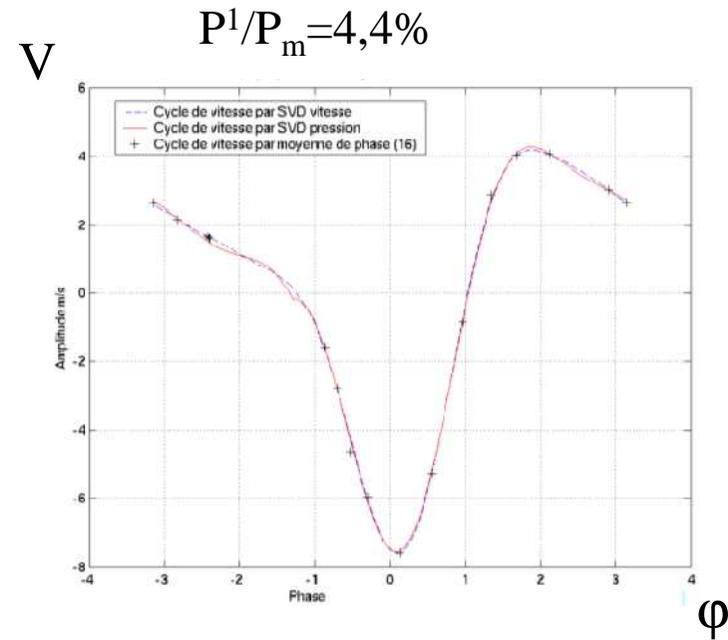
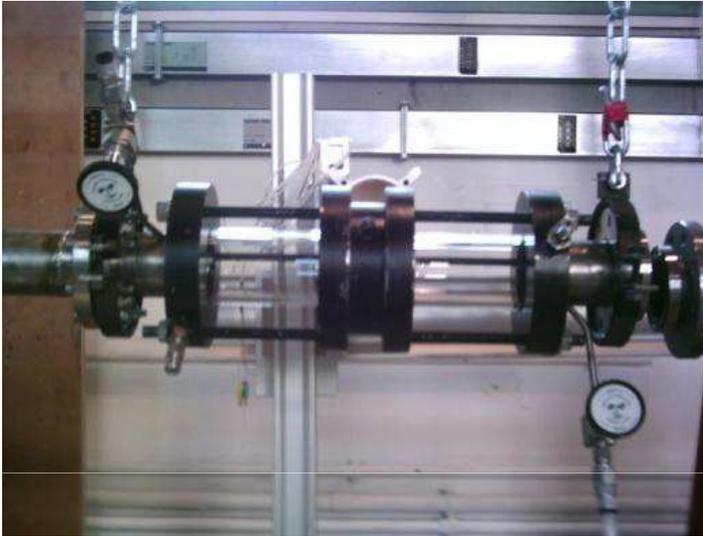
- 1^{er} mode: écoulement potentiel
- 2nd mode: création et éjection d'un tourbillon

Etude par PIV et LDV des effets d'une discontinuité (LEA)

Journée d'étude SFT/SFA/GDR
"Thermoacoustique"

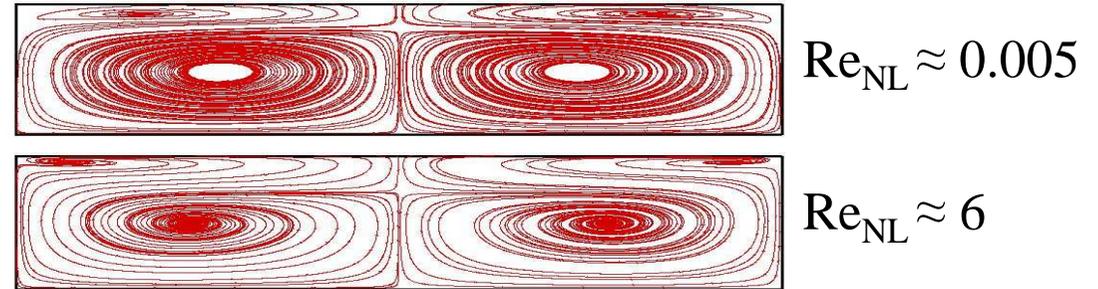
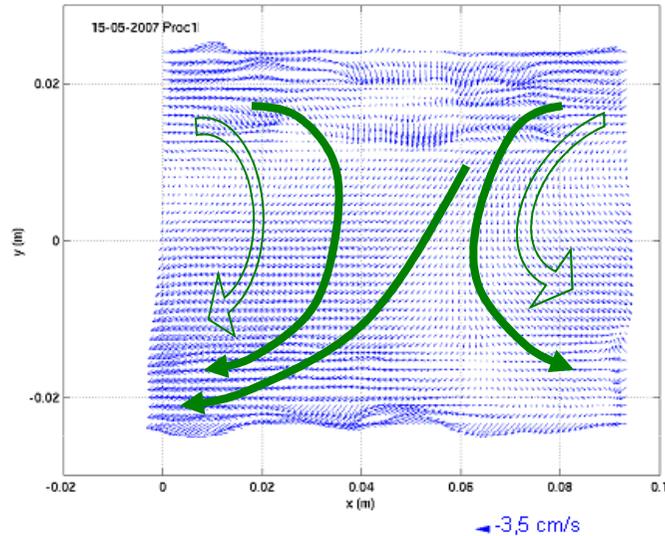
3. Etudes expérimentales et théorique du vent acoustique, développement de méthodes de mesure Laser

Laboratoires impliqués: LAUM, LEA, LIMSI, LMFA



Etude théorique et expérimentale (PIV) du vent acoustique dans un générateur d'ondes stationnaires en situation réelle sous pression (LIMSI)

Séparation des données acoustiques et redressées par différentes méthodes (SVD, POD, moyenne phasique, moyenne de phase...) [CFM 2007](#)



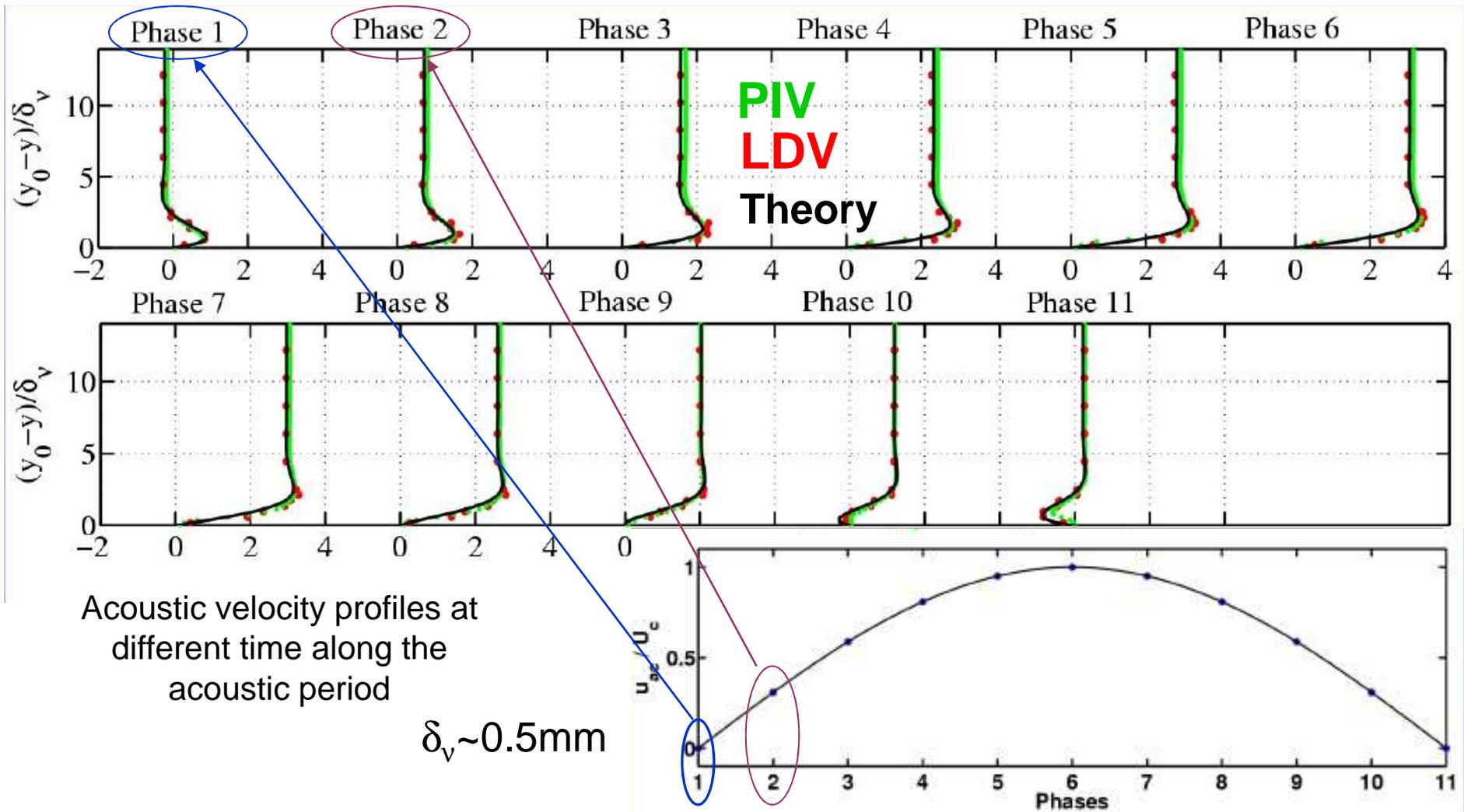
Simulation compressible 2D du streaming dans le résonateur $y/dn = 10$ (2010)

Écoulement continu tridimensionnel: présence de cellules de convection radiales

Décalage des structures vers les parois latérales quand Re_{NL} croît [18th INSA 2008](#)

Etude en cours pour Re_{NL} grand

Etude théorique et expérimentale (PIV) du vent acoustique dans un générateur d'ondes stationnaires en situation réelle sous pression (LIMSI)



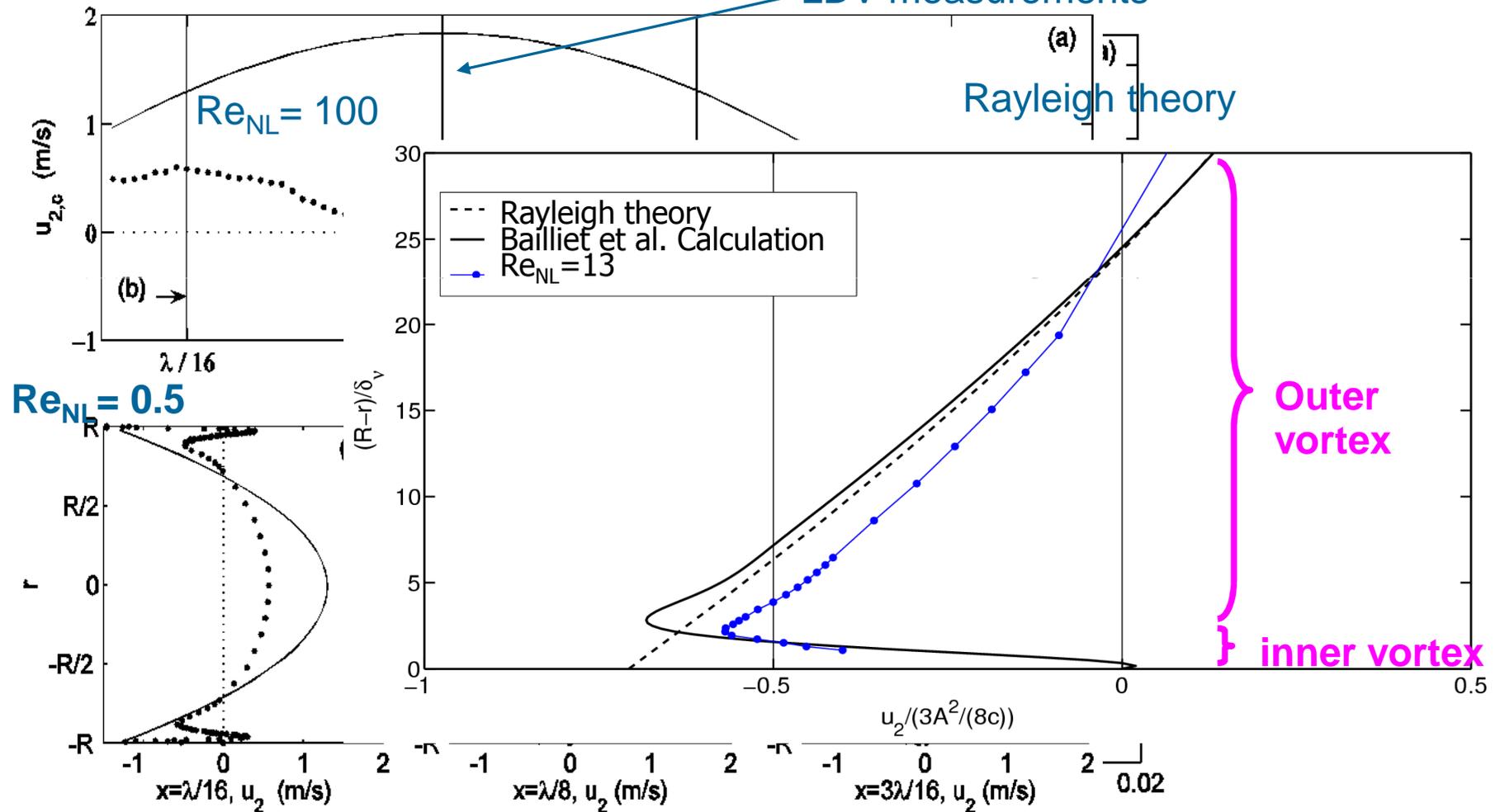
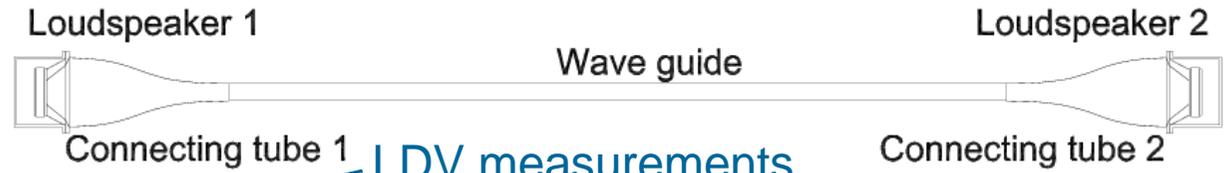
Développement de méthodes de mesure Laser pour la thermoacoustique (LEA)

Acta Acustica, 2009

Journée d'étude SFT/SFA/GDR
"Thermoacoustique"

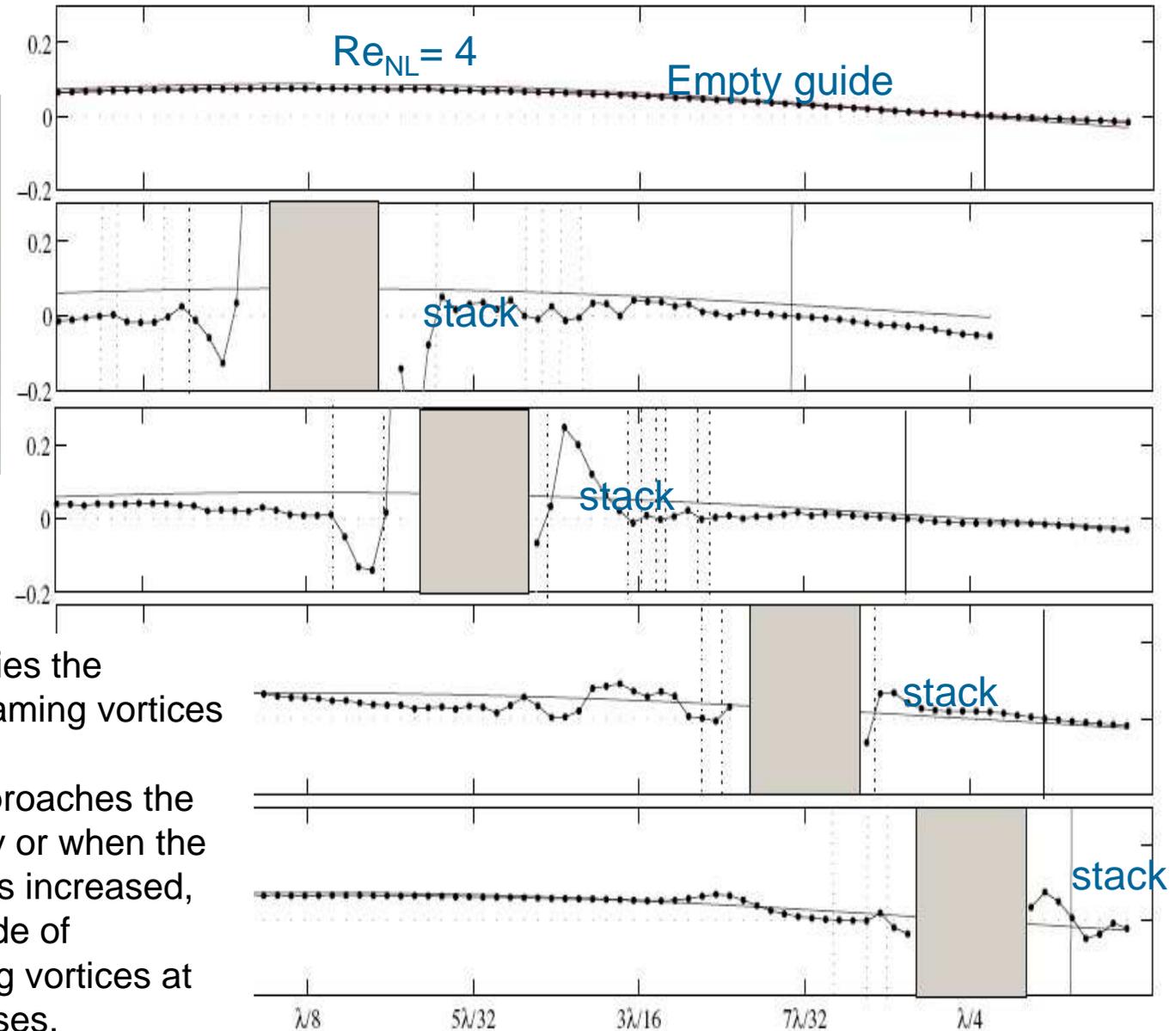
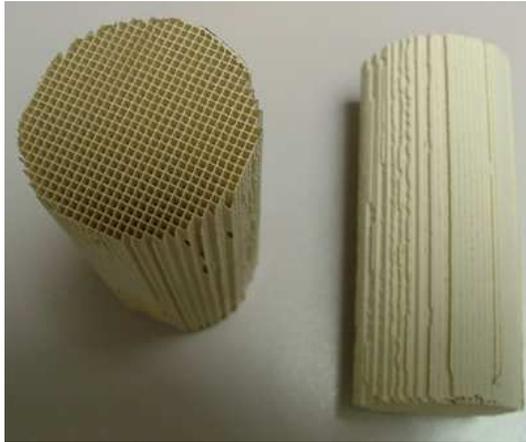
Etudes expérimentales et théorique du vent acoustique, développement de méthodes de mesure Laser

JASA 2008



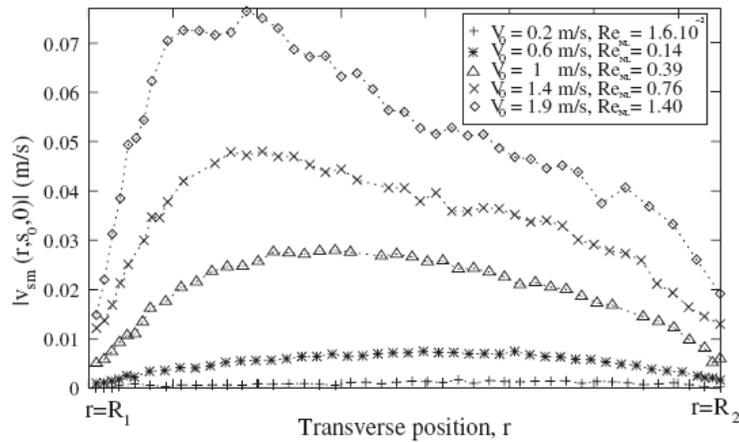
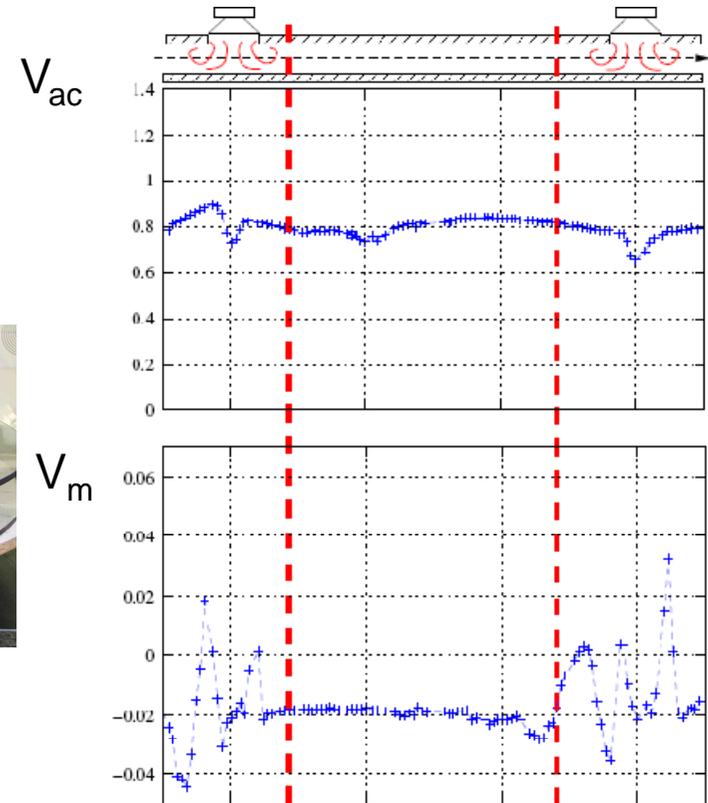
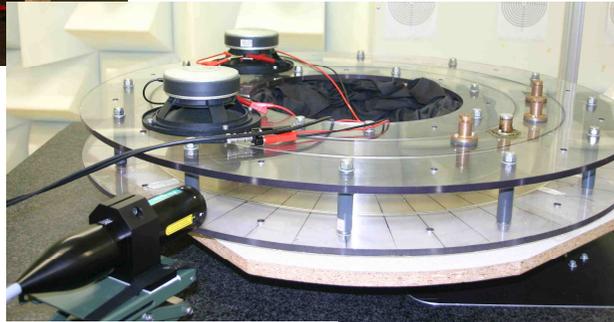
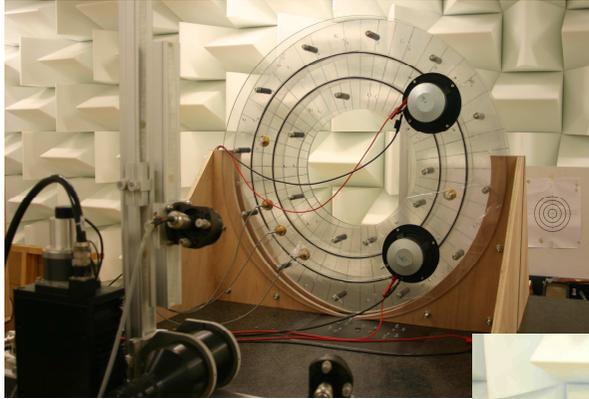
Vent acoustique et discontinuités 5LEA)

JASA 2009



Adding a stack locally modifies the streaming pattern; new streaming vortices appear.

When the stack position approaches the streaming maximum velocity or when the acoustic amplitude velocity is increased, the number and the amplitude of additional acoustic streaming vortices at the ends of the stack increases.

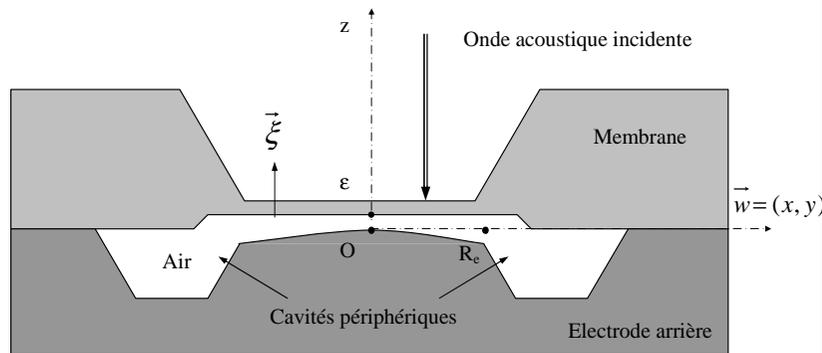


Etude théorique et expérimentale (LDV) du vent acoustique généré dans un résonateur annulaire à ondes progressives (LAUM) – JASA 2010

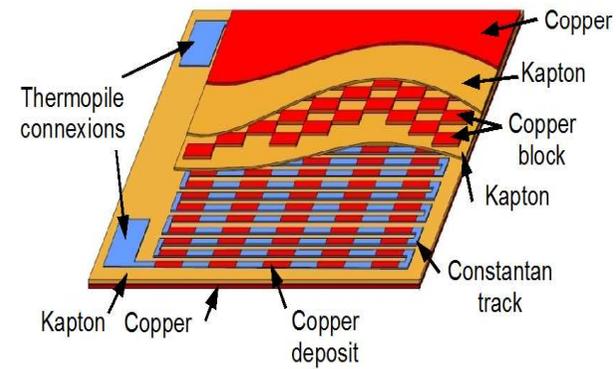
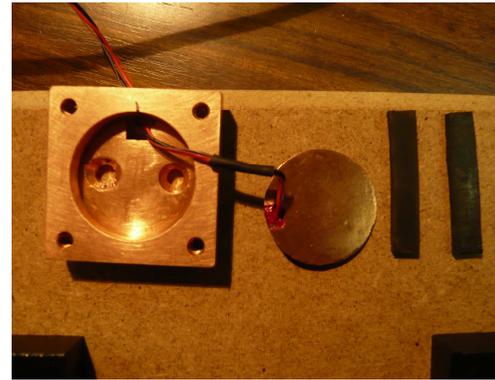
Journée d'étude SFT/SFA/GDR
"Thermoacoustique"

4. Instrumentation spécifique à la thermoacoustique

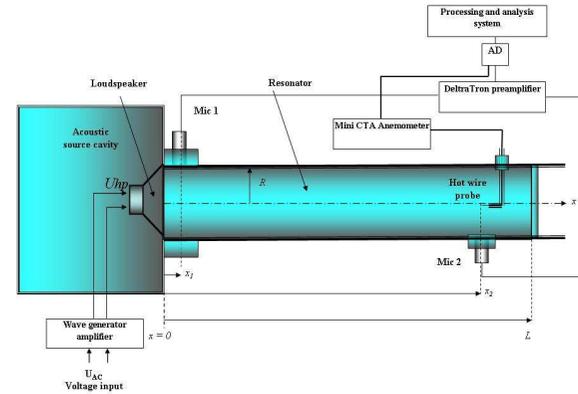
Laboratoires impliqués: LAUM, LMFA, LIMSIS



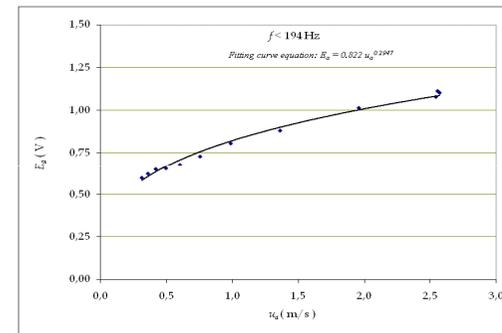
**Microphone miniature
(LAUM)**



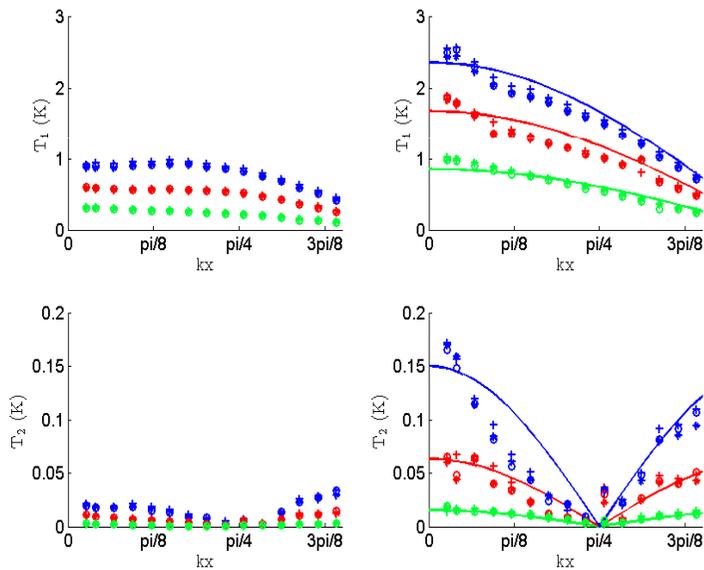
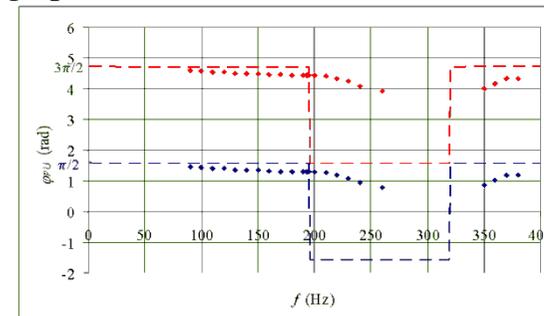
**Fluxmétrie thermique
(LAUM, LMFA)**



Amplitude du signal de sortie de l'anémomètre en fonction de l'amplitude de la vitesse oscillante



Déphasage pression/vitesse en fonction de la fréquence



Anémométrie CVA

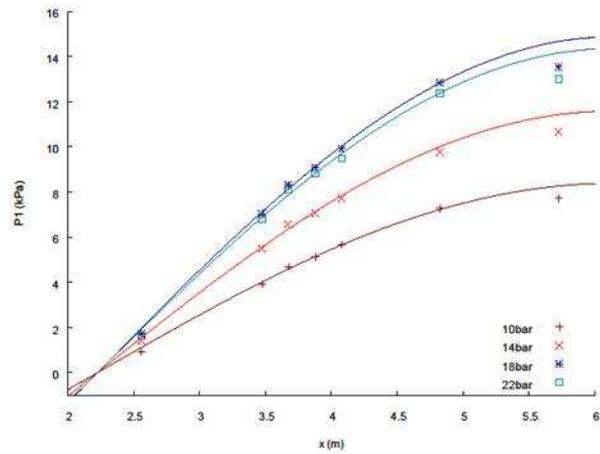
LMFA

Journée d'étude SFT/SFA/GDR
"Thermoacoustique"

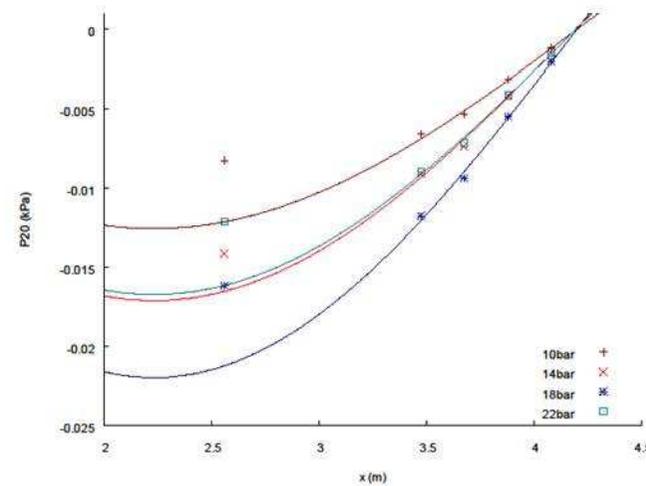
LIMSI



Pression acoustique d'ordre 1 le long du résonateur



Pression moyenne temporelle d'ordre 2



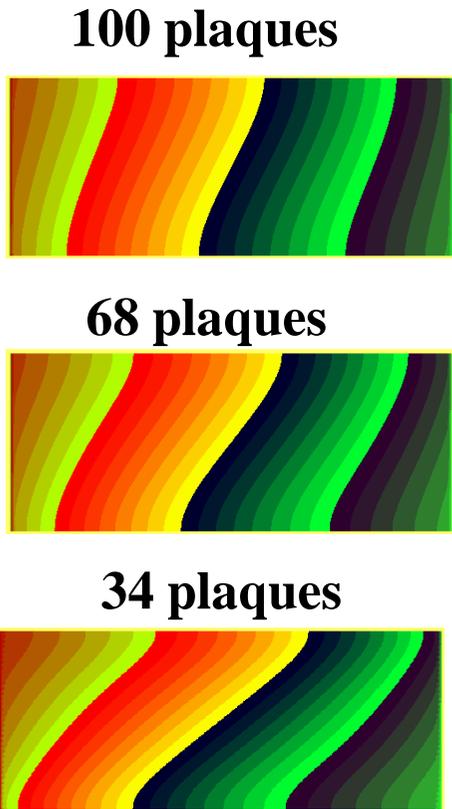
Mesures de pression (LIMSI)

Journée d'étude SFT/SFA/GDR
"Thermoacoustique"

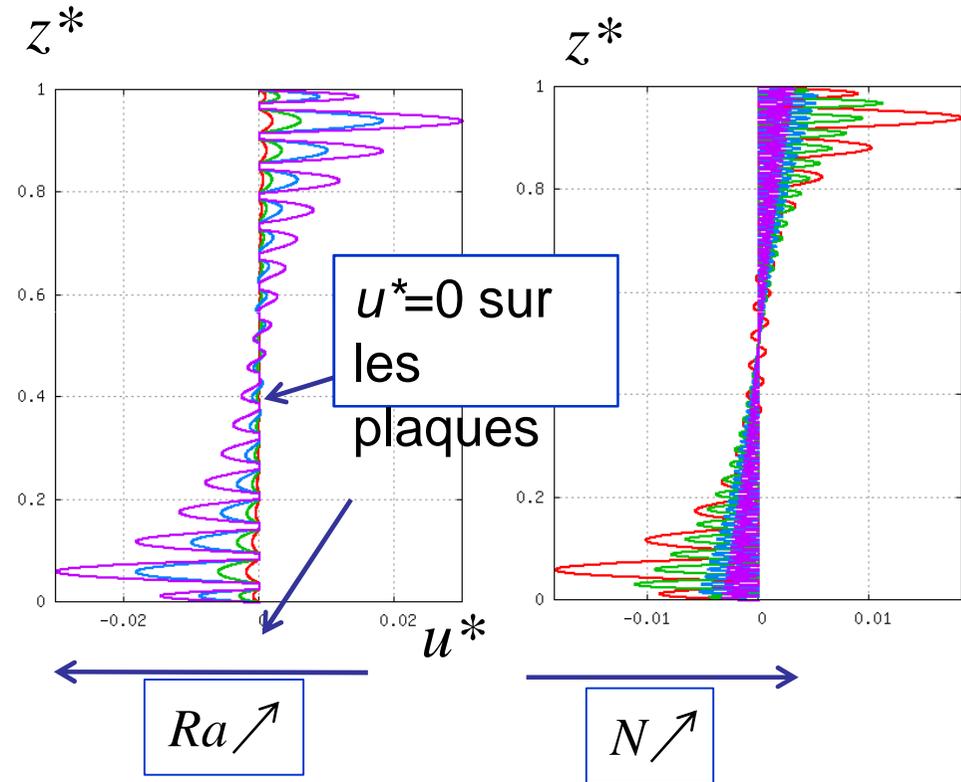
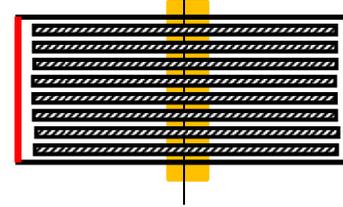
5. Développement d'outils de modélisation

Laboratoires impliqués: LIMSI (collaboration IPNO, Hékyom), LMFA, LAUM

$Ra=10^7$

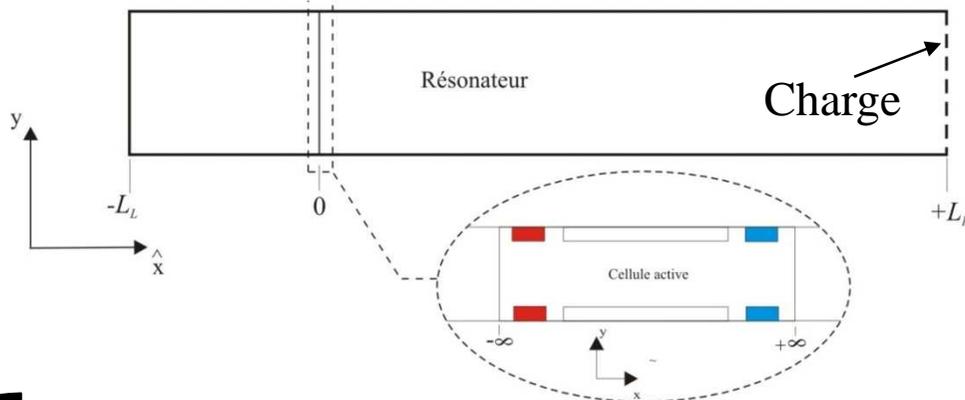


Vitesse horizontale
à mi-largeur



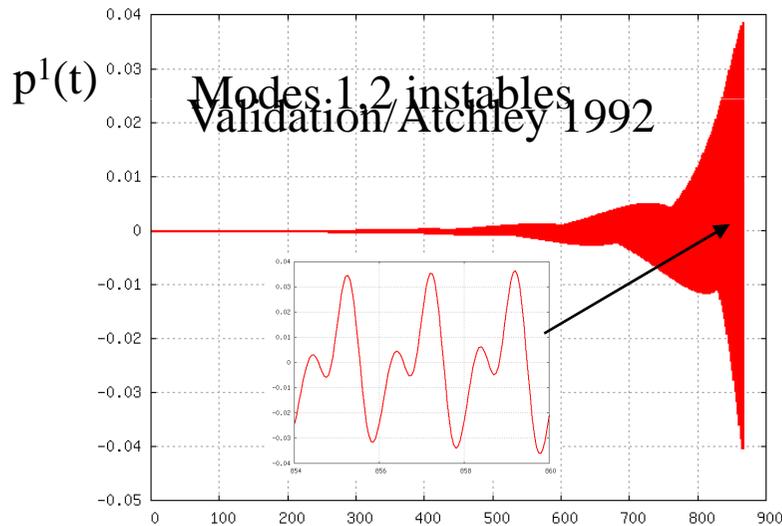
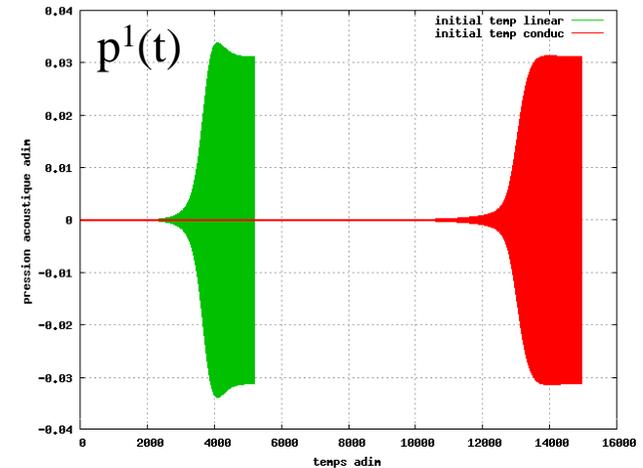
Etude numérique de la convection naturelle autour et dans le stack (LIMSI)

Journée d'étude SFT/SFA/GDR
"Thermoacoustique"



- **Modèle non linéaire (cellule active)**
couplé à
- **Acoustique linéaire (résonateur)**

↪ Description instationnaire de l'amplification d'onde et détection des modes instables
CR mécanique 338, 18-23 (2010), CFA 2010

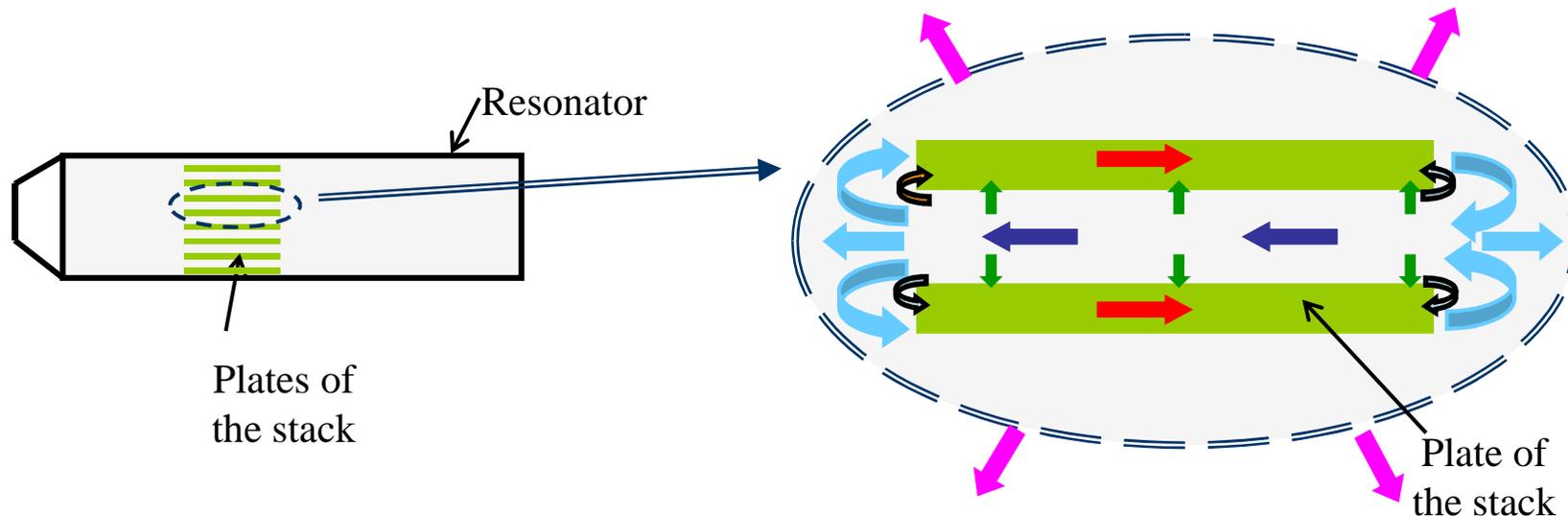


↪ Influence du champ initial de température sur la saturation de l'onde
J.Acoust.Soc.Am. 128 (6), décembre 2010

↪ Etude de modèles d'échangeurs
ECCOMAS 2010, FEDSM-ICNMM 2010

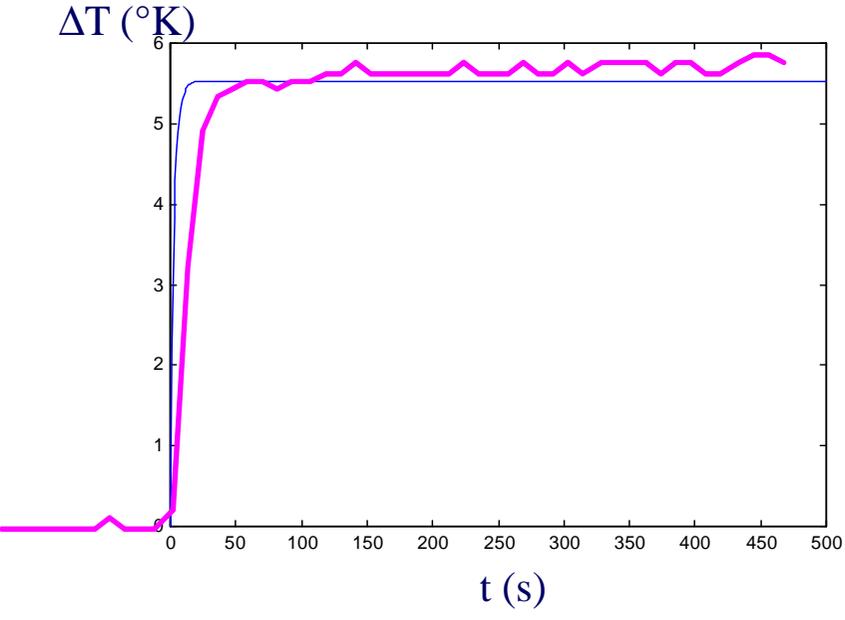
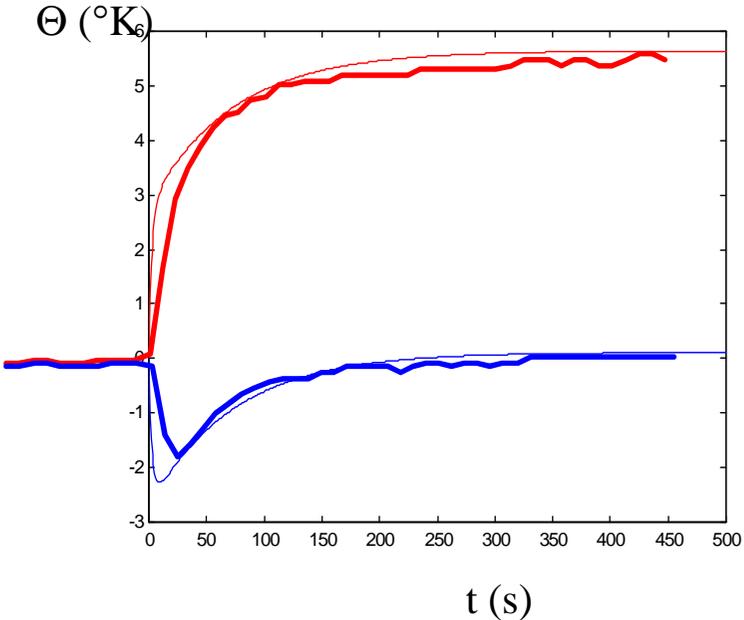
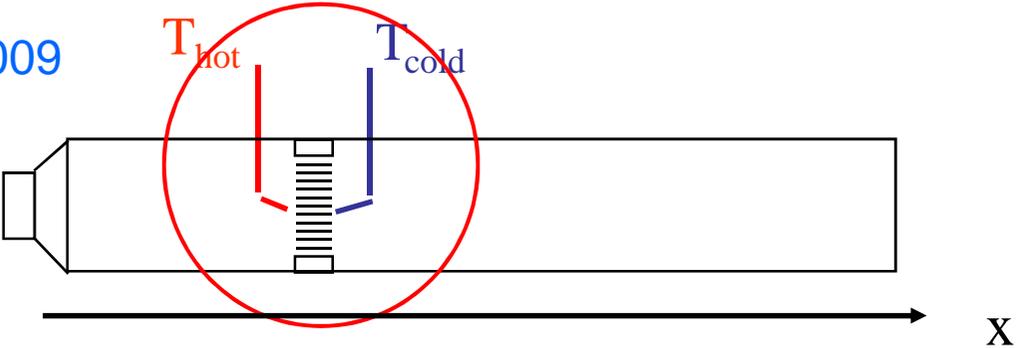
Modélisation non linéaire (Faible Mach) et simulation 2D d'un moteur thermoacoustique à ondes stationnaires (LIMSI, coll° L. Bauwens, Univ. Calgary)

- hydrodynamic thermoacoustic heat flux
- heat conduction inside the stack
- heat transfer through the ends of the stack
- viscous effect creating heat everywhere in the stack
- non linear phenomena at the ends of the stack
- lateral heat losses through the wall surrounding the resonator



modélisation 1D du transitoire de température dans le stack (LAUM – LMFA)

Heat and Mass transfer 20009



modélisation 1D du transitoire de température dans le stack (LAUM – LMFA)