



EMORPH meeting 30 March technological aspects

Eric Duhayon
Jean-François Rouchon

LAPLACE-GREM3



Scope of the presentation

Technologies for morphing activities

Hybridations of technologies

Morphing with SMA actuation

 optimisation of the actuation cycle

 control in displacement

Morphing with piezoactuators

 Flap wings

Smart materials properties : actuator/sensor concept

 Characterisation on



Different technologies for different scale

Morphing in centimetric scale



Morphing in millimetric scale



Hydraulic
Magnetic

Integration



Smart materials
SMA

Smart materials
PVDF, SMA, PZT

Dynamic



Cooled down SMA

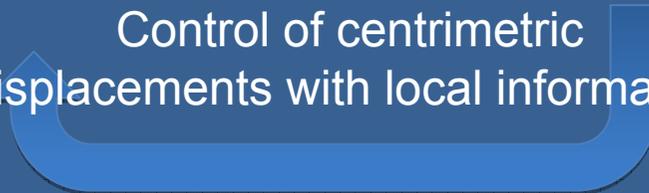
Piezo materials

Sensor



Piezo or PVDF
materials

Control of centrimetric displacements with local information



Hybridation of technologies



morphing

Influence sur l'écoulement
(fluid airflow):
Déformation (cm)
Fréquence (0,1 Hz- 10Hz)

Influence sur la couche limite
(boundary layer):
Déformation (mm)
Fréquence (10 Hz- 100 kHz)

➤ Rappel sur les propriétés des matériaux:

Matériaux	Déformation relative	Contrainte maxi	Température limite	Moyen d'activation	Ordre de grandeur	réversibilité
AMF	6%	200 MPa	800°C	Température (effet Joule)	100 °C	non
PZT	1000 ppm	500 MPa	150-300°C	Champ électrique	1000 V/mm	oui
Magnétostrictifs	2000 ppm		150-300°C	Champ magnétique		non
PVDF	0.1%	4MPa	70°C	Champ électrique	100 V/mm	oui

AMF : (EMMAV)

Actionneur

(SMARTWING/DYNAMORPH)

PZT :

Actionneur/Capteur

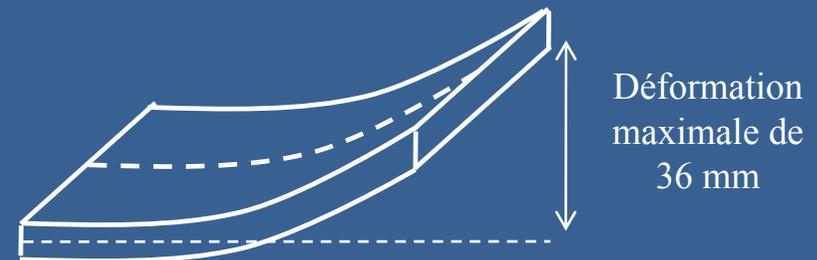
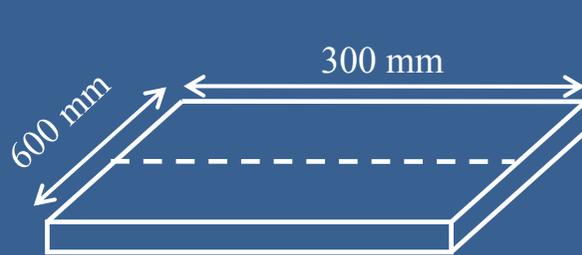
PVDF :

Capteur

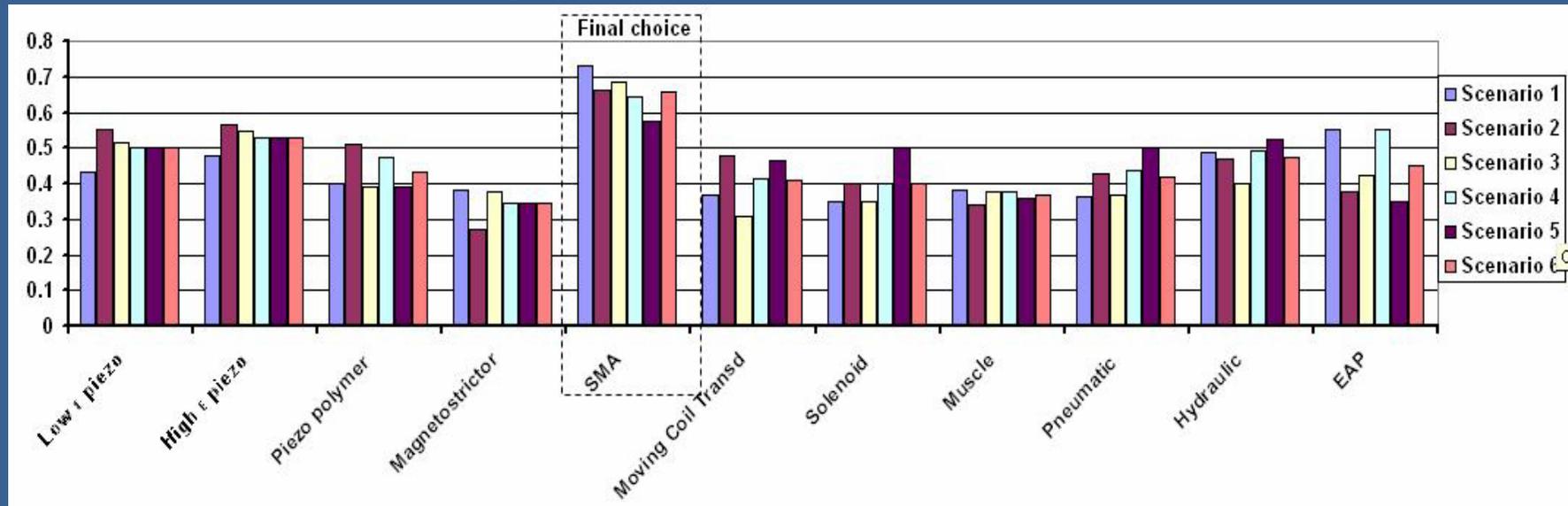


Déformation de grande amplitude par AMF (EMMAV)

- Déformation de la voilure : couplage aéro-élastique :
 - Amplitude de déformation : cm
 - Fréquence de Déformation : Hz



- Choix du matériau : Alliage Ti-Ni (Nitinol)





Présentation d'une voileure déformable (EMMAV).

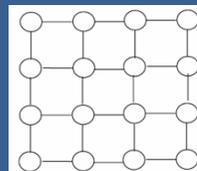
- Utilisation d'un alliage Nickel- Titane (Ti-Ni). NITINOL
- Voilure déformable : polymère thermostable en PEEK (PolyEtherEtherKetone)
- Mise en température de l'AMF par effet Joule . Application d'un courant continu.



Photographie du prototype de voileure déformable (LAPLACE)

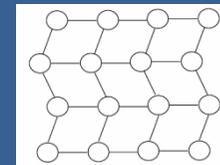
➤ Principe de déformation de la plaque ➔ Propriétés thermomécaniques des AMF

T_0 : Température ambiante



Après transformation de phase

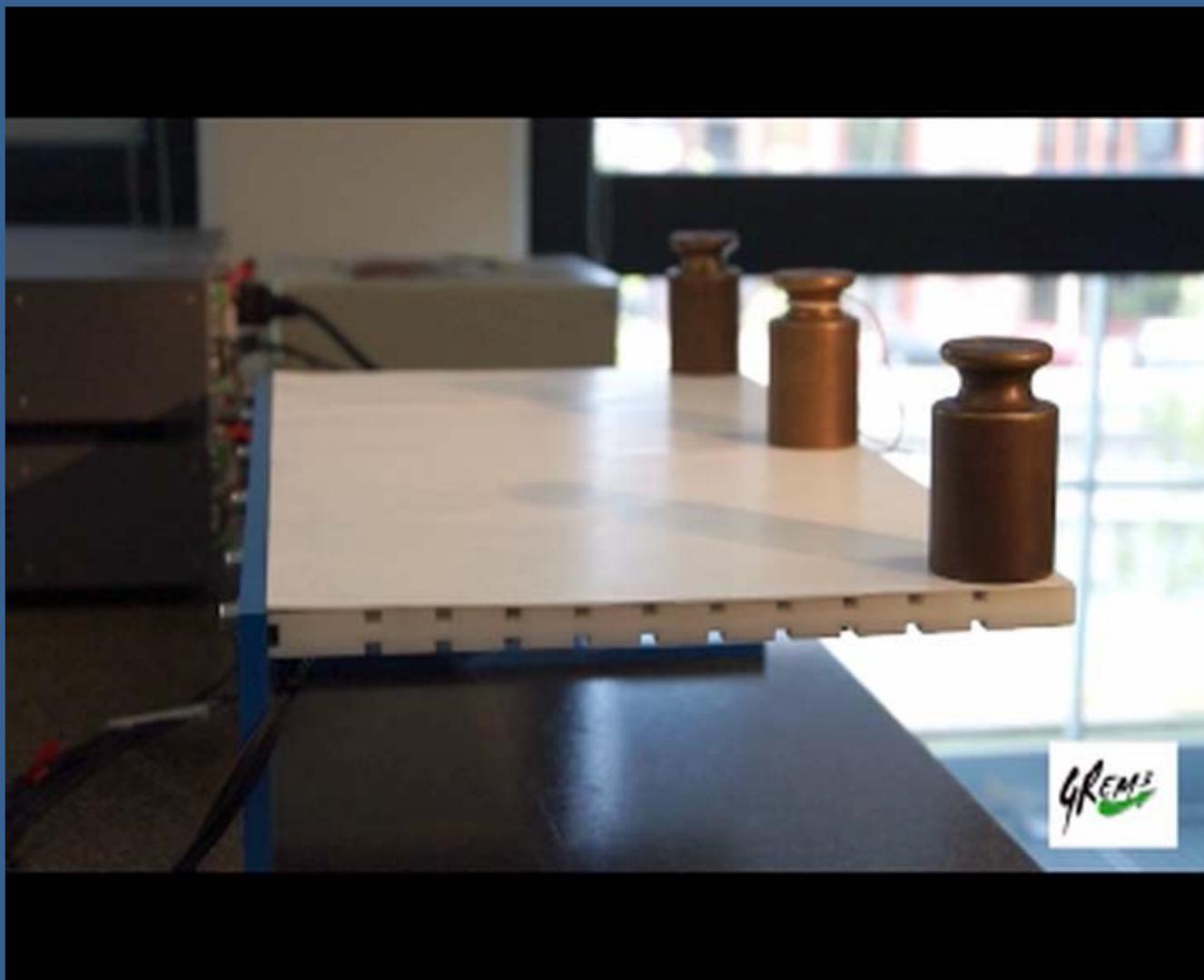
$T > T_0$



➤ Amélioration de la plaque :

Comprendre et améliorer la dynamique temporelle

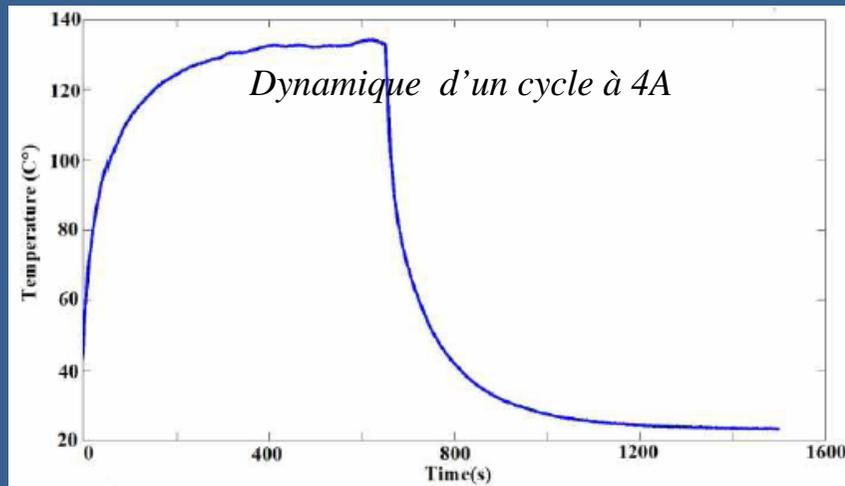
Paramètre de contrôle en position





Optimisation de la dynamique des cycles

- Régime stationnaire : stabilisation de la flèche



Pour les faibles intensités (I < 4A) :

Dynamique relativement homogène (Temps de chauffe/Temps de refroidissement)

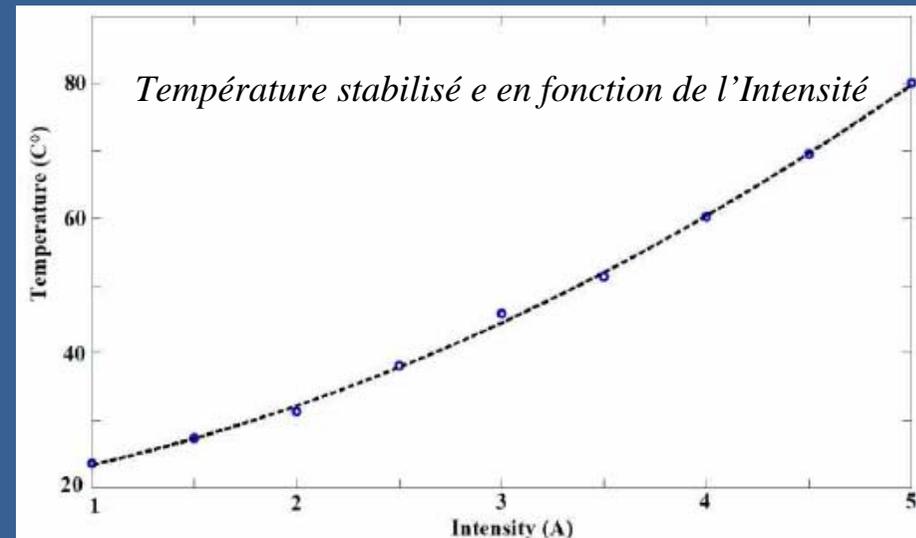
- Régime stationnaire : stabilisation de la flèche

Modélisation théorique

$$T^S(r) = T_{amb} + \frac{R^e I^2}{hS_e} + \frac{R^e I^2 R}{2\lambda S_e} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$$



Pour les faibles intensités :
Dynamique de l'ordre de 100 s





➤ Modélisation théorique en régime transitoire :

Equation de la chaleur en régime transitoire :

$$\lambda_i \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} \right) + q_i = C_i \frac{\partial T(r,t)}{\partial t}$$



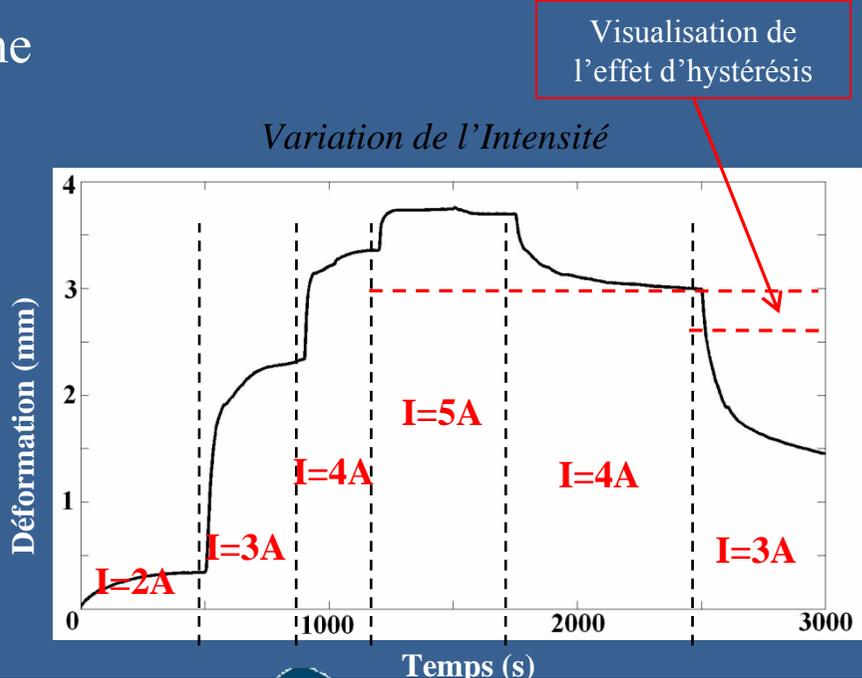
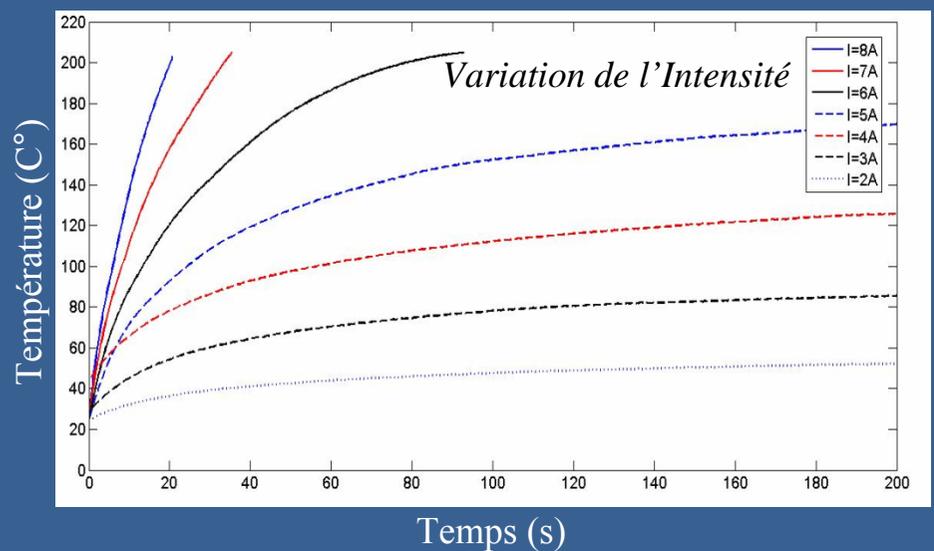
$$T^t(r,t) = \frac{2}{R^2} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-w_n^2 c^2 t} A_n J_0(w_n r),$$

Avec :

$$A_n = \frac{w_n^2}{\left(\frac{h^2}{\lambda^2} + w_n^2 \right) \left[J_0(w_n R) \right]^2} \int_0^R r T^t_0(r) J_0(w_n r) dr$$

But : Modélisation numérique avec prise en compte du changement de phase

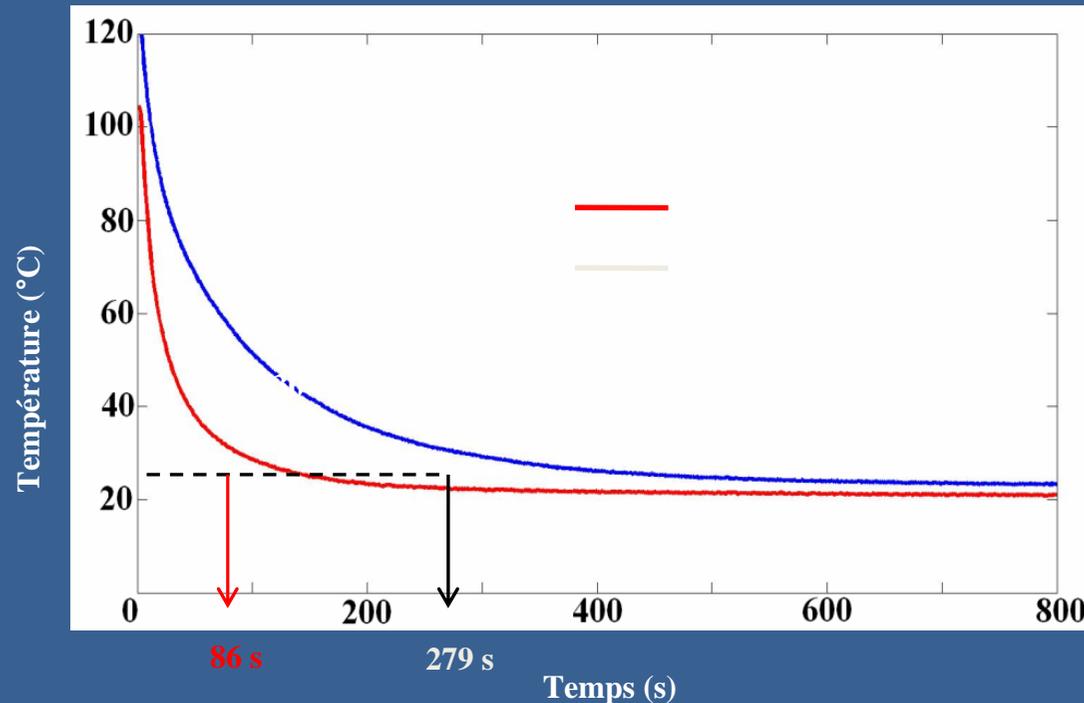
➤ Régime stationnaire : stabilisation de la flèche



Visualisation de l'effet d'hystérésis

➤ Amélioration de la dynamique de refroidissement par convection forcée :

Utilisation de la convection forcée : $I=4A$



Pour les fortes intensités ($I < 8A$) :

Dynamique avec convection forcée de l'ordre 1-10 s

➤ Travail en cours :

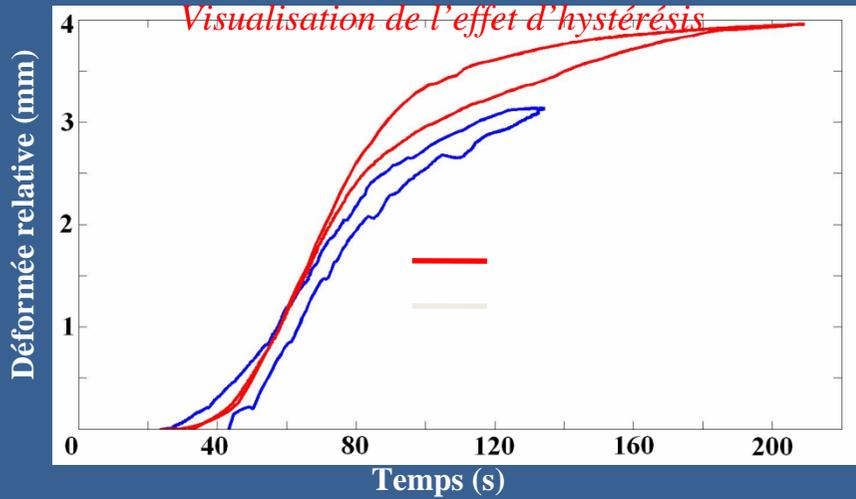
- Mise en place de la convection forcée sur le nouveau prototype
- Modélisation numérique de la dynamique temporelle :

➔ Asservissement de l'alimentation

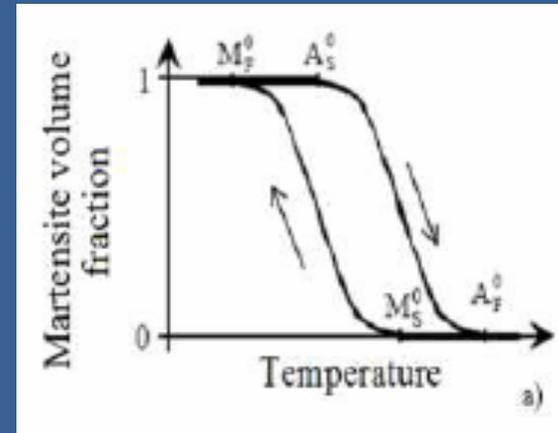


Paramètre de contrôle en position

- Changement de phase cristalline : image de la déformation relative



Transformation de phase en fonction de la température



- Evolution de la résistance électrique durant le changement de phase

Paramètre de contrôle

Contribution élastique

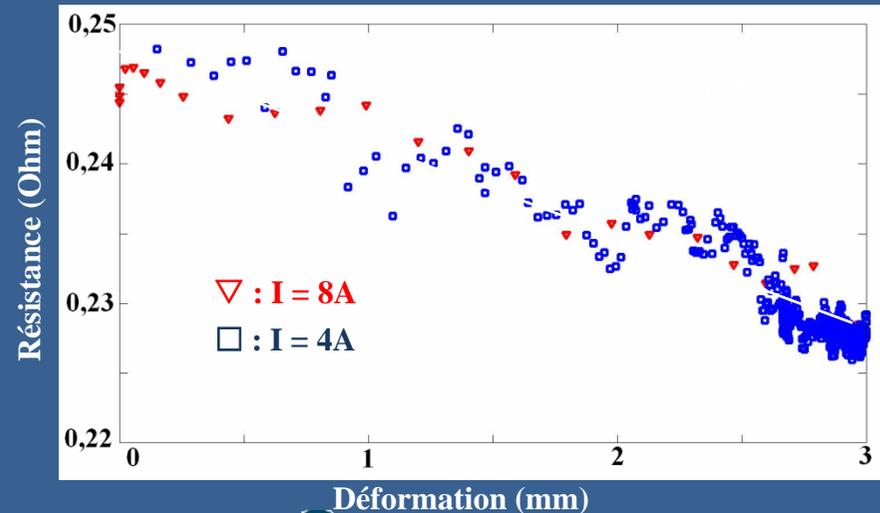
$$\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)_{Br} = (1 + 2\nu)\frac{\Delta L}{L}$$

Contribution piezorésistive

$$\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)_{Br} = C(1 - 2\nu)\frac{\Delta L}{L}$$

Résistance électrique :

$$R = R_0 \left(1 - \frac{x}{L_0}\right)^K$$





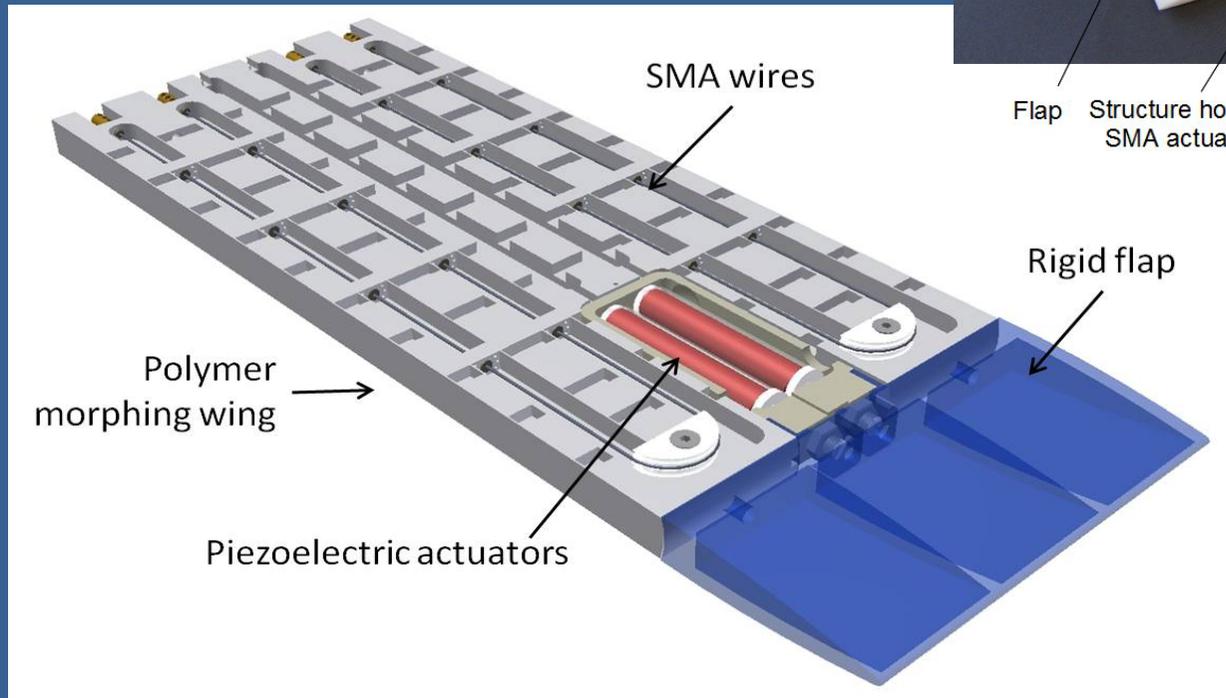
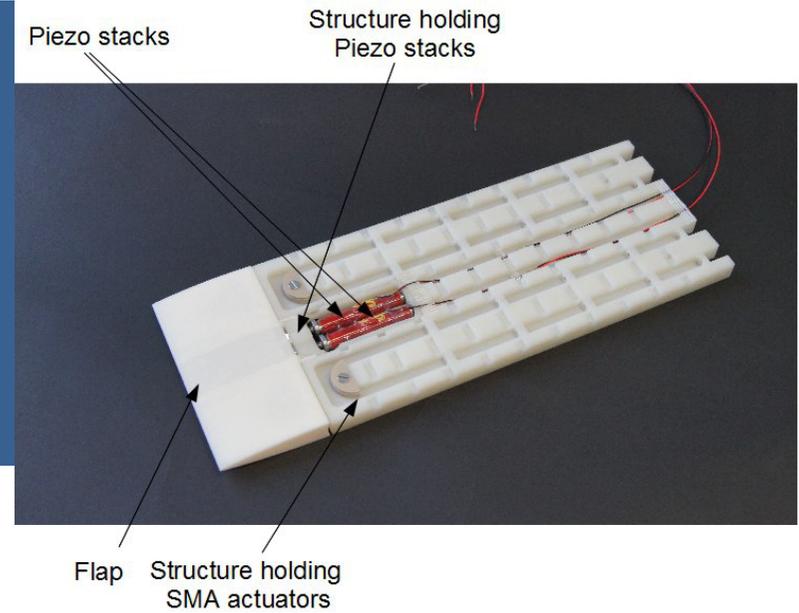
Actuation avec PZT (SMARTWING/DYNAMORPH)

- Caractéristiques : Exemple : un barreau de PZT « multicouche » :
 - Longueur 80 mm
 - Section : 25 mm²
 - Tension : 150 V
 - Déplacement 70 μm
 - Force : 800 N

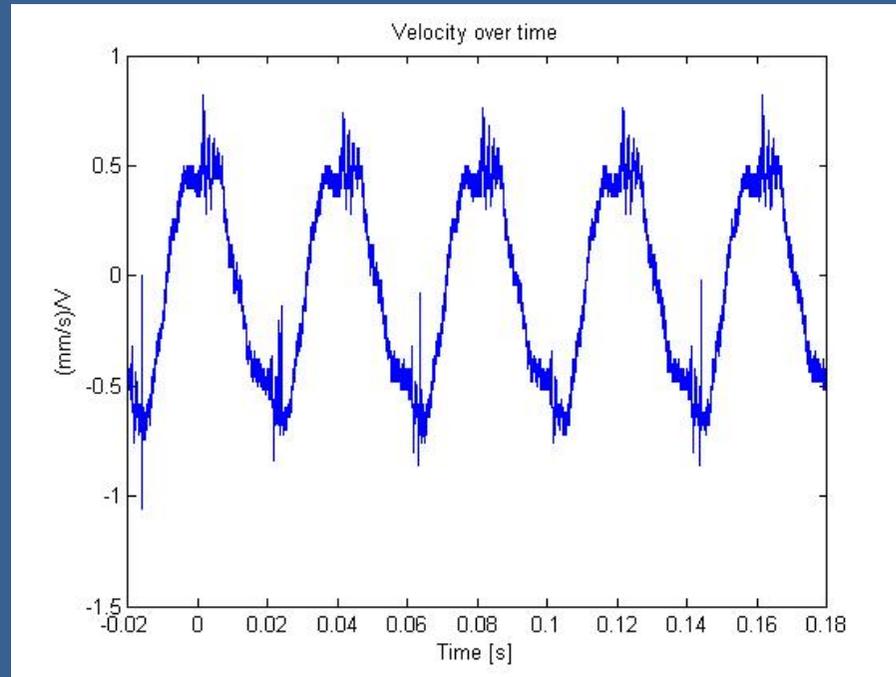
- Fabrication d'un flap Piezoelectrique : Stratégie
 - Simulation avec à l'aide des éléments finis
 - Fabrication d'un prototype
 - Évaluation du prototype
 - Fabrication d'une nouvelle plaque avec des piezoelectriques et des AMFs intégrés
 - Évaluation dans la soufflerie



Prototype d'Hybridation AMF-PZT:



Intérêt de cette configuration : Les 2 céramiques agissent comme actionneur/Capteur



800 V square wave at 25 Hz $y=125(\text{mm/s})/V$

- 2 mm peak to peak deformation
- frequencies up to 25 Hz evaluated
- different signals



Etude de faisabilité d'un capteur de pression en PVDF (SMARTWING/DYNAMORPH) en vue de la caractérisation dynamique de l'écoulement

- Polyfluorure de vinylidène : Polymère piézoélectrique

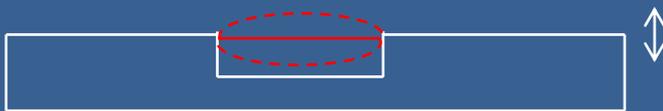
Masse volumique : $1,78 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

Module d'élasticité : $\approx 1\,000 \text{ MPa}$

➔ Utilisation en tant que capteur

- Caractérisation d'un capteur de pression :

Vibration d'une membrane circulaire :

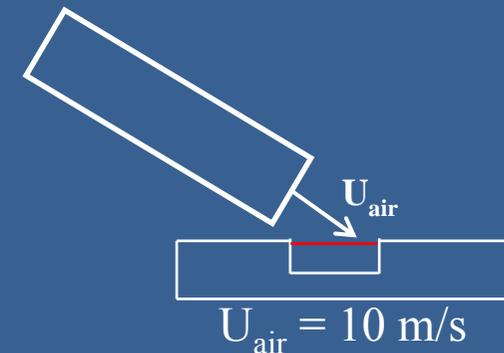


Influence des modes de vibration sur le signal électrique :



Amplitude maximale
fixée à 1 mm
(profondeur de la
cavité)

Test sur un écoulement aéro :



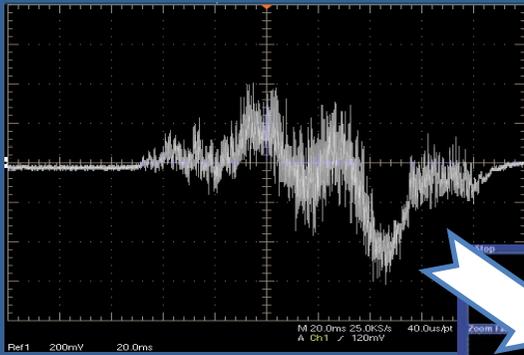
- Réalisation d'un modèle du capteur :

Modèle premier ordre reliant la tension sortie capteur à la force exercée sur la membrane

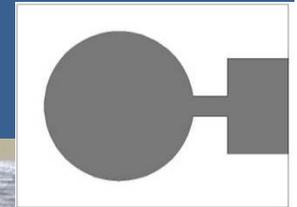
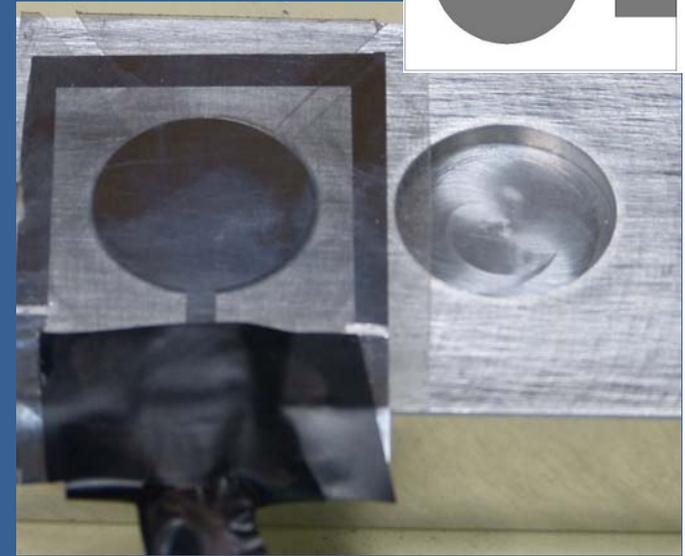
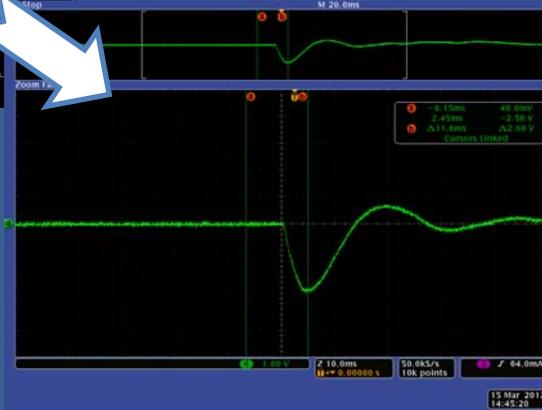


➤ Validation de la fonction capteur :

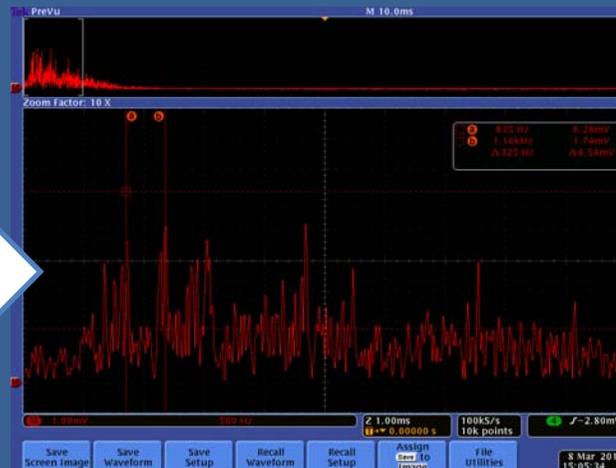
- Fonctionnement sur cavité de profondeur limitée (1mm)
- Métallisation « au droit » de la cavité
- Contacts polymère circuit « délicats »



Amélioration de la détection sur un impact ponctuel centré
-en amplitude
-en fréquentiel



Signal obtenu sous écoulement d'air

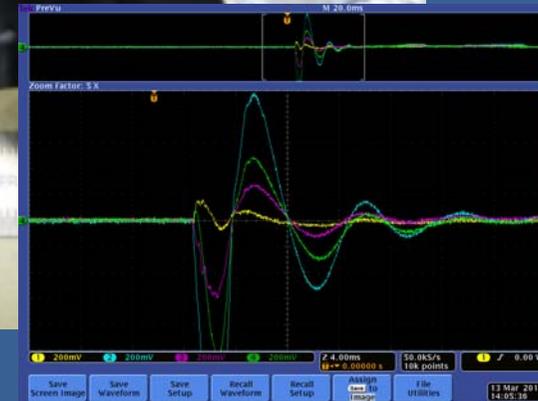
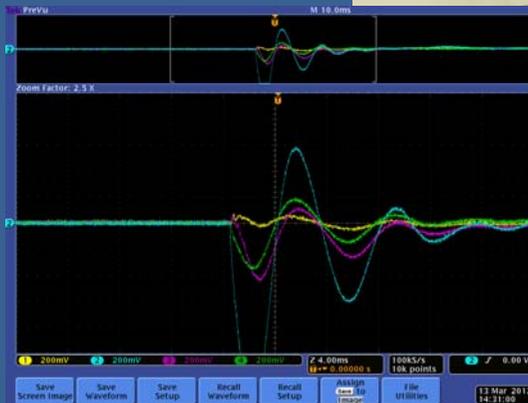
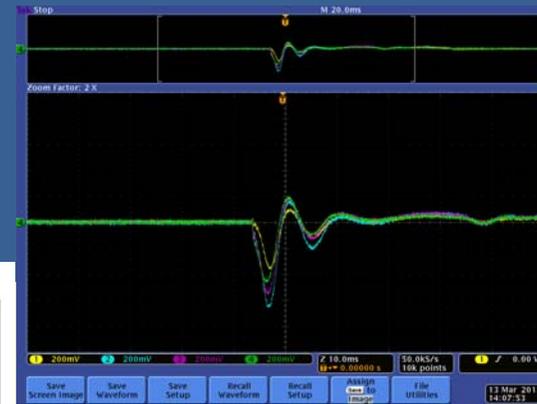
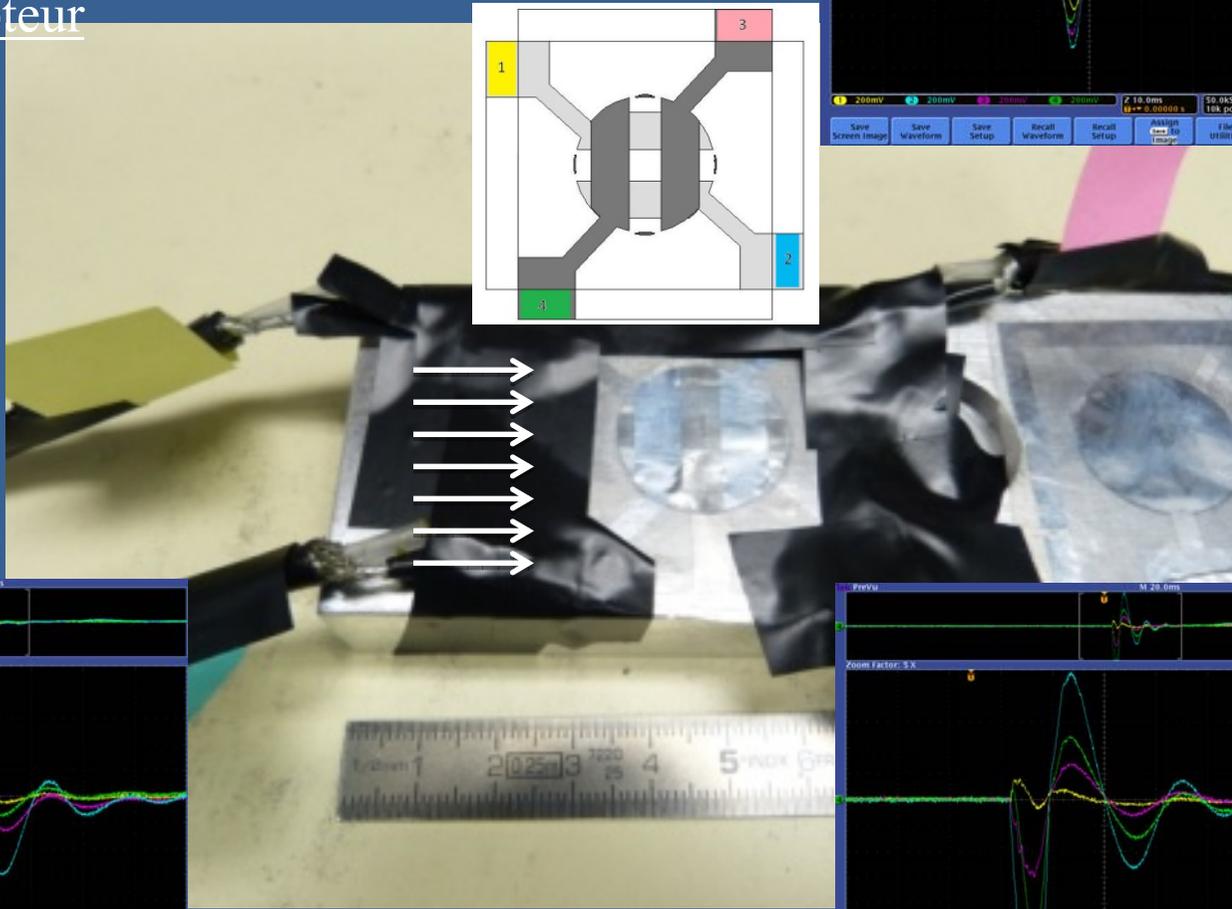


FFT du signal obtenu

Mise en évidence d'une :
- relation entre la vitesse de l'écoulement et l'amplitude du signal,
- détection de fréquences caractéristiques à partir de 800Hz

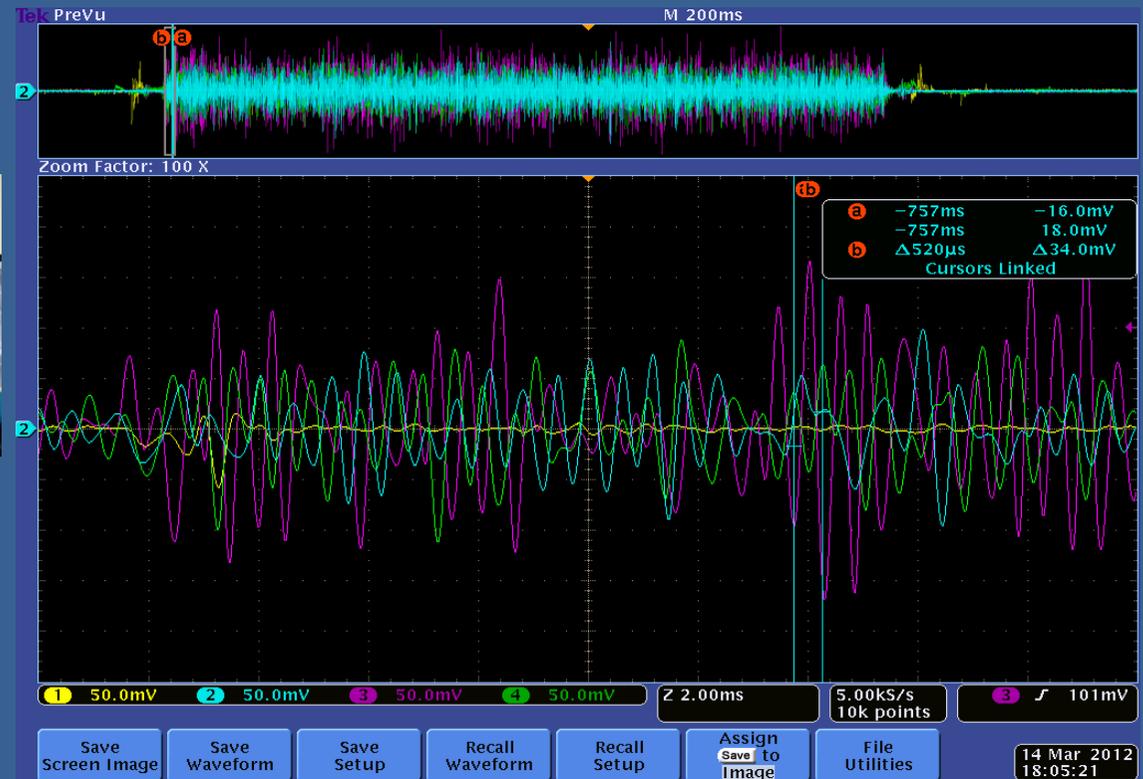
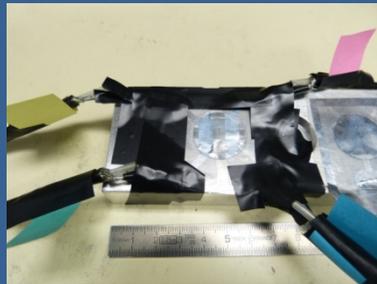
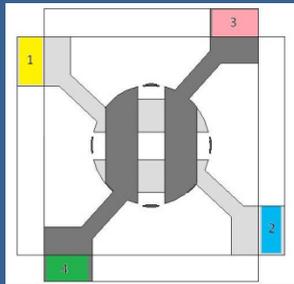


- Action sur la métallisation :
- Sectorisation par LASER YAG en vue de l'optimisation du rapport signal/bruit, et de la sélectivité du capteur





➤ Validation dans le cadre d'une vitesse de fluide de 10 m/s



- sélectivité de la mesure : signaux vert et violet
- Fréquence caractéristique des tourbillons de Kelvin-Helmoltz
- Signal violet de plus grande amplitude et plus basse fréquence que le signal vert
- Mise en évidence de la nature et de la localisation des turbulences
- Rétroaction pour un contrôle à différentes échelles



Publications :

- [2011] Jean-François Rouchon, Amar, Boussaid, Dominique Harribey, Enrico Deri, Marianna Braza, Activation d'une voilure déformable par des câbles d'AMF répartis en surface, 20ème Congrès Français de Mécanique, Besançon, 29 août au 2 septembre 2011.
- [2011] Jean-François Rouchon, Eric duhayon, "Electroactive materials for wing structures", Workshop EMORPH EU project 16 and 17 juin 2011.
- [2012] M. Chinaud, A. Boussaid, J.F. Rouchon, et al, « large displacement SMA electro-morphing plate for wind tunnel experiments », Soumis au congrès XXIII ICTAM, International Congress on Theoretical and Applied Mechanics, 19-24 August 2012, Beijing, China.
- [2012] M. Chinaud, A. Boussaid, J. F. Rouchon, E. Duhayon, "Thermo-mechanical coupling in Nitinol. Application to an electro-morphing plate", ICEM, International Congress on Electrical Machines, Marseille, Sept. 2012.
- [2012] M. Chinaud, J. Scheller, J. F. Rouchon, E. Duhayon, Dominique Harribey, and Marianna Braza, "Hybrid electroactive wings morphing for aeronautic applications", MSM2012, Bialystok.