«Matériaux bioinspirés ou l'art de copier le vivant »

Exemple: Le Morphing électroactif bio-inspiré

par

Marianna BRAZA

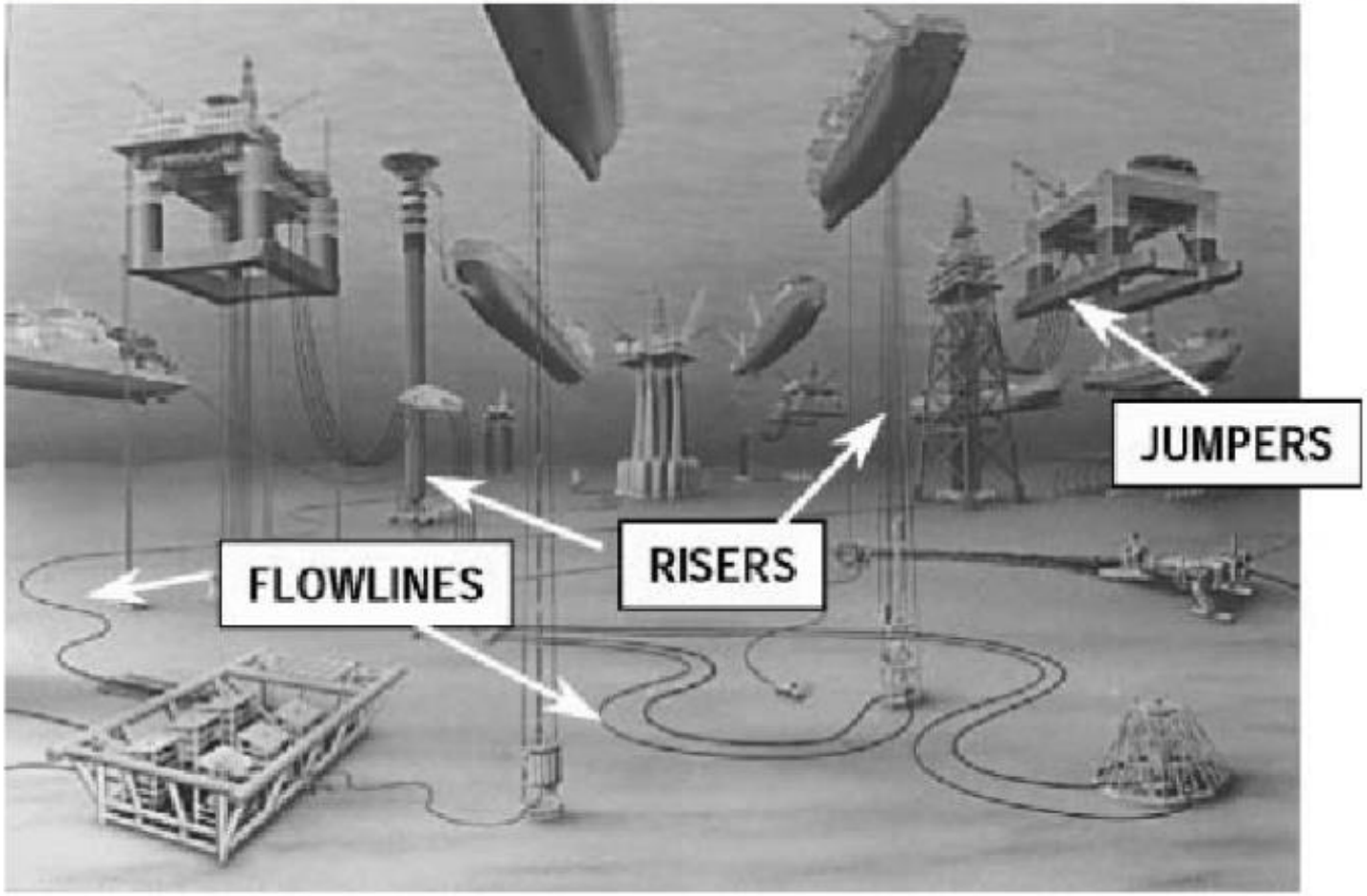
IMFT-CNRS

Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse

UMR CNRS-INPT-UPS 5502

www.imft.fr

Exemples : génie maritime



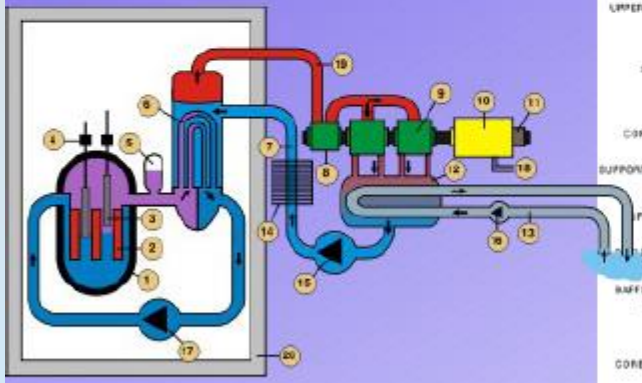
Exemples : génie civil

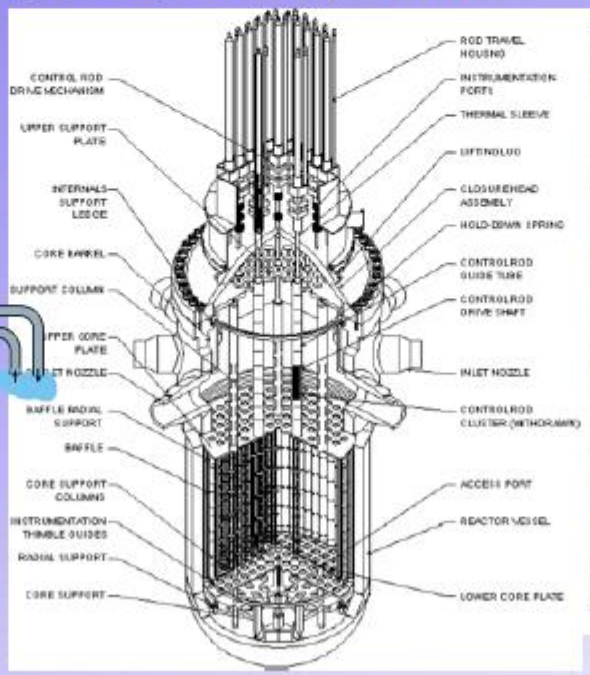
Effet statique : éffondrement du Tay Bridge en 1879 sous l'effet d'un vent perpendiculaire de force 10-11.

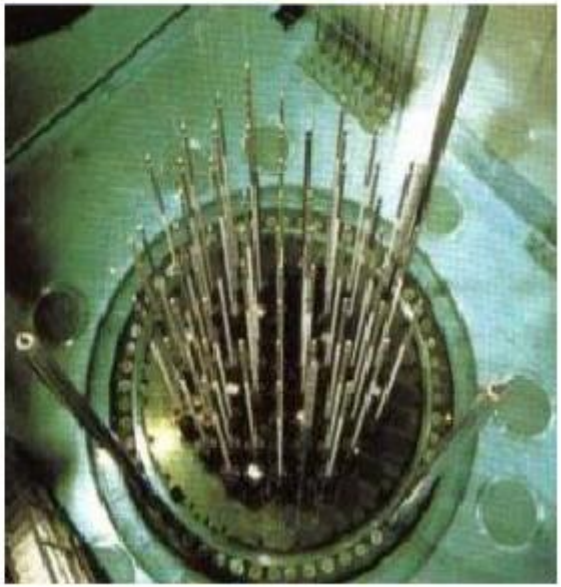
Also: Flutter on Tacoma bridge, 1940

Exemples : génie nucléaire

Dans les réacteurs à eau préssurisé, une grappe de tube (contenant des pastilles de combustibles) est utilisé pour contrôler la vitesse de la récation en chaîne et donc la puissane dégagée : tubes déformables dans un écoulement mulphasique très perturbé.

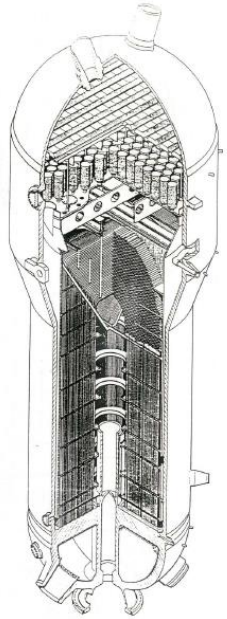




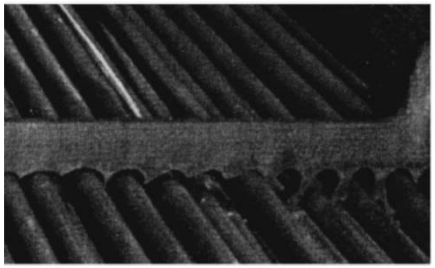


National Research Foundation programme BARESAFE
coordinated by EDF where IMFT and IMFS participate with CEA and AREVA

Fluid-Structure interaction in an array of cylinders. Cooling system - heat exchanger - nuclear reactor. IMFT collaboration with EDF, CEA and AREVA - ANR BARESAFE. Inter-tube Reynolds N° ~60 000



Steam generator : bundle of tubes



Exemple of tube break

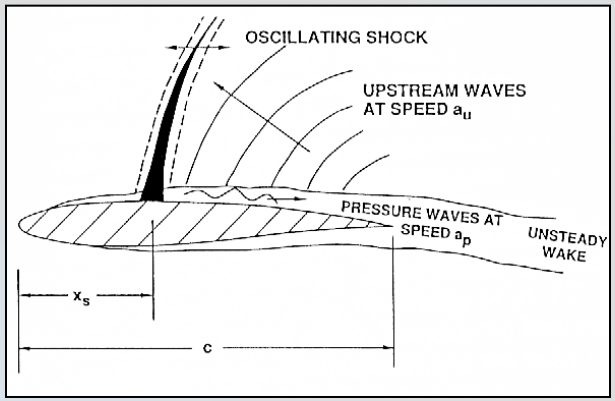
Movie : Courtesy of CEA: Commisariat d'Etudes Atomiques, Experiment 'DIVA'

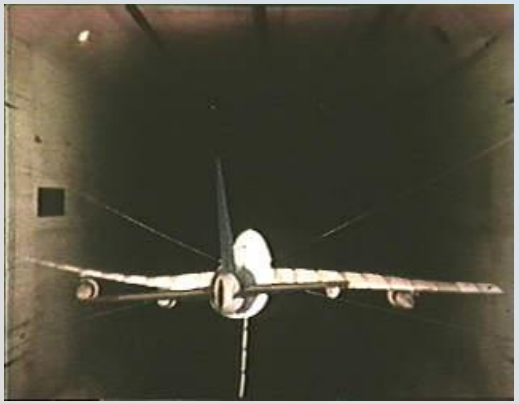
Tandem Cylinders for landing gear
IMFT participation in EU program
ATAAC*

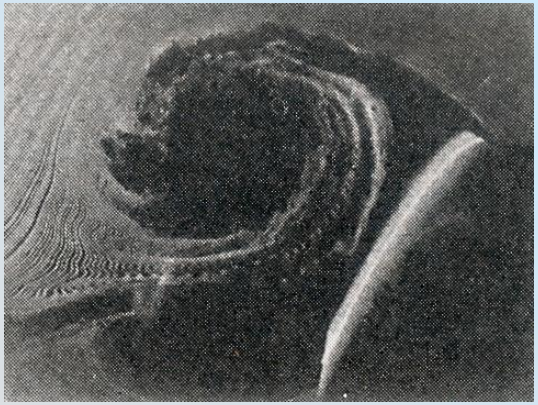
- Generic configuration of the two cylinders of a landing gear
- Movement Induced Vibrations
  - Unsteady vortex structures
  - Aerodynamic noise
- Usefulness: future strategies for <u>noise reduction</u> and <u>stability</u> of a landing gear

*Advanced Turbulence simulations for Aerodynamics Applications Challenges

Instabilities occurring in aeronautics







Buffeting

- •Drag increase
- •Vibrations

- • materials fatigue
- • Reduction of the range of operation

Flutter phenomenon

Structure destruction

- •Structure enforcement
- •Velocity reduction

Dynamic stall

Sudden lift loss

- • Manoeuvrability limitation
- •Velocity reduction (helicopter)

Utilisation de matériaux électroactifs intelligents - bioinspiration

Royal Society annual Exhibition *

1-6 Juillet 2014 : http://sse.royalsociety.org/2014/

www.smartwing.org

- IMFT - Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse - UMR 5502 and
- LAPLACE - Laboratoire de Plasma et de Conversion d'Energie - UMR 5213

en collaboration avec l'Imperial College, Londres

http://www.**cnrs**.fr/**insis**/recherche/actualites/2014/morphing.htm
http://www. aerobuzz.fr/spip.php?breve3576

* Seul projet étranger sélectionné parmi les 22 acceptés
4 reportages FR3 septembre 2014 en relation avec
les activités en aéronautique - Airbus

Le Morphing Electroactif:
Fruit de collaboration
au sein de 3 projets de la Fondation STAE-RTRA
„Sciences et Technologies pour l'Aéronautique et l'Espace"
Réseau Thématique de Recherche Avancée

Et

d'un projet collaboratif avec Airbus- ETCT

"Emerging Technologies and Concepts"

Morphing d'un volet de l'A320

En échelle réduite et <u>en échelle 1</u> (2014-2016)

- PLATFORM **SMARTWING : 2012-2017** **www.smartwing.org**
- PROJECTS: **EMMAV – Electroactive Morphing for Micro-Airvehicles : 1/01/2010-31/10/2012**

DYNAMORPH - Dynamic Morphing for Airvehicles : 1/11/12-30/12/15

Plate-forme et projets coordonnés par l'IMFT - contribution de 5 Instituts:

La bioinspiration à l'aide du Morphing

Retombées attendues:

•**OPTIMISATION DE FORME DES AERONEFS (PALES, AILERONS)**

ET DE LA MANOEUVRABILITE DES DRONES

A L'AIDE DE NOUVEAUX CONCEPTS DE MORPHING ET DE

LEUR <u>HYBRIDATION</u>

vitesses réelles des applications: aéronautique, énergie, hydrodynamique, propulsion

<u>Bioinspiration</u> <u>et non biomimétique*</u>

•*matériaux de type* :

•**alliages à mémoire de forme**

•**piezoactuateurs**

*Oiseaux de grande envergure

MORPHING ELECTROACTIF EN REGIMES DYNAMIQUES

Optimisation de forme pour augmenter l'efficacité aérodynamique, réduire des instabilités nuisibles et le bruit

- **Optimisation de l'efficacité : augmenter le rapport (Portance/Traînée)**
- **Déformation <u>en temps réel</u>**
- **<u>Faible coût énergétique</u>: recupération et redistribution de l'énergie vibratoire environnante par fonctionnement capteur/actuateur**
- **Remplacement de systèmes hydrauliques par systèmes electriques**
- **Contrôle de la répartition des charges – manœuvrabilité - ailerons et gouvernes**
- **Atténuation d'instabilités et de structures tourbillonnaires due à la forme de la surface solide (décollements) et du bruit en aval, dû aux tourbillons de sillage**

ELECTROACTVE MORPHING FOR SMART WING DESIGN

EXPERIENCES BIEN SITUEES AU SEIN DE L'ETAT DE L'ART:

http://www.journal-aviation.com/actualites/ : La NASA teste un système de volets flexibles

Adaptive Compliant Trailing Edge - ACTE

Surface déformable sans E-morphing.
Réduction du bruit aérodynamique

NASA

PLATE-FORME SMARTWING

Partenaires

•ISAE **J.M. Moschetta**

•LAPLACE **J.F. Rouchon**

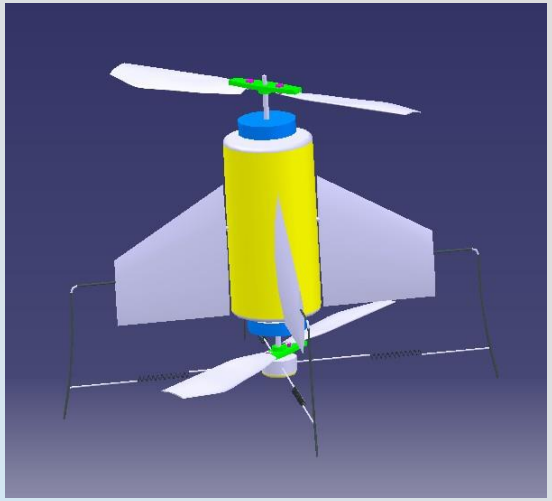
•ONERA **C. Doll**

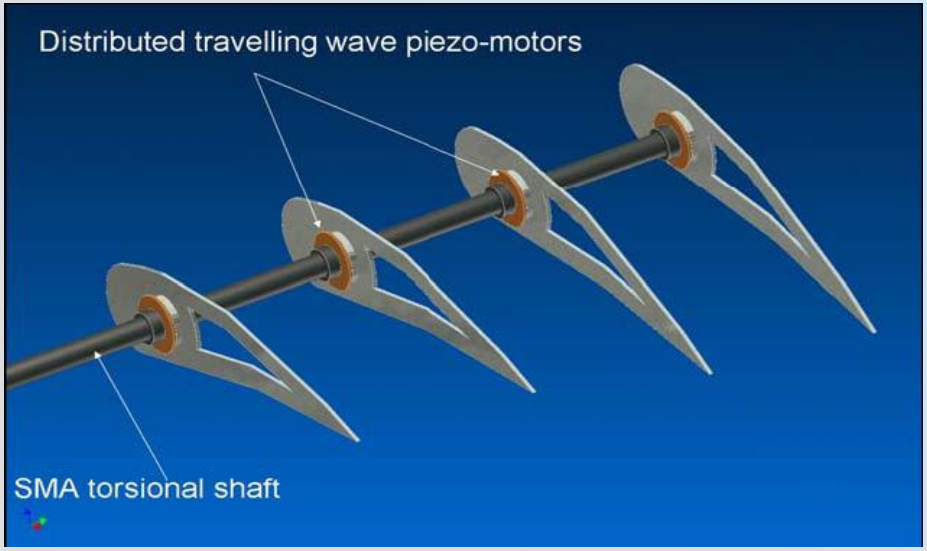
•IMT **M. Fournié**

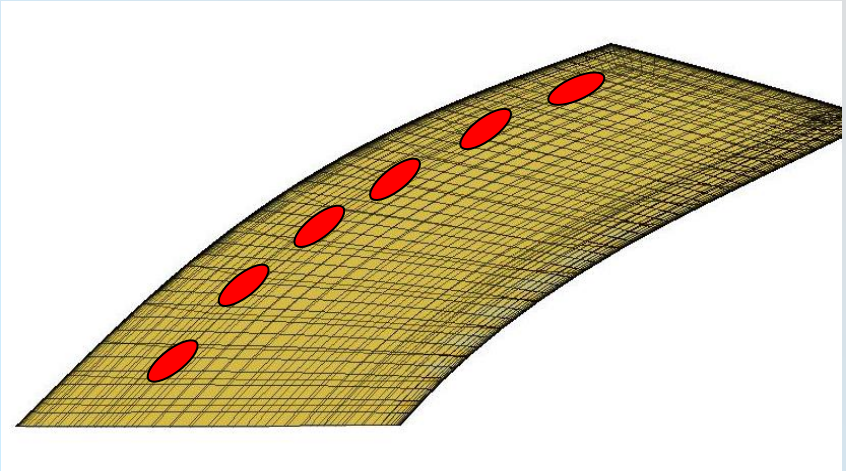
• IMFT - Coordonnateur

www.smartwing.org

PREMIERE CARACTERISATION DE CONCEPTS D'ACTUATION INNOVANTS – MORPHING ELECTROACTIF







- SMA – Shape Memory Alloys
- Distributed small piezo-actuators, No-MEMS
- Electroactive Polymers

  - Low actuation cost thanks to:
  Capacity of vibratory energy recuperation and restitution
  - Modification of the behavior laws of the E-material – solid structure

❑ ASPECTS NOVATEURS

•**Système d'ailerons de bord de fuite complexes** – morphing par PVDF

fonctionnement des plumes électroactives

•Augmentation de la portance en régime de faible vitesse

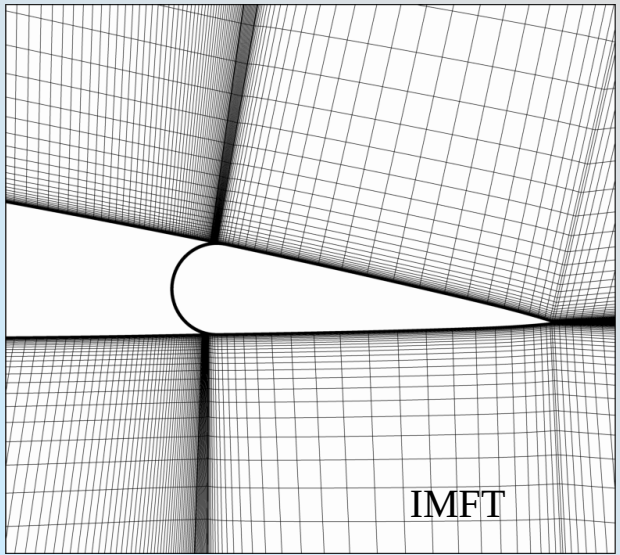
•**couplage fort fluide - structure :**

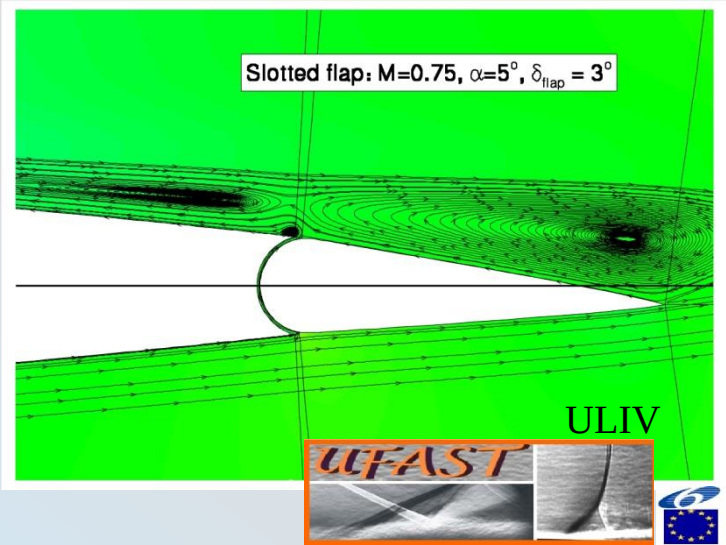
•**activations rapides de petite amplitude à des activations lentes de forte amplitude : verrou physique à l'accession à des *gains de performances***

Un vautour moine, classé par l'UICN sur la liste rouge des espèces menacées. MARTIN BUREAU/AFP

J. Le Monde

Ailerons, volets, gouvernes, rotors





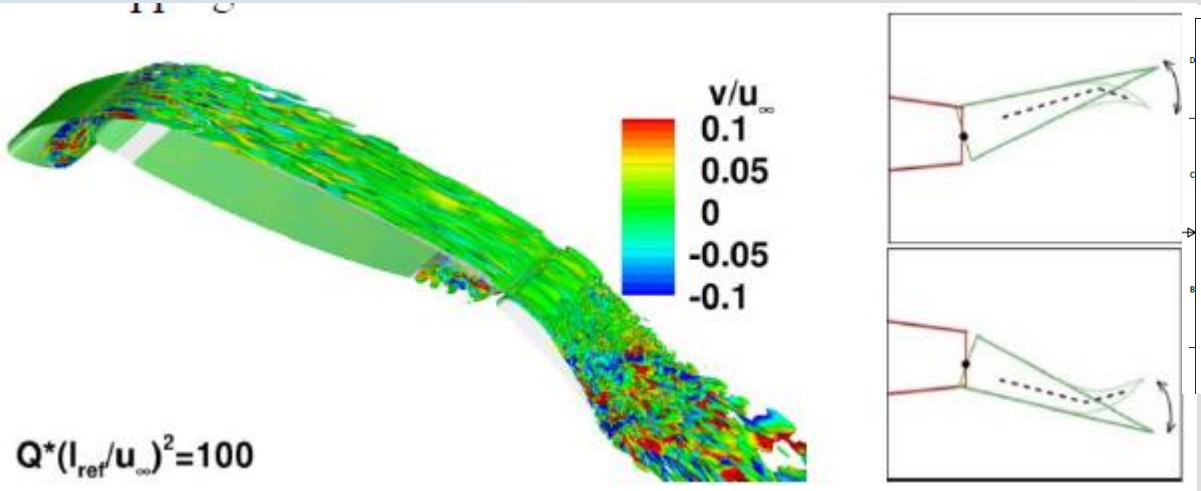
<u>Morphing</u>: Activation <u>distribuée</u> sous la ‘peau’ de la surface portante

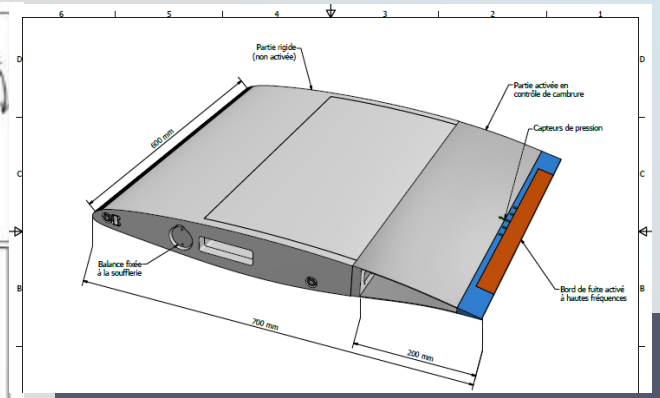
Cette étude: Trois échelles de temps

- échelle lente (ordre de quelques Hz) : Shape-Memory Alloys
- échelle moyenne (ordre de 100 Hz) : piezo-actuateurs
- échelle rapide et biomimétique de plumes actives (ordre de 200 à 500 Hz ou +)

Tailles des structures allant du drone à l’aileron du bord de fuite et vers l’aile déformable

Optimisation du ratio portance/traînée de l’ordre de 6% et réduction du bruit aérodynamique par « vortex breakdown » des tourbillons du bord de fuite de l’ordre de 7%

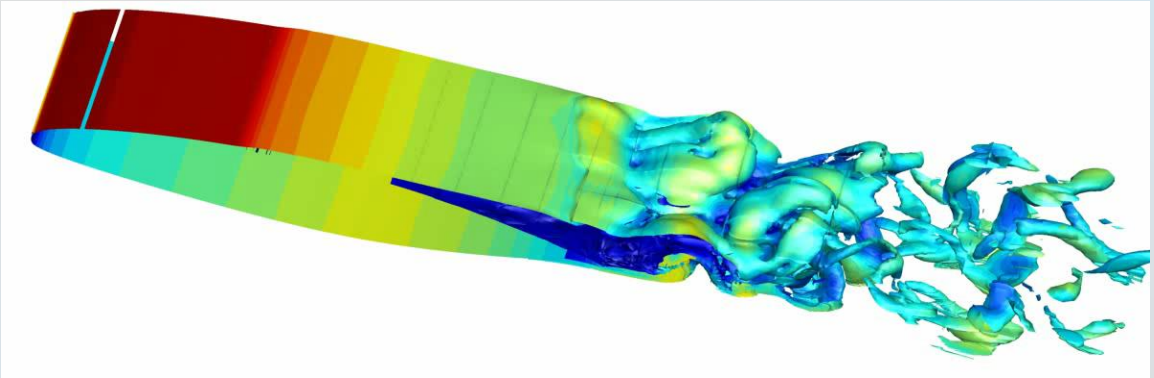




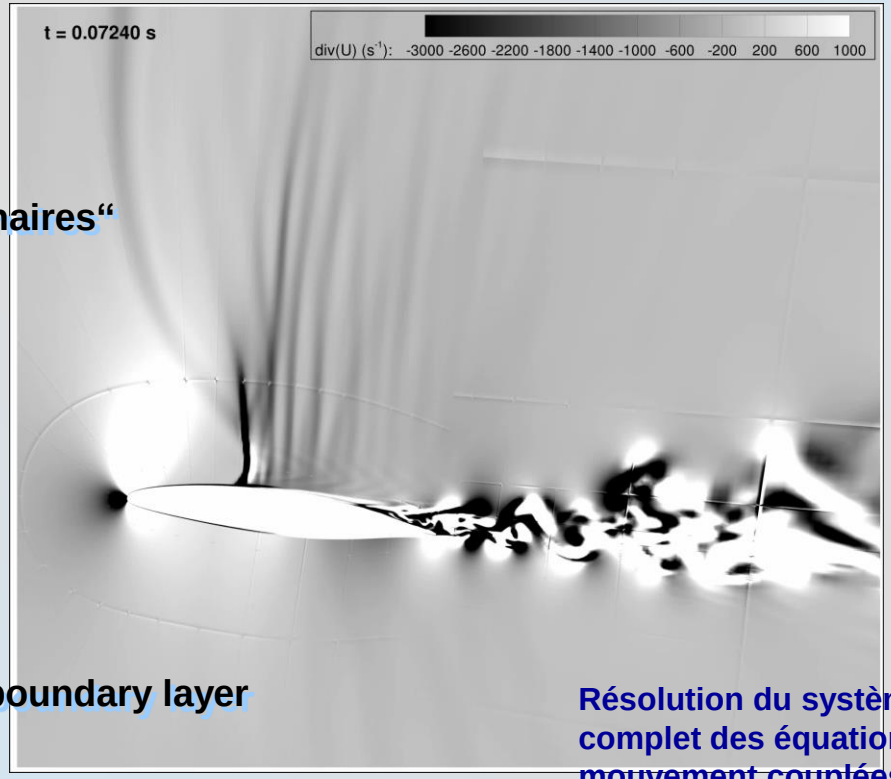
High-Lift « LEISA »-Airbus wing+flap
ATAAC European program - UMAN, ONERA
Reynolds number based on middle chord: 3,3 Million

OBJECTIVES:

An illustration of the dynamics and instabilities around wings



F. Grossi, D. Szubert, I. Asproulias
IMFT



Nouvelle génération d'ailes d'avion dites „laminaires"
L'aile d'avion „V2C" - Dassault Aviation
Nombre de Mach=0.7, a=7, Re=3 Million
Echelles de vitesse en vol de croisière

Programme européen
"Transition location effects on schock-wave boundary layer interaction"

Résolution du système complet des équations du mouvement couplées avec la

TRAVELLING WAVES GENERATION BY E-MORPHING FOR DRAG REDUCTION and FEATHERS MOTION CREATING VORTEX BREAKDOWN OF TRAILING-EDGE INSTABILITIES (noise reduction) and ENHANCE CIRCULATION (increase of lift)

Hybridation among 3 classes of Electroactive Actuators Three time-scales

Fig. 1 Secondary instability as large *spanwise undulation* of the von Kármán vortex rows along the span. Image from numerical simulation around the Dassault's V2C wing by IMFT at Reynolds number 3 Million - TFAST European program - FP7- 2012-2015.

Figure 2. Left: Manta-Ray's flexible wings and trailing-edge structure operation to optimise *spanwise undulation*. Middle: Morphing of the "Royal Society Exhibit wing" hybridating Nitinol-Titanium (NiTi) Shape Memory Alloys (black circles) and piezo-ceramic actuator sheets PZT (blue circles). In the location of the orange circle implementation of Electroactive Polymers - PVDF (Polyvinylidene fluoride) is previewd to enhance active 'feathers' morphing. This kind of morphing device is presented in lower figure.

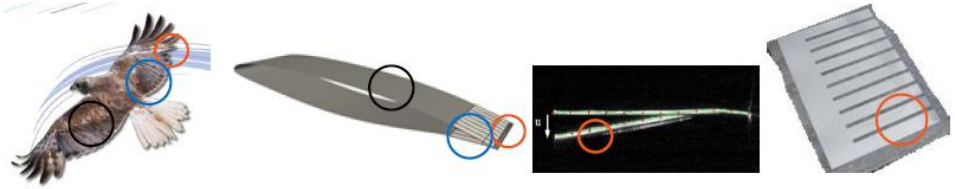
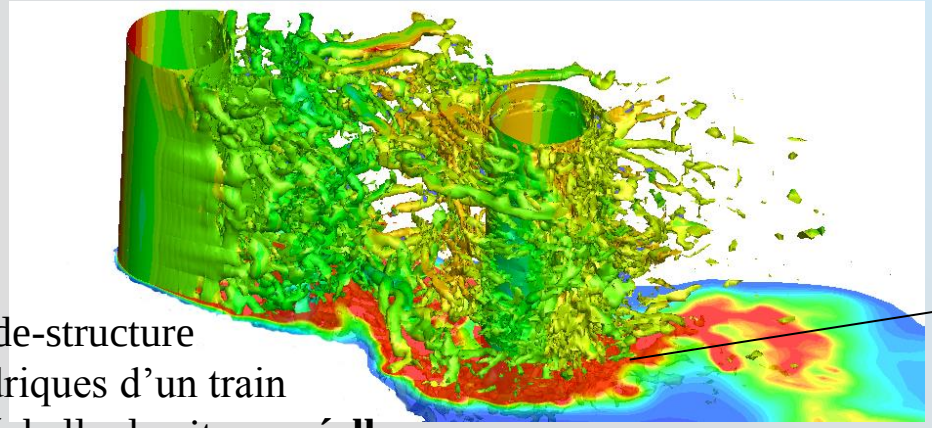
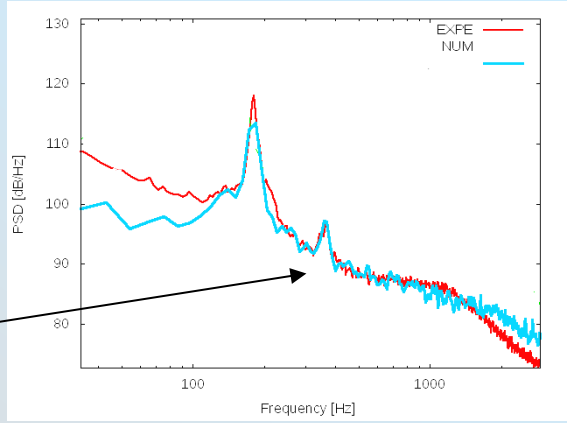


Fig. 3 Left: Bird's wings, ailerons and trailing-edge feathers structure. Middle: schematic representation of the hybrid concept associating SMA for high deformations (black circles) in main wing and aileron, Piezo-actuators (blue circles) for higher frequency vibration and low-amplitude deformations of the aileron and electroactive polymers PVDF (orange circles) to imitate bird's feathers operation at the trailing-edge. On right: illustration and function of the PVDF morphing.

Target:
Lift/Drag gain order of 6%
Reduction of emissions
Noise reduction: order of 7%
Low energy cost of E-MORPHING

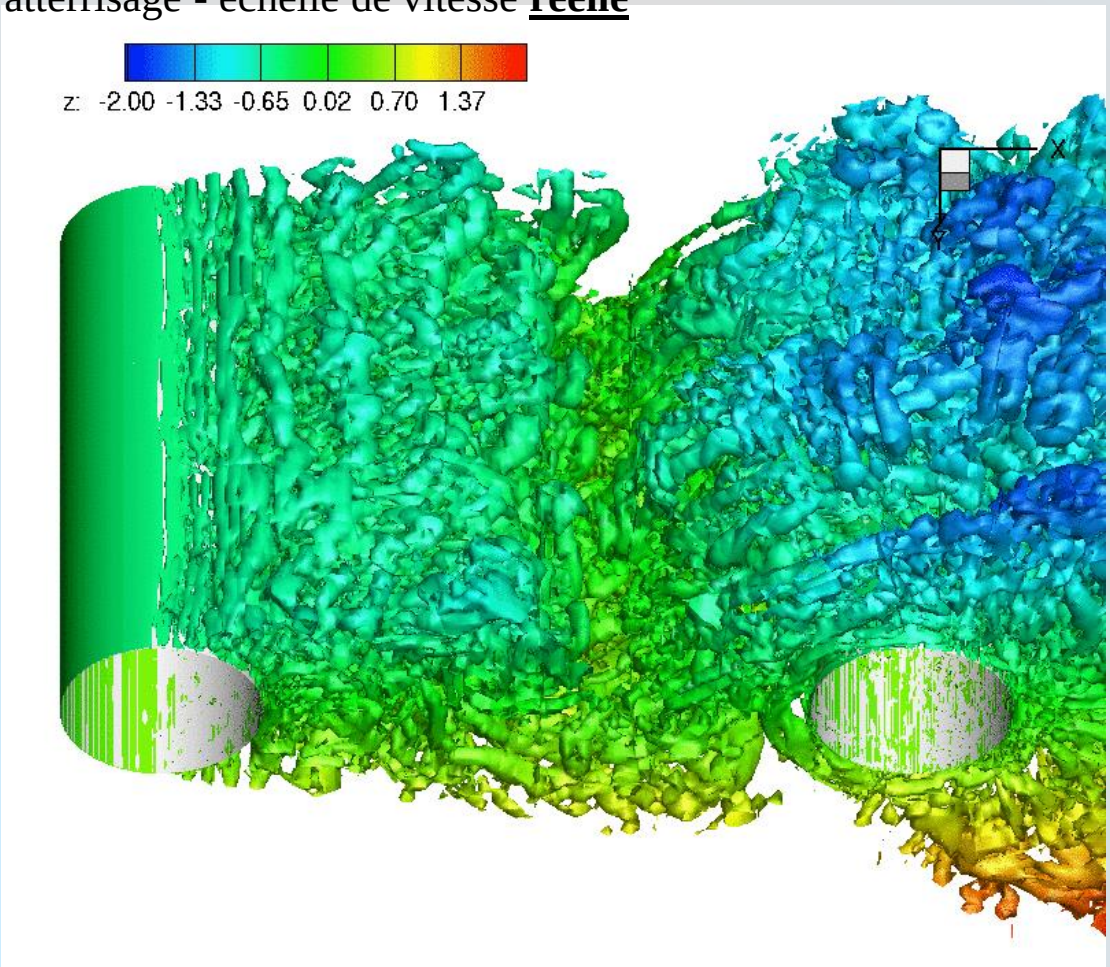
European Program

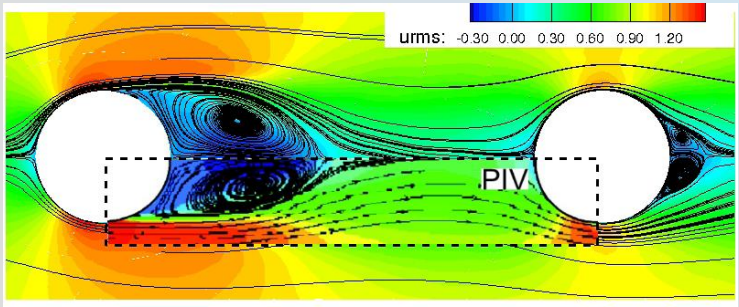




Interaction fluide-structure
Supports cylindriques d'un train d'atterrisage - échelle de vitesse **réelle**

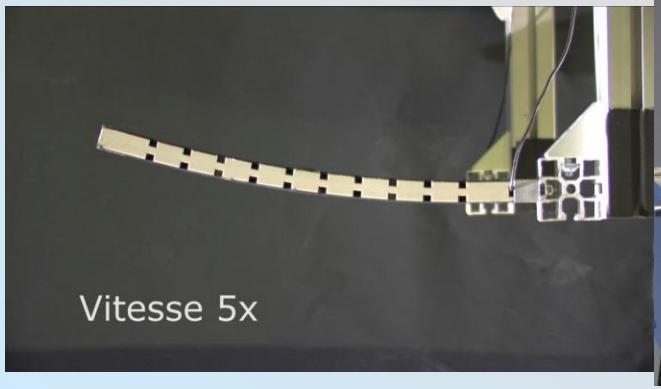
Comparaison simulations (IMFT) et expériences (NASA - Langley research center)

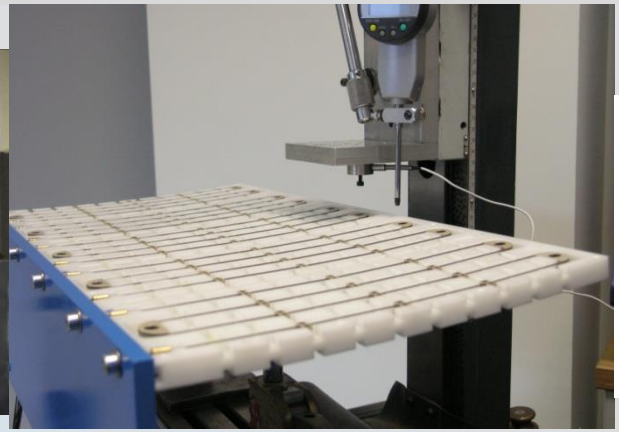


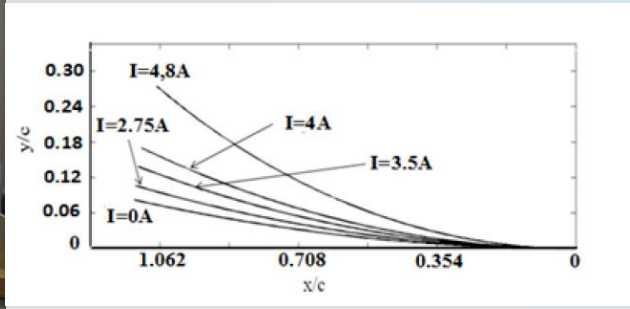


IMFT simulations numériques de grande échelle - plusieurs millions de points - centres de calcul nationaux CINES et IDRIS

ACTIVATION D'UNE VOILURE DEFORMABLE PAR DES CABLES D'AMF REPARTIS EN SURFACE ET SIMULATION NUMERIQUE PAR QPPROCHE DE MODELISQTION HYBRIDE DE LA TURBULENCE



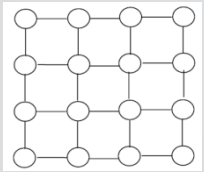




Principe de fonctionnement des AMF

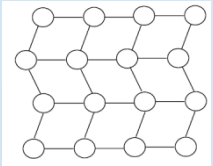
➢ Principe de déformation de la plaque

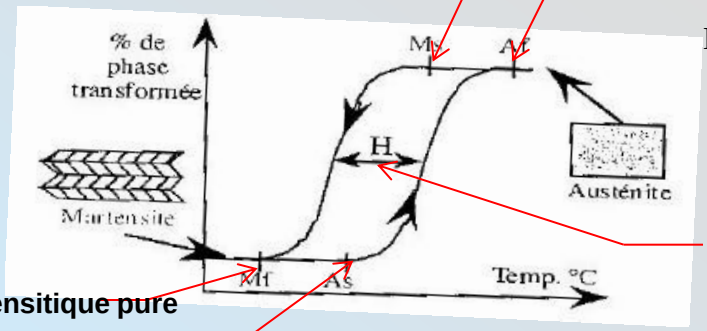
T_0 : Température ambiante



Propriétés thermomécaniques des AMF

Après transformation de phase





Début de la martensitique

Austénitique pure

E=70 GPa

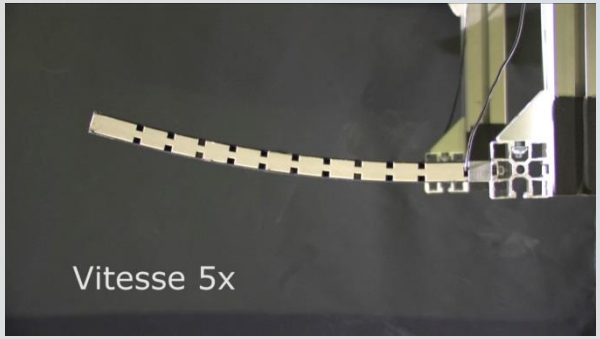
Hystérésis

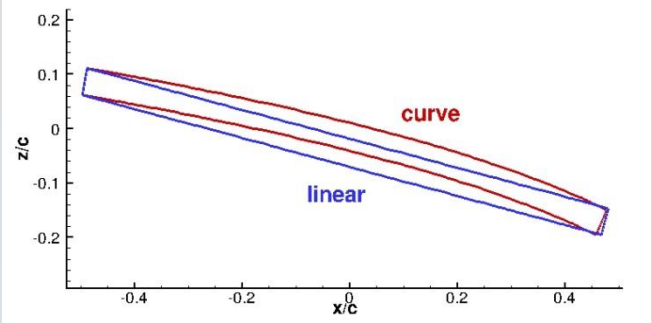
Martensitique pure

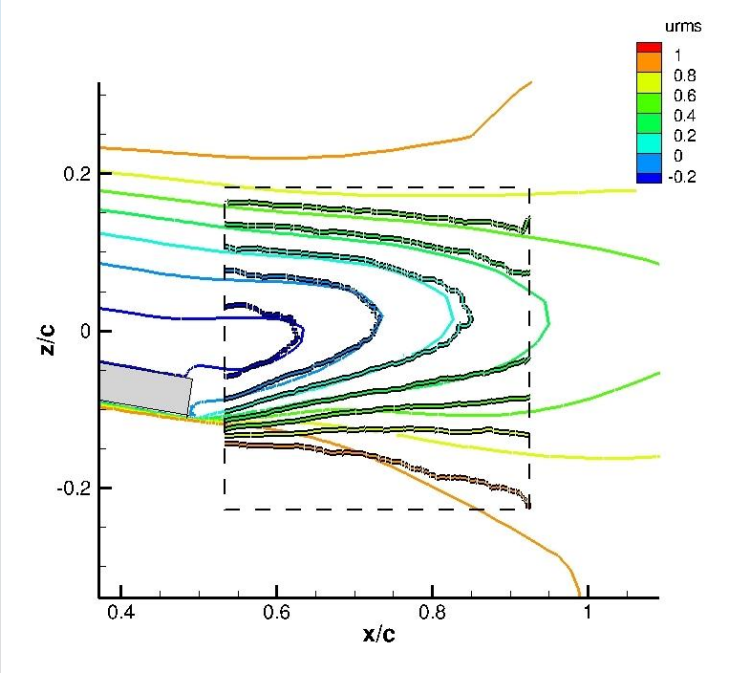
Début de l'Austénitique

E=40 GPa

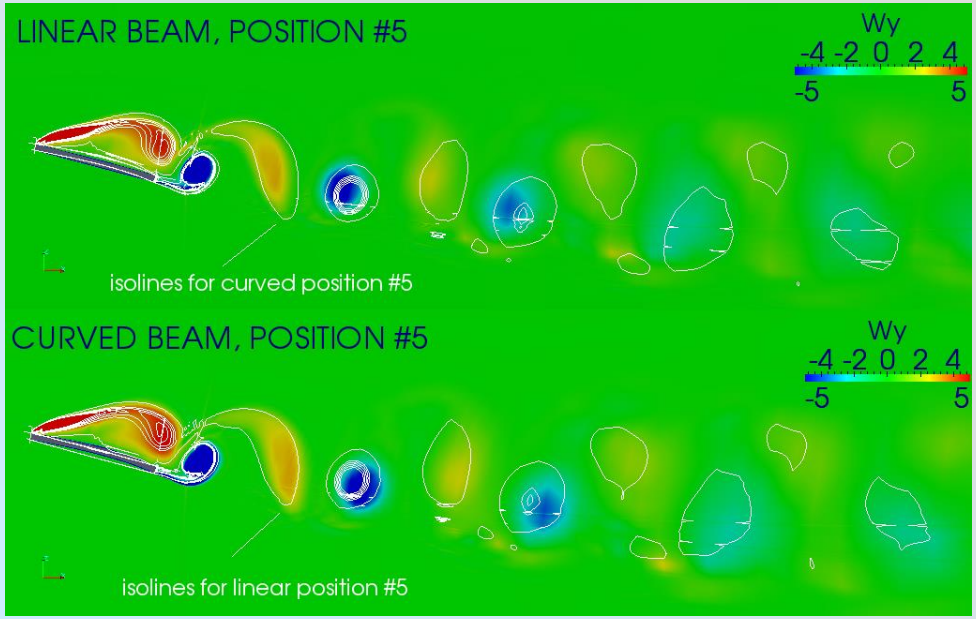
- Une raideur contrôlable et contrôlante
- Un amortissement variable en fonction de la phase

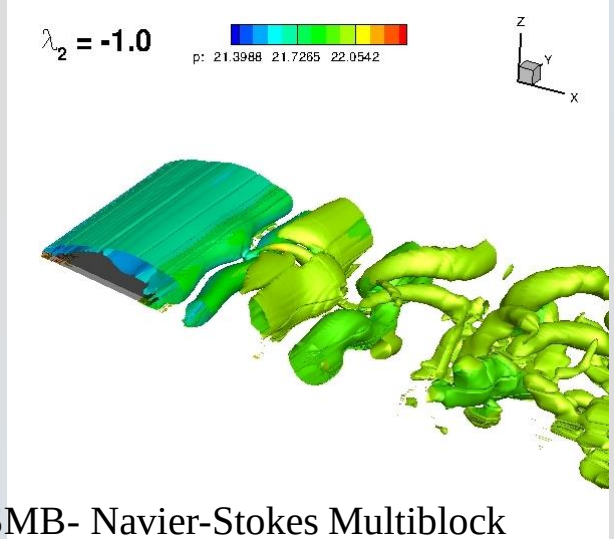




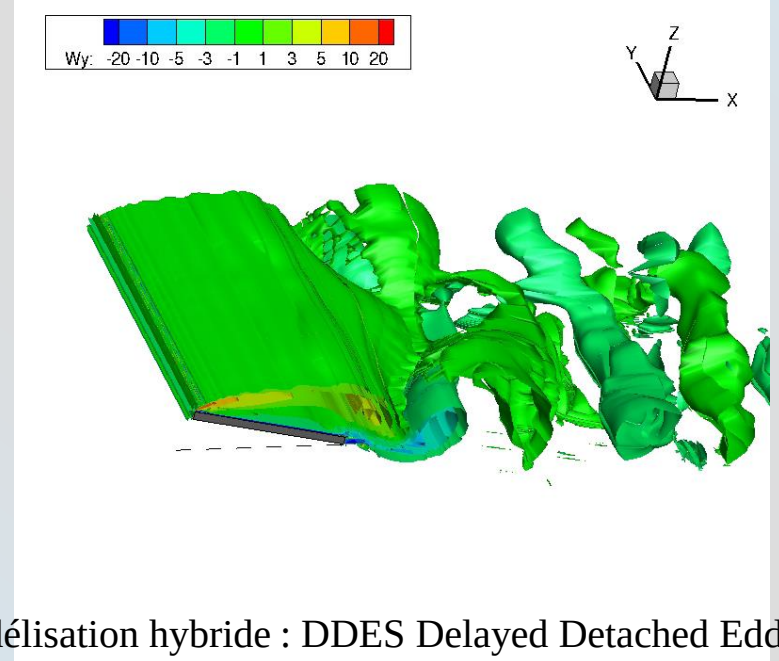


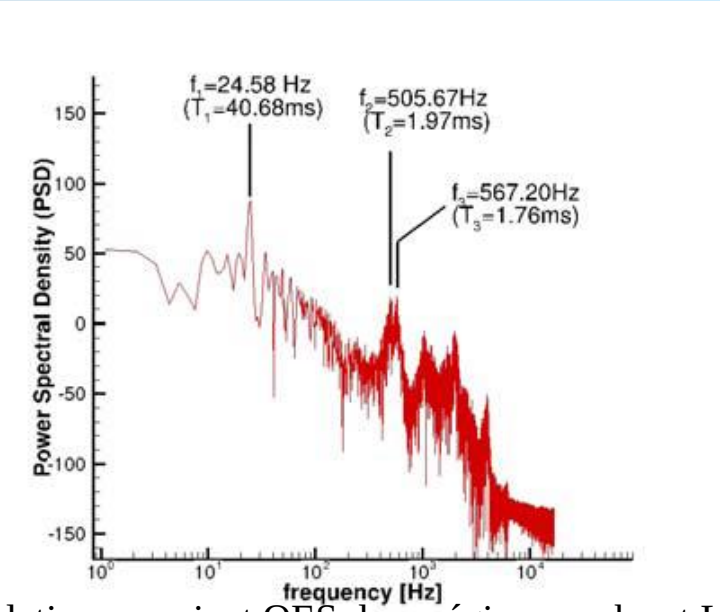
Comparaison Simulation - expérience



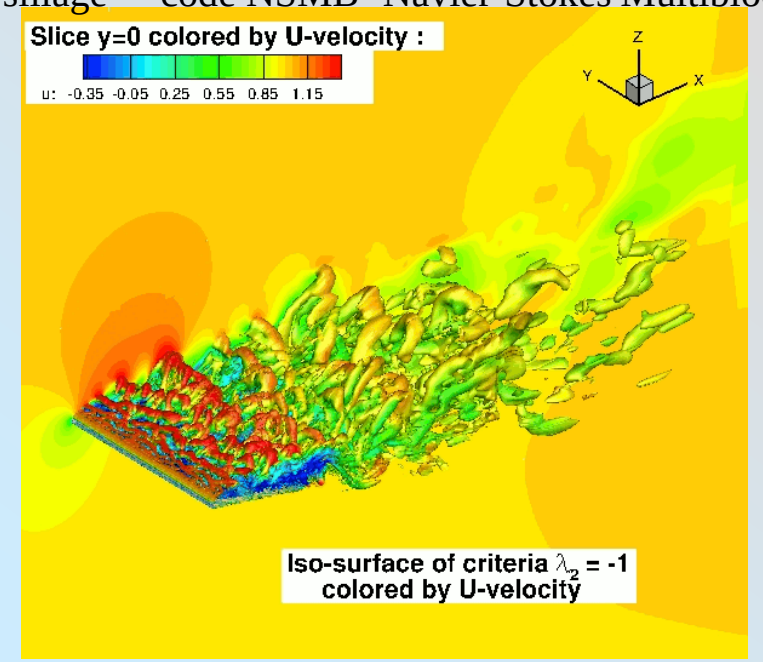


Modélisation OES-Organised Eddy Simulation au sein du code NSMB- Navier-Stokes Multiblock

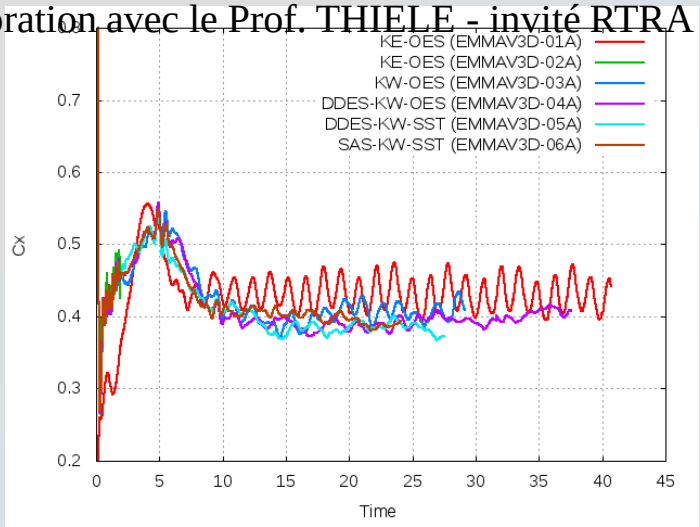




Modélisation hybride : DDES Delayed Detached Eddy Simulation associant OES dans région proche et LES dans sillage - code NSMB- Navier-Stokes Multiblock. Nombre de Re=200 000



Collaboration avec le Prof. THIELE - invité RTRA



T. Deloze

Comparaison des cas statiques intermédiaires – impact sur la structure de la zone cisaillée et la région de l'instabilité de von Karman

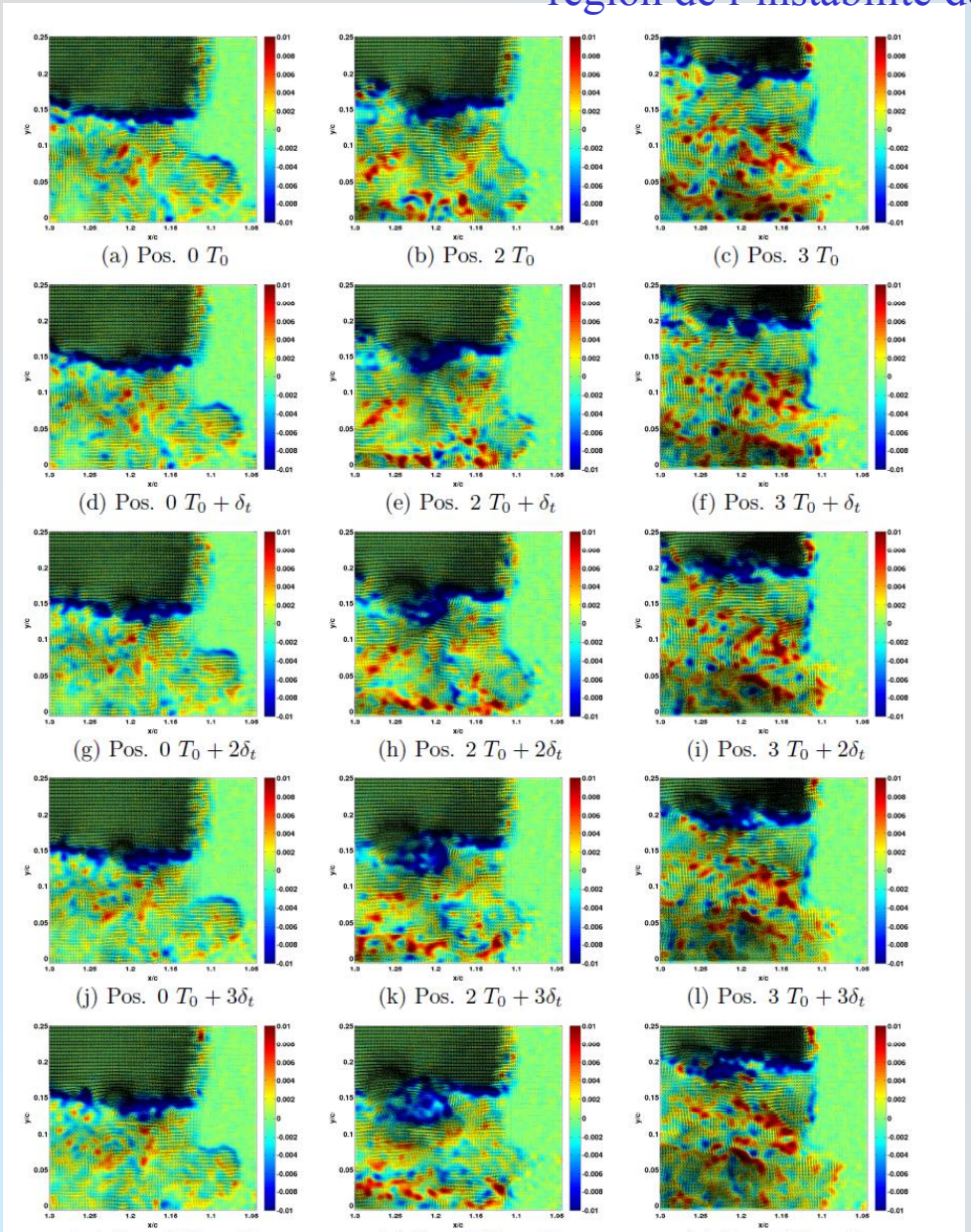
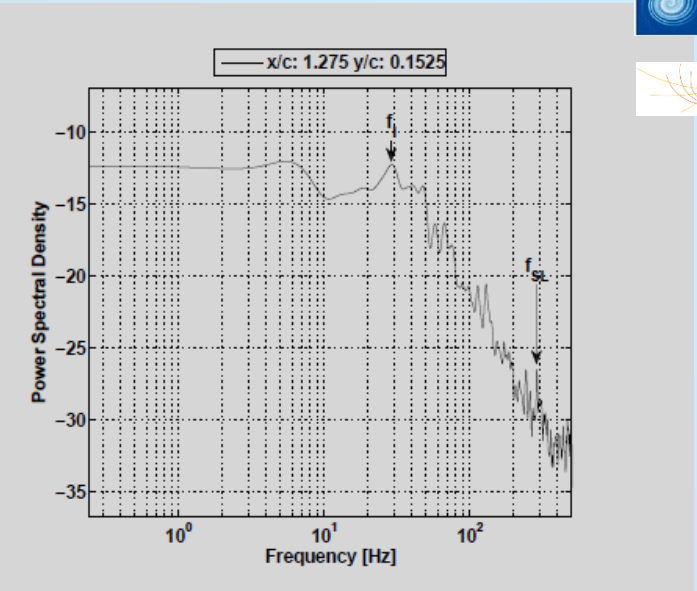
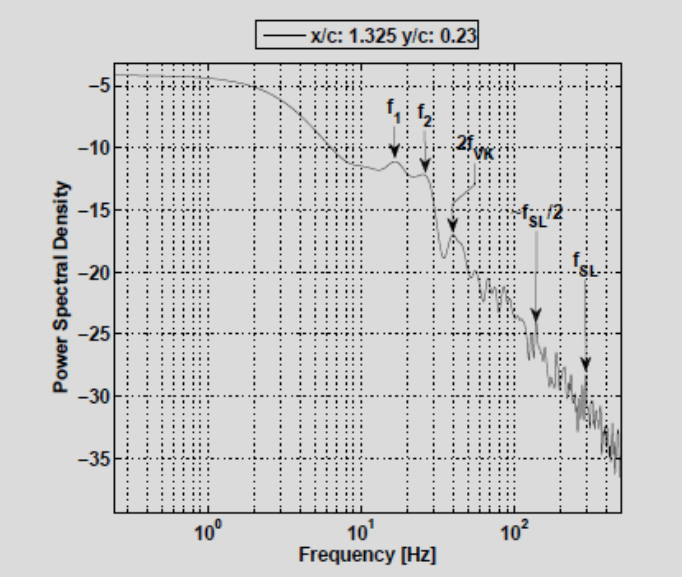


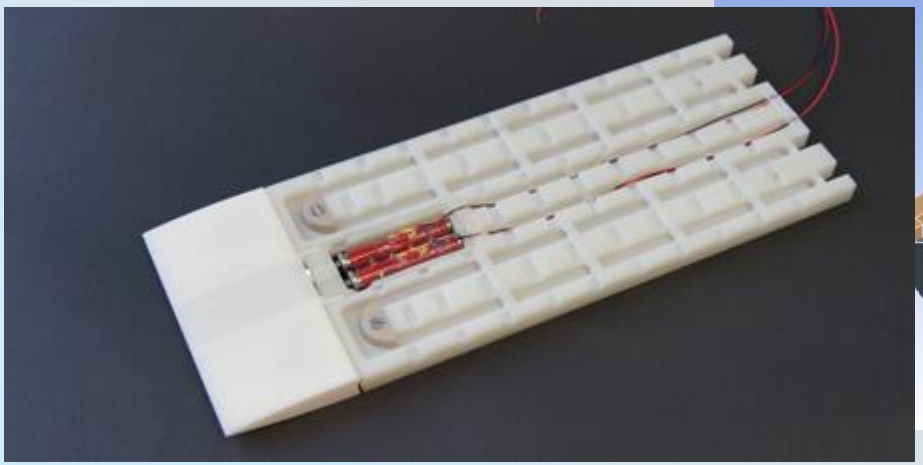
Figure 14: Time-dependent evolution of the shear layer

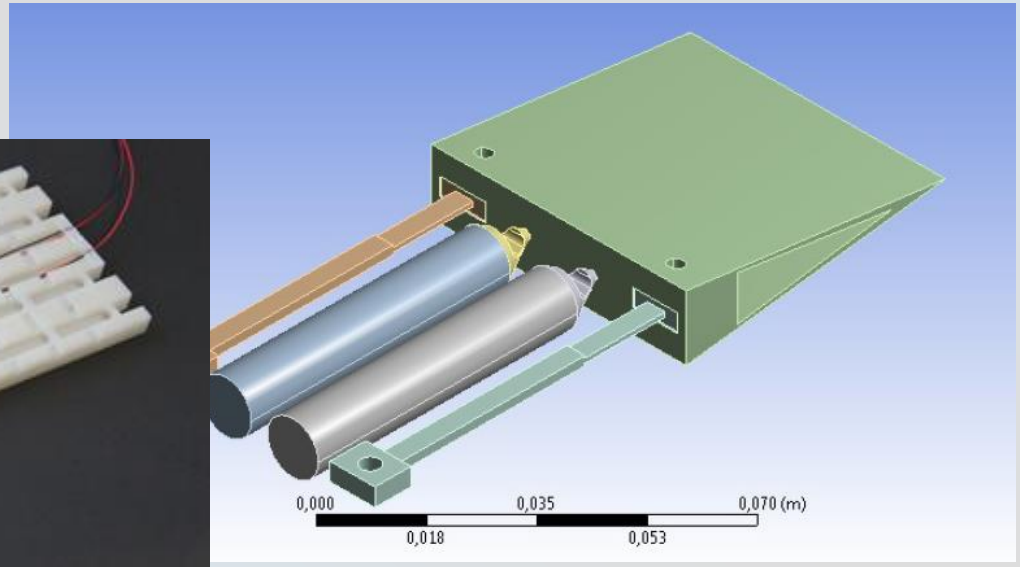




PIEZOACTUATEURS PZT – MORPHING DU BORD DE FUITE DE VOLET/ AILERON

J. Scheller, PhD LAPLACE - IMFT





Morphing du bord de fuite d'un aileron à l'aide de matériaux piézoélectriques PZT

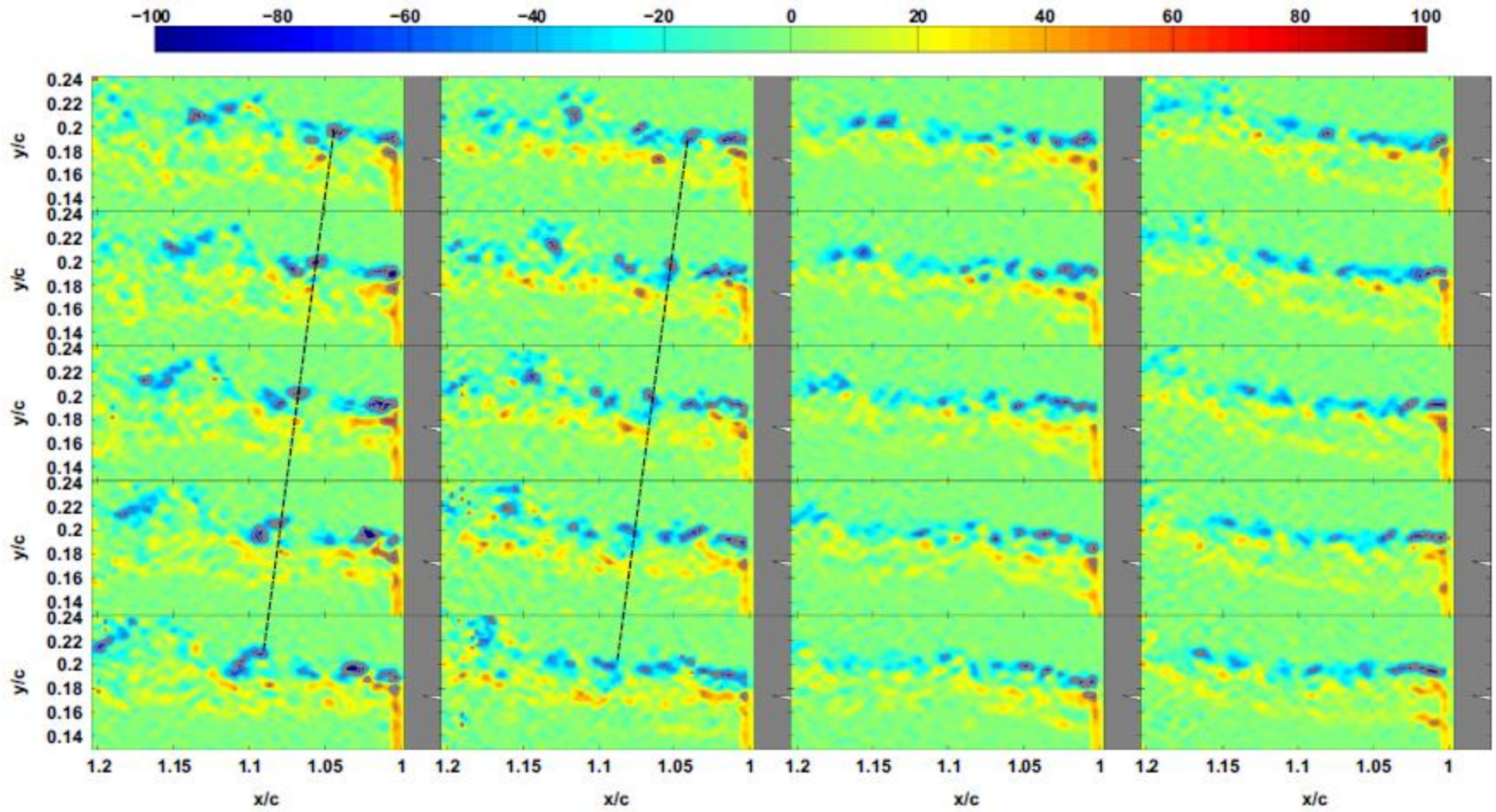


Fig. 6. Sequence of vortex motion ($\Delta t = 0.001$) for the unactuated case and the actuation frequencies 30 Hz, 60 Hz and 90 Hz (from *left* to *right*).

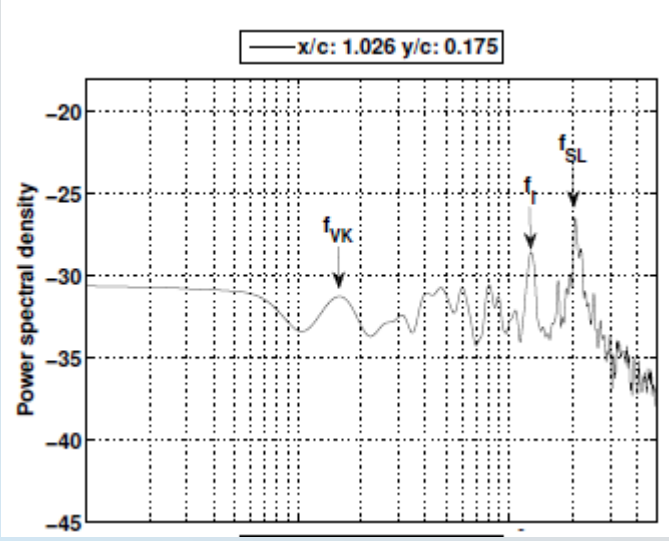
Effet du morphing : mesures de vitesse par Imagerie de particules - PIV rapide

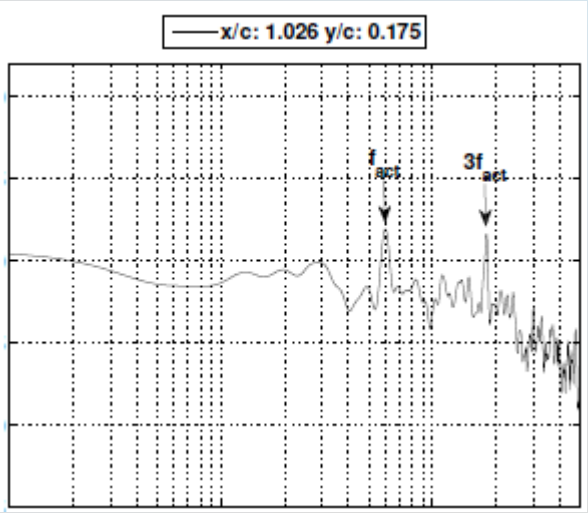
J. Scheller, J.F. Rouchon, E. Duhayon, S. Cazin, M. Marchal, M. Braza - J. Fluids and Structures 2015, Volume 53

BY PIEZO-ACTUATION:

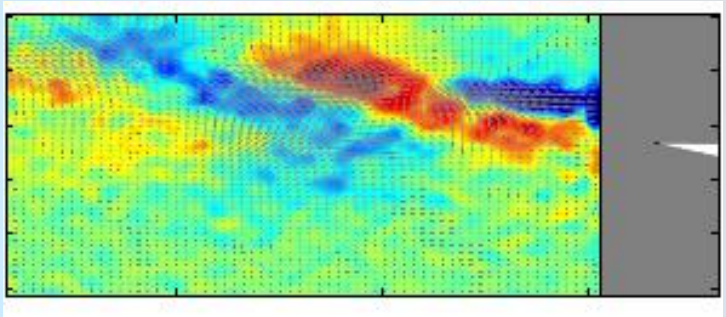
BREAK DOWN OF KELVIN-HELMHOLTZ VORTICES

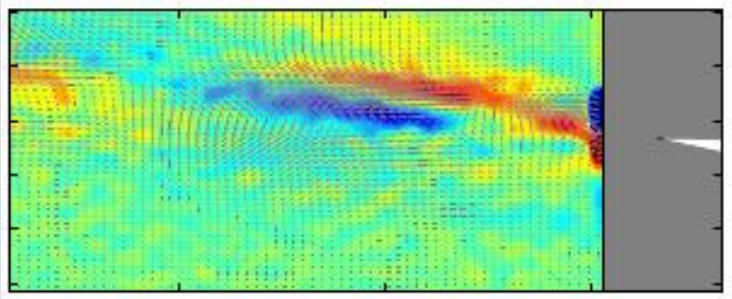
AND SPECTRAL ENERGY REDUCTION





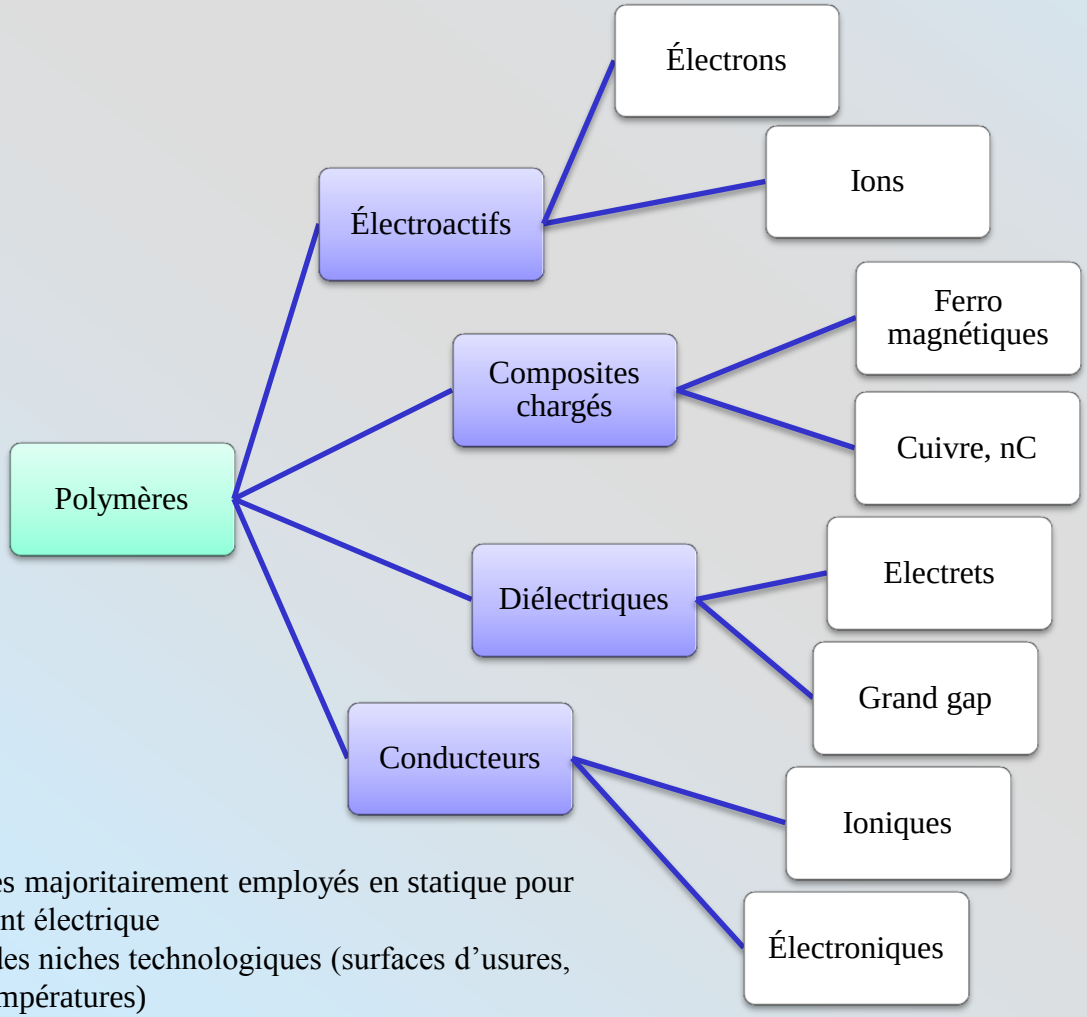
J. Scheller 2014
J. Fluids & Struct.





2nd POD mode

Classification des polymères



Classes de matériaux pouvant conduire à des procédés de conversion électromécanique de l'énergie,
Activation via E ou H
Propriétés modulables via C%

Matériaux aux propriétés très variées pouvant constituer une partie du système « tout polymère »,
Isolants, bobinages

Polymères majoritairement employés en statique pour l'isolement électrique
ou dans des niches technologiques (surfaces d'usures, hautes températures)

Elargissement possible de leur emploi dans des modes plus dynamiques

Quelques réalisations avec des technologies polymères

IPMC

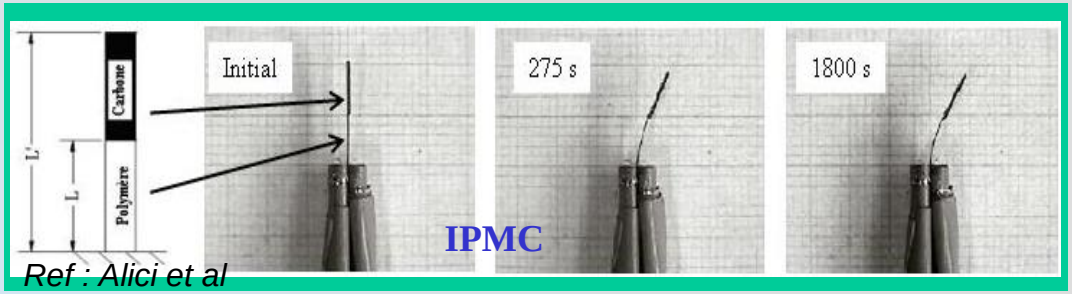
Ref : NASA Langley Research Center

polymères ioniques

- Temps de réaction long
- Nécessite un solvant
- Non réversible

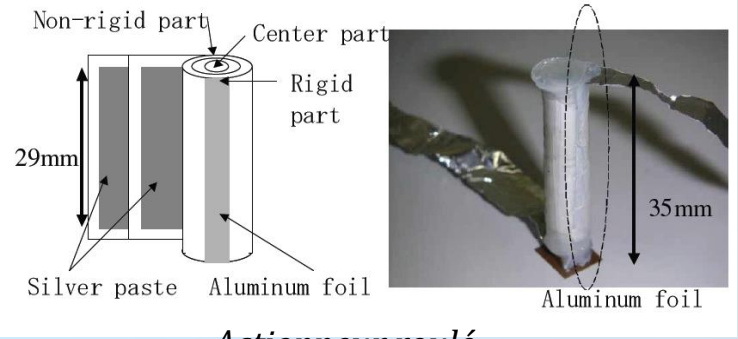
Gel polymère

Ref : Sommer-Larsen et al

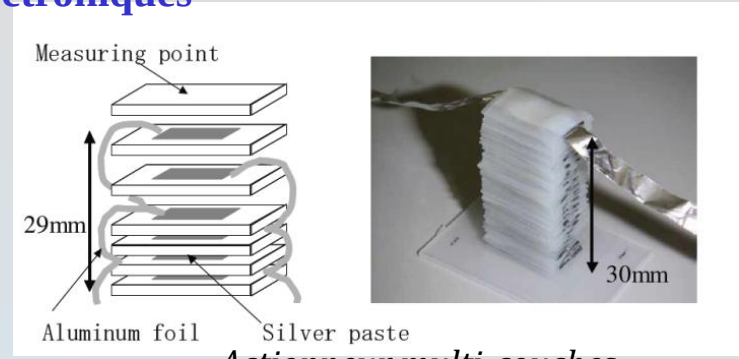


Ref : Alici et al

Polymères électroniques



Actionneur roulé



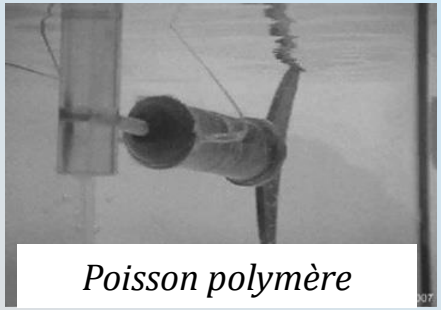
Actionneur multi-couches

Quelques réalisations avec des technologies polymères

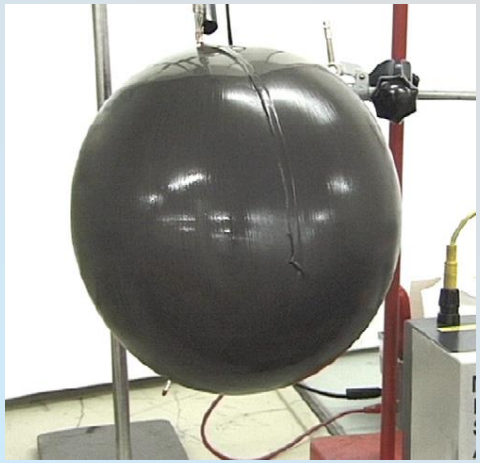
Mobile 6 pieds

Polymères électroniques

- Temps de réaction court (effet piézoélectrique)
- Pas de solvant
- Fonction capteur

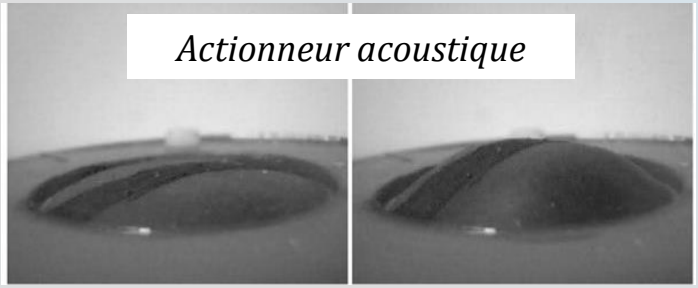


Poisson polymère



Polymères diélectriques

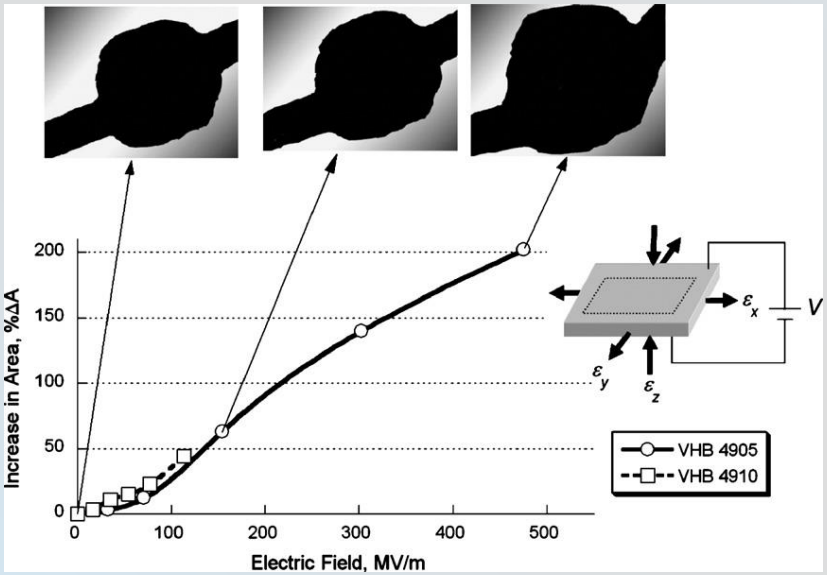
- Temps de réaction court (effet électrostatique)
- Pas de solvant
- Champ électrique appliqué élevé (100MV/m)
- Non réversible



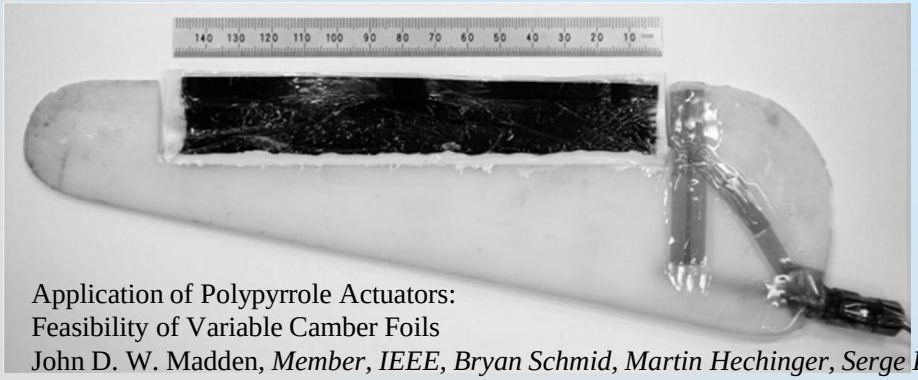
Actionneur acoustique

Electromechanical coupling in dielectric elastomer actuators
Michael Wissler a,*b*,∗, *Edoardo Mazzab*,*c* Sensors and Actuators A 138 (2007) 384–393

Perspectives des technologies polymères



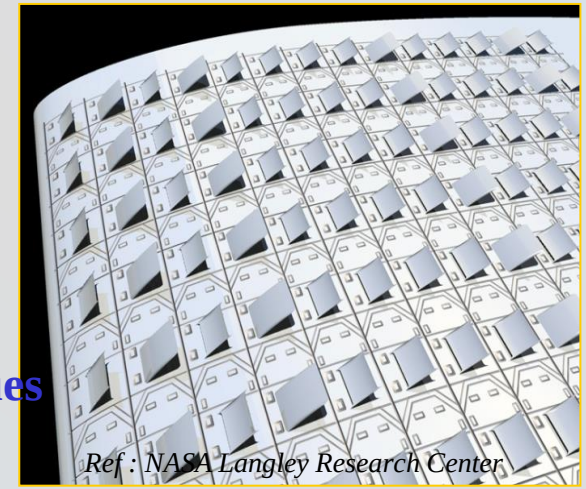
Influence of frequency and prestrain on the mechanical efficiency of dielectric electroactive polymer actuators
R. Palakodeti a, M.R. Kessler b, Materials Letters 60 (2006) 3437–3440



Application of Polypyrrole Actuators:
Feasibility of Variable Camber Foils
John D. W. Madden, *Member, IEEE, Bryan Schmid, Martin Hechinger, Serge R. Lafontaine, Peter*
IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING, VOL. 29, NO. 3, JULY 2004

Actionnement polymère au stade de la faisabilité avec caractérisation expérimentale de prototypes.

Capteur exploitable
Actionneur pour microdrones ou pour applications biomimétiques

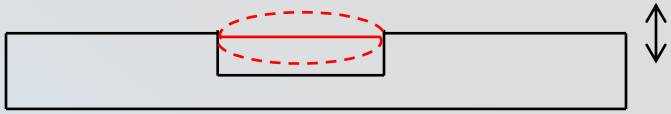


Ref : NASA Langley Research Center

Application des polymères à la caractérisation dynamique d'un écoulement

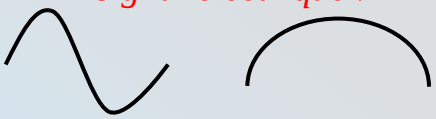
- Caractérisation d'un capteur de pression :

Vibration d'une membrane circulaire :



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

Influence des modes de vibration sur le signal électrique :

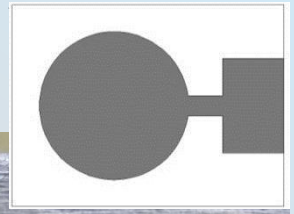


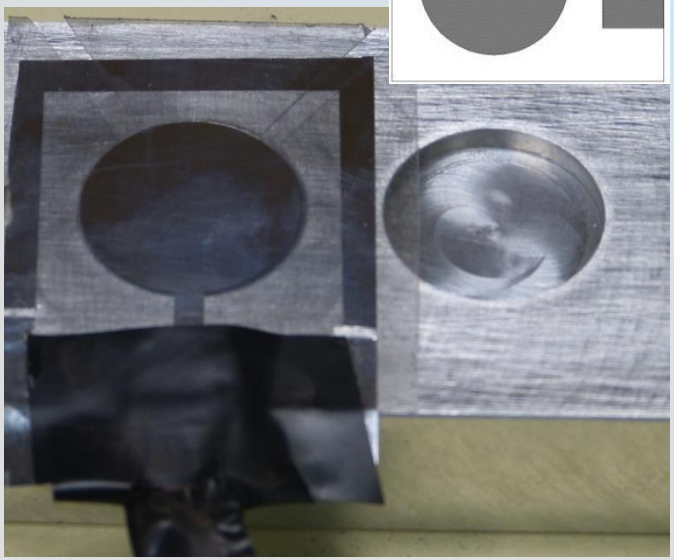
- Réalisation d'un modèle du capteur :

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

Test sur un écoulement aéro :

U_{air} = 10 m/s





- Fonctionnement sur cavité de profondeur limitée pour ne pas perturber l'écoulement (1mm)
- Métallisation « au droit » de la cavité
- Contacts polymère/circuit « délicats »

Polymères électroactifs électroniques : PVDF Activation électrique

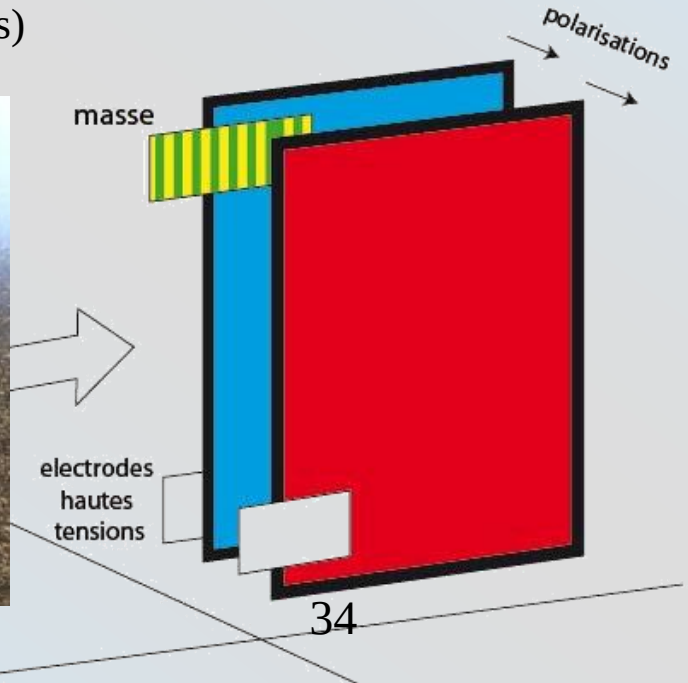
Polymère ferroélectrique présentant un effet piézoélectrique prédominant,
Composé organique nécessitant une expertise pour la synthèse,
Seul matériau commercialement disponible,
Activation possible sous des champs électriques de 10 à 30V/µm.

Polyvinylidène de fluorure (PVDF) (ε=7)

PVDF-TrFe ou PVDF-TrFE-CFE (ε>40)

Coefficient piézoélectrique de 10 à 30pC.N^{-1} (polymères) 100-200C.N^{-1} (céramiques)
Pression relative 3 MPa (polymères) 100 MPa (céramiques)

Principe : Deux feuilles de PVDF polarisées dans l'épaisseur, solidaires sur une face et alimentées en opposition



Films PVDF
Gravure des électrodes

Utilisation de films de PVDF fin jusqu'à 2µm tout en conservant une activité piézoélectrique.

Réduire la tension appliquée sur les électrodes permet de limiter les amorçages tout en augmentant le champ appliqué

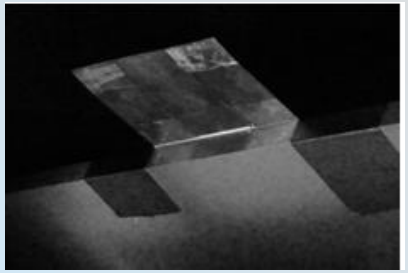
Elaboration d'électrodes plus complexes

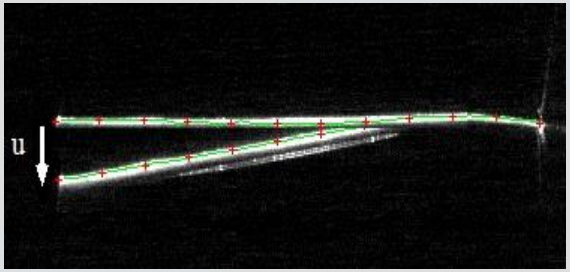
Laser YAG utilisé

Obtention de déflexion homogène en supprimant les couplages parasites Master Recherche de LE Trong Trung 2010)

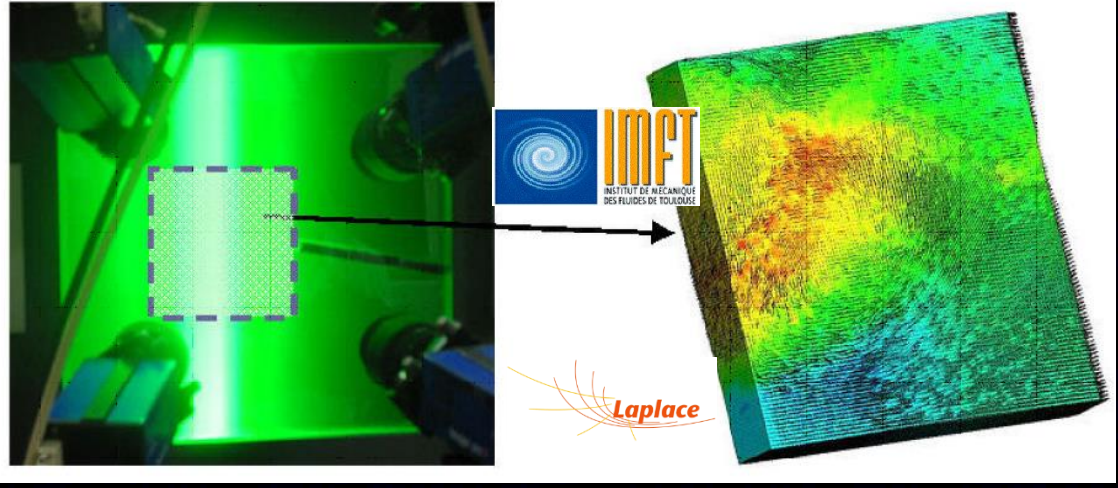
Electroactive Polymers PVDF

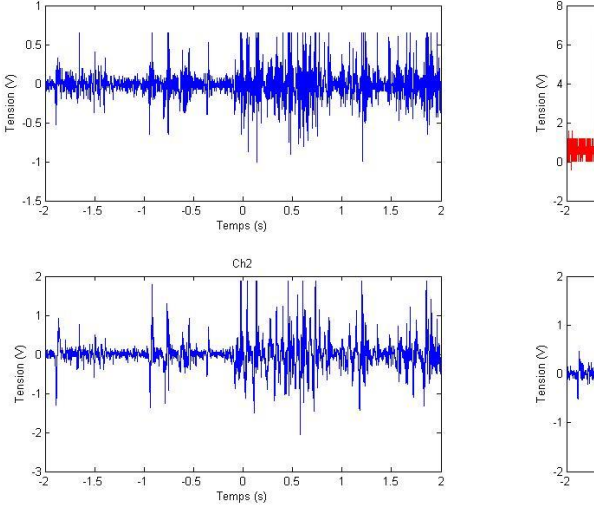
Sensor faculty by electroactive polymers PVDF



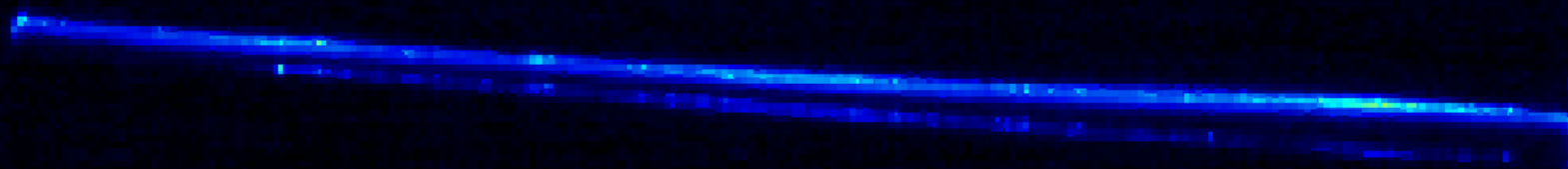


Actuation of PVDF at the trailing edge of an aileron Caracterisation of electroactive properties for operation as active ‘feathers’





let déformable - Re= 200 000 à 400 000
ct. 2014, Vol. 14

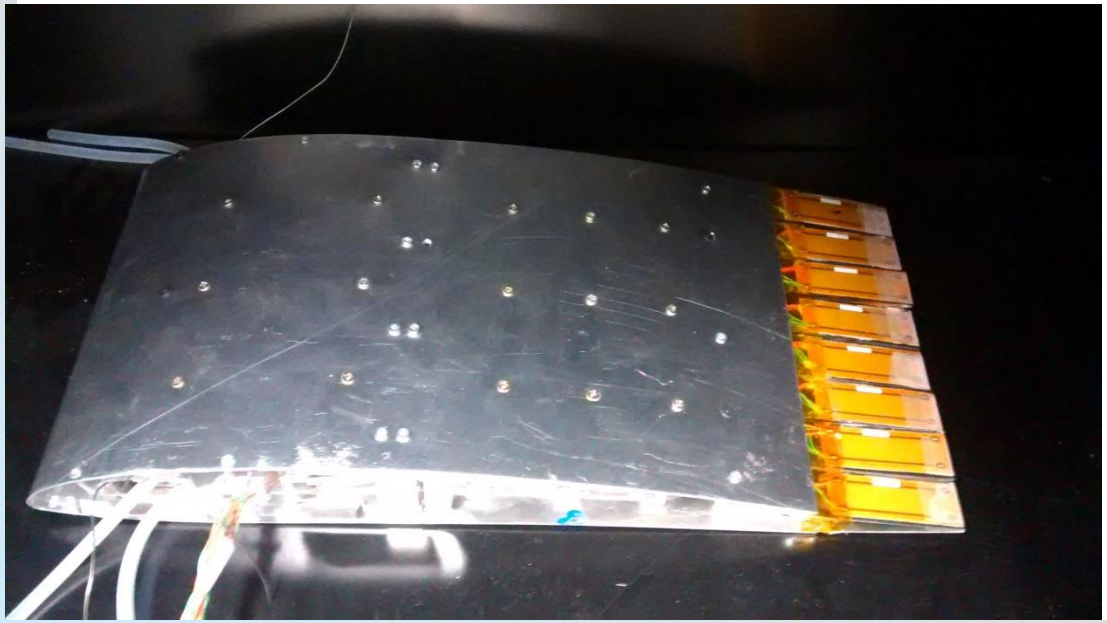


PVDF cilia past trailing edge — S4 wind tunnel IMFT

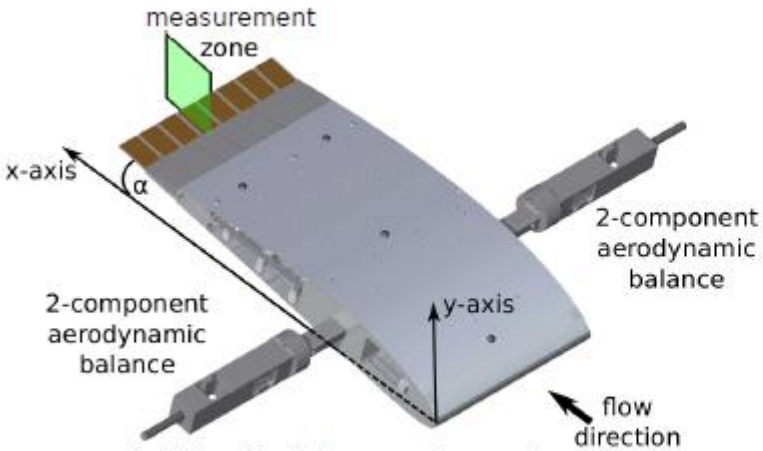
Maquette « Hybridée » en morphing
AMF - piézos

Profil d’aile hypersustentateur de type A3xx

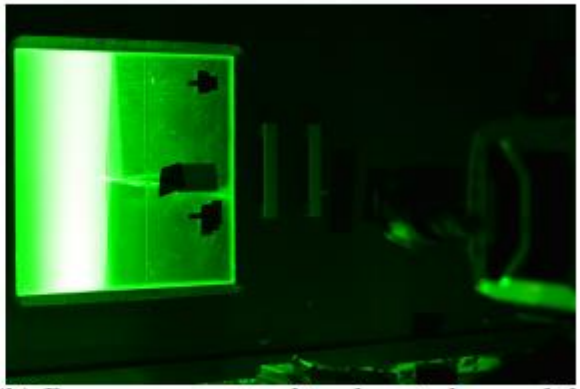
THE ‘ROYAL SOCIETY’ MORPHING WING : HYBRIDATION : SMA, Piezos of PVDF : Capteurs



Classified by **Airbus**-ETCT among the first three most successful demonstrators over 30 in « **R&T days** » Exhibition, Toulouse, October 2014



(a) Sketch of the experimental setup

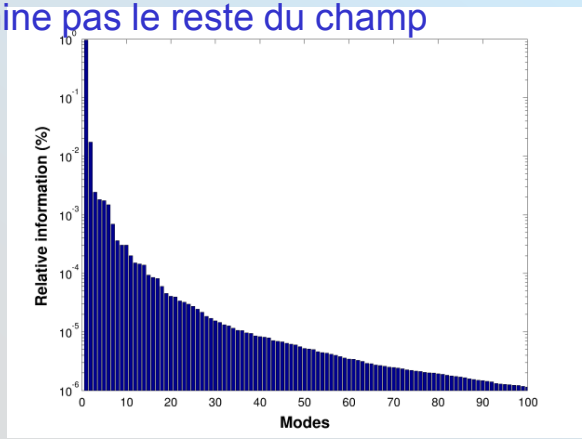


(b) Prototype mounted in the wind-tunnel illuminated by laser

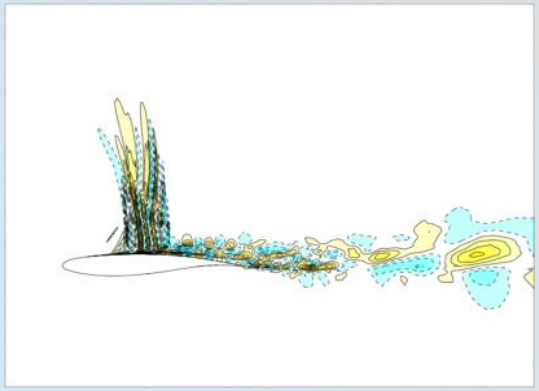
Modification par E-morphing des formes de modes POD d'ordre élevé (analyse modale en composantes principales) : Ces modes spatiaux utilisés pour produire un effet « turbo » via l'énergie cinétique turbulente : mécanisme de **forçage**

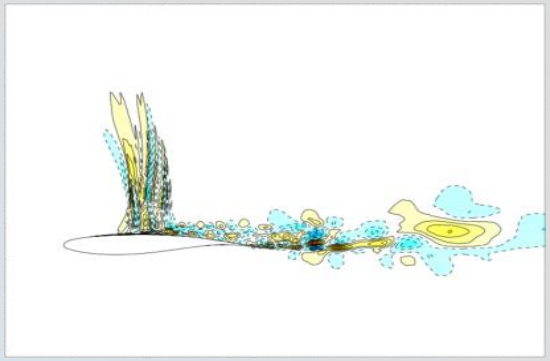
Par le moyen de contrôle via la turbulence : « Through turbulence control »: matérialisation de l'effet « eddy-blocking » - constriction par les (petits) tourbillons, capable de réduire l'épaisseur des zones cisaillées et les maintenir fines : réduction du bruit aérodynamique et simultanément de la traînée

Cet actionnement agit uniquement dans les régions d'intérêt et ne contamine pas le reste du champ autour du corps solide.



Modes 74 and 75 the filling of the shear-layer by smaller structures



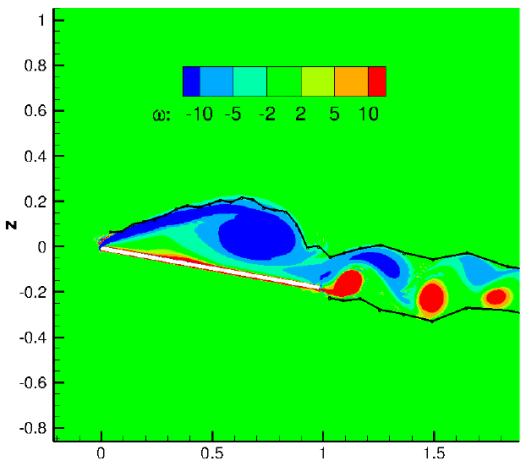


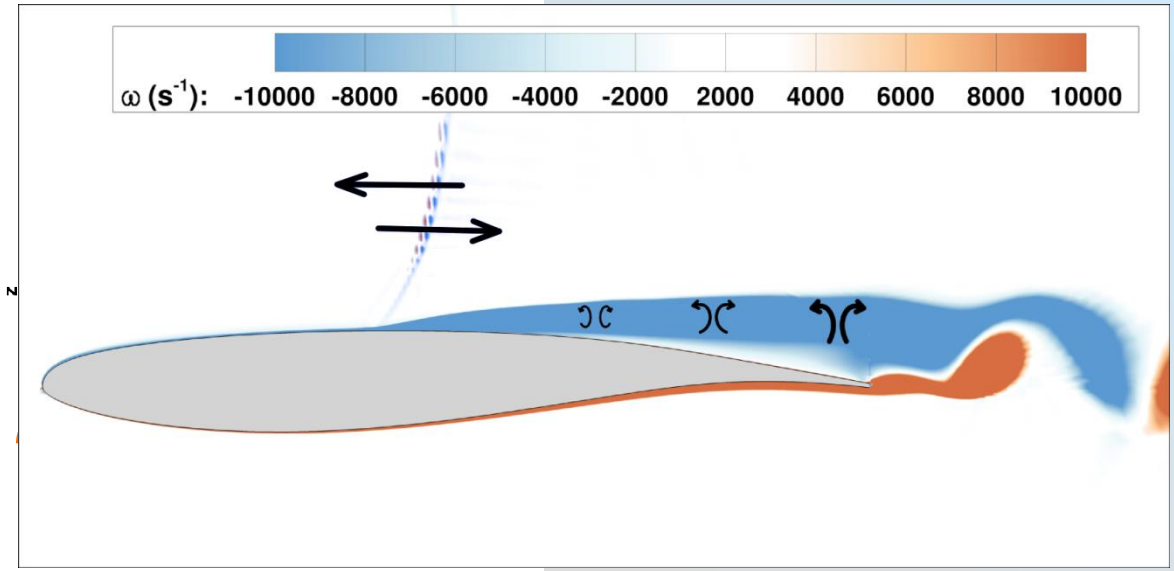
$$u_i(\vec{x},t) = \sum_{n=1}^{\infty} a^{(n)} \phi_i^{(n)}(\vec{x},t)$$

Modes 82 and 83

Stochastic forcing to keep thin the shear layer interfaces

Criterion 1





$$\frac{\mathrm{D}k}{\mathrm{D}t} = P - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_i}\right] + S_{\mathrm{POD}}$$

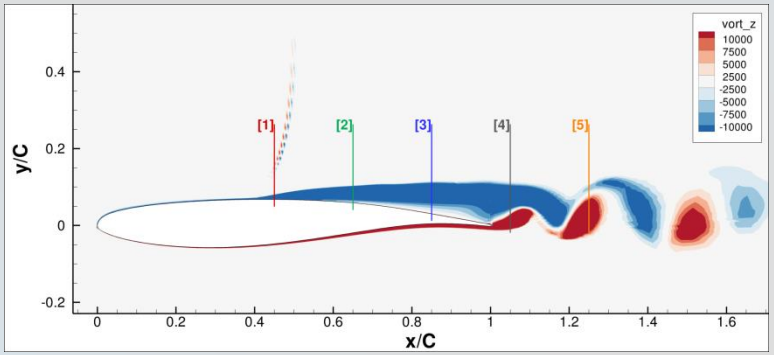
Szubert et al, J. Fluids and Structures 2015

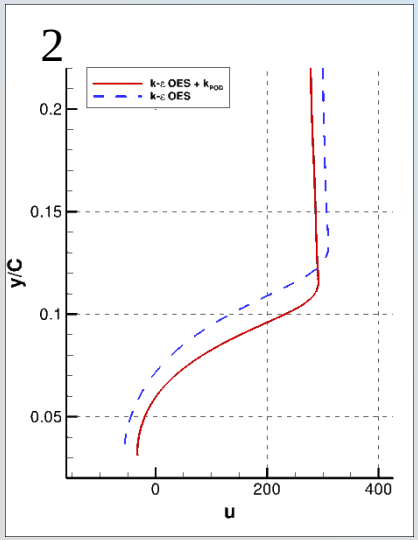
$$\frac{\mathrm{D}\varepsilon}{\mathrm{D}t} = \frac{\varepsilon}{k}\left(C_{\varepsilon 1}\, P - C_{\varepsilon 2}\, \varepsilon\right) + \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i}\right] + \frac{C_{\varepsilon 2}\, S_{\mathrm{POD}}^2}{k_{\mathrm{amb}}}$$

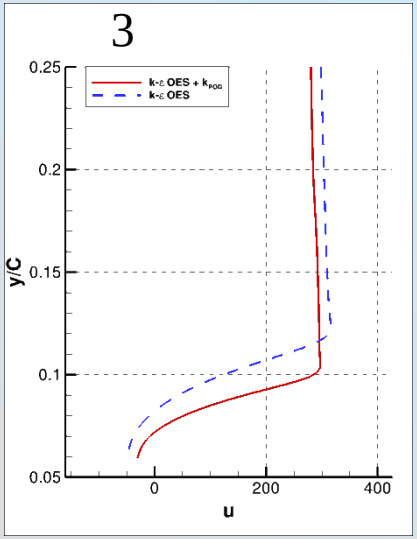
$$S_{\mathrm{POD}} = \tilde{r}\; C_\mu\; (k_{\mathrm{amb}}^2 + k_{\mathrm{POD}}^2)/\nu_{t\infty}$$

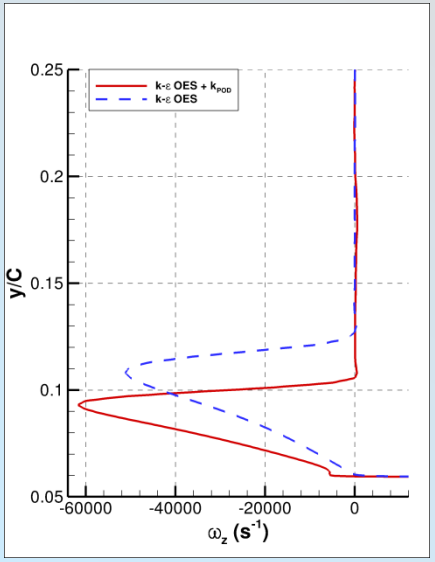
$$k_{\mathrm{amb}} = k_{fs}\; U_\infty^2, \text{ and } k_{fs} = 3/2\; \mathrm{Tu}^2$$

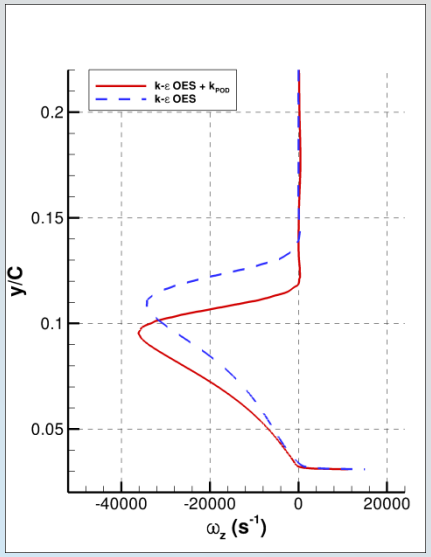
Comparison of the phase-averaged velocity profiles accross the TNT interface : with (red) and without forcing

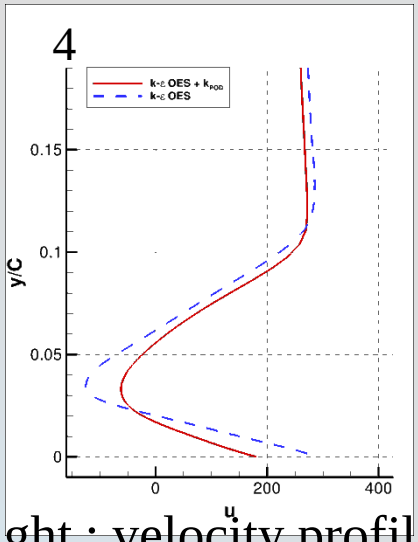


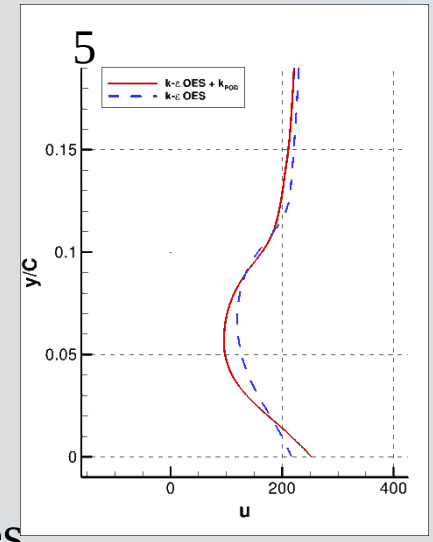




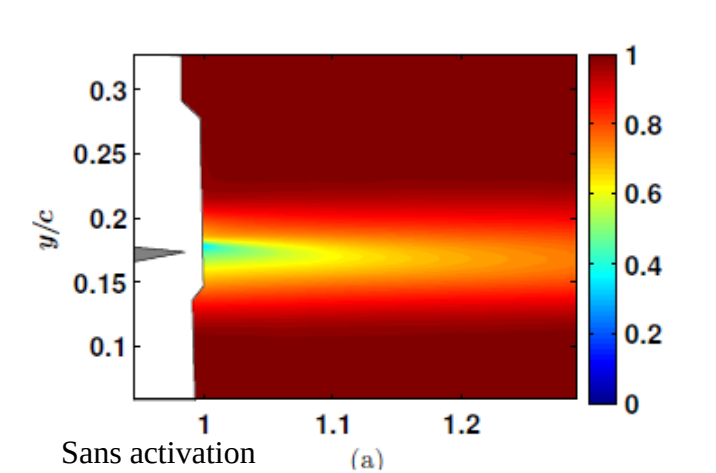






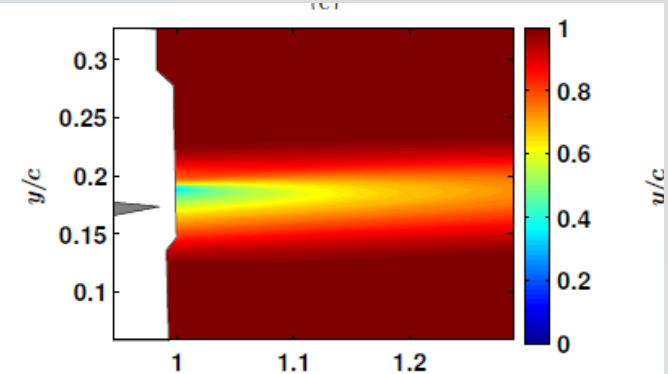


Red curves with forcing. Left: vorticity, right : velocity profiles



Sans activation

(a)



Activation 60 Hz

(e)

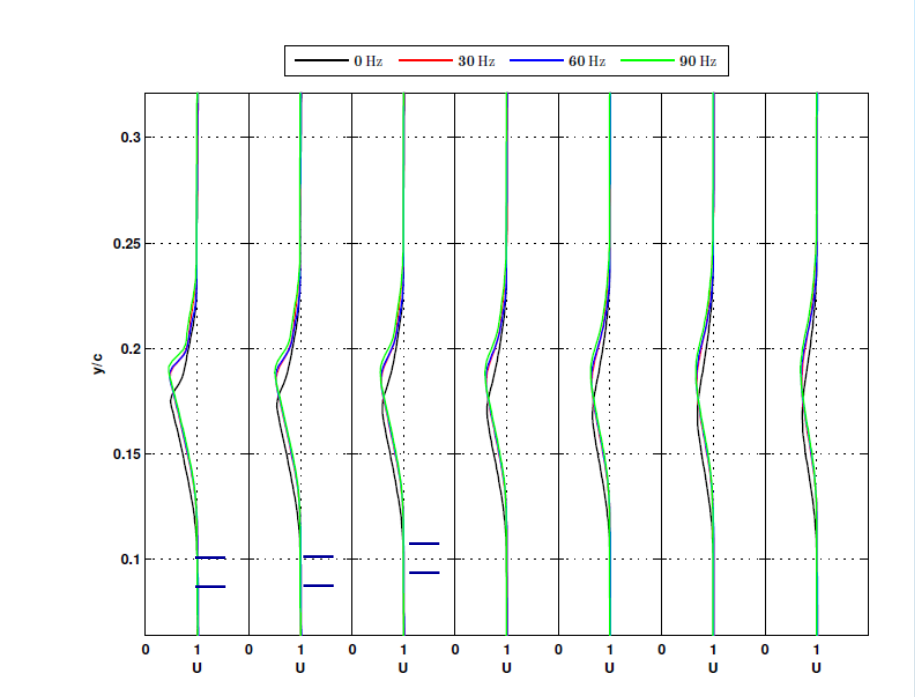
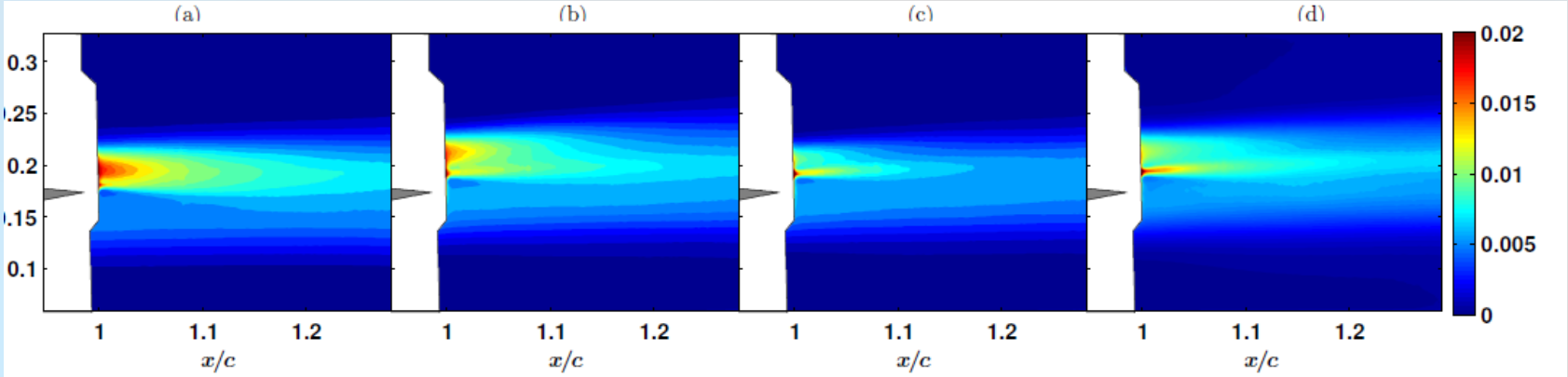


Figure 9: Comparison of the effect of the piezoelectric actuation on the U component of the normalized isolongitudional velocity



Chantier RTRA SMARTWING
Projet DYNAMORPH

ONERA-DCSD activités : Loi de commande temps réel et simulation

Clément TOUSSAINT, Frank JOUHAUD,
Philippe MOUYON, Carsten DÖLL

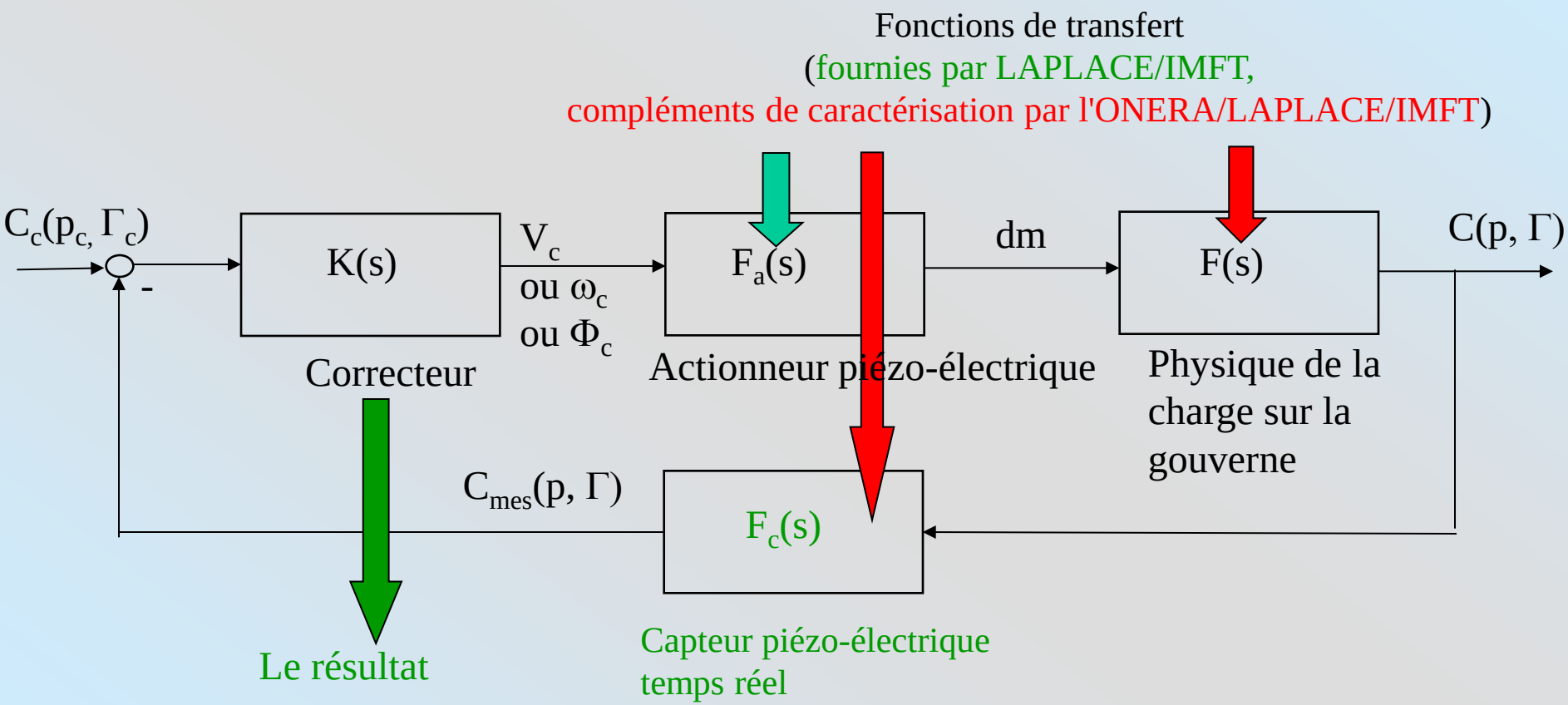
ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

retour sur innovation

En cours d'étude: Structure de la boucle fermée et Caractérisation des relations entre commandes et mesures

Structure prévue de la boucle fermée en charge C de la gouverne bord de fuite pour la réduction de la traînée aérodynamique



p = pression
ω = courant

Γ = circulation
V = tension

dm = braquage ou déformation
Φ = phase

c = commandé
mes = mesuré

REALISATION DES ACTIVITES E-MORPHING 2010-2014
POUR ARRIVER A CETTE EXPERIENCE:

Personnel Permanent: équipe pluridisciplinaire:
LAPLACE: J.F. Rouchon, E. Duhayon, D. Haribey
IMFT: M. Braza, G. Harran, S. Cazin, M. Marchal, C. Korbuly,
Les ateliers de l'IMFT et du LAPLACE

Post-doctorants:
E. Deri
H. Ouvrard
M. Chinaud
T. Deloze
I.Asproulias
K.J. Rizzo

Doctorants:

J. Scheller	DGA
F. Grossi	ANR
D. Szubert	DGA
G. Jodin	Bourse Ministère et ENC