



Algue synthétique basée sur des films piézoélectriques

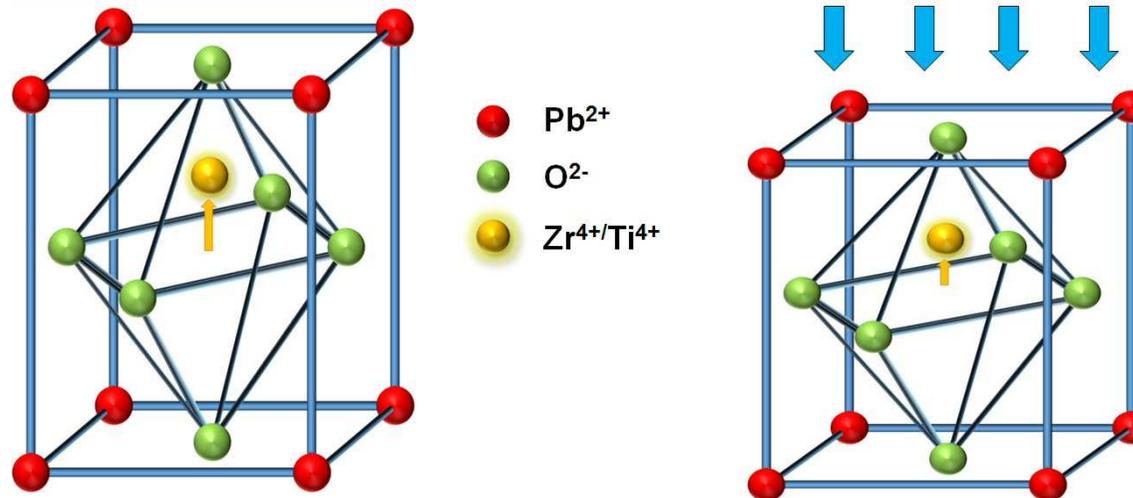
R. Séveno¹, T. Dufay¹, B. Guiffard¹ et J. C. Thomas²

21 octobre 2016

1. *Institut d'électronique et de Télécommunications de Rennes (IETR), UMR CNRS 6164*
2. *Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM), UMR CNRS 6183*

Objectif

Récupération d'énergie propre par l'activation de couches minces piézoélectriques souples par un simple courant marin



Principe de piézoélectricité

Propriétés recherchées

- Flexible
- Robuste
- Étanche
- Bon rendement énergétique
- Simple de fabrication
- Peu cher

Objectif

❑ Films PVDF flexibles

6.600 €/m² non orienté, 16.300 €/m² orienté



❑ Céramiques massives piézoélectriques

- Très fort coefficients piézoélectriques
- Rigidité importante

❑ *Solution alternative: films de PZT déposés sur feuille métallique*

- CSD compatible avec un transfert à l'industrie
- Substrat compatible avec le procédé de fabrication



Choix du substrat

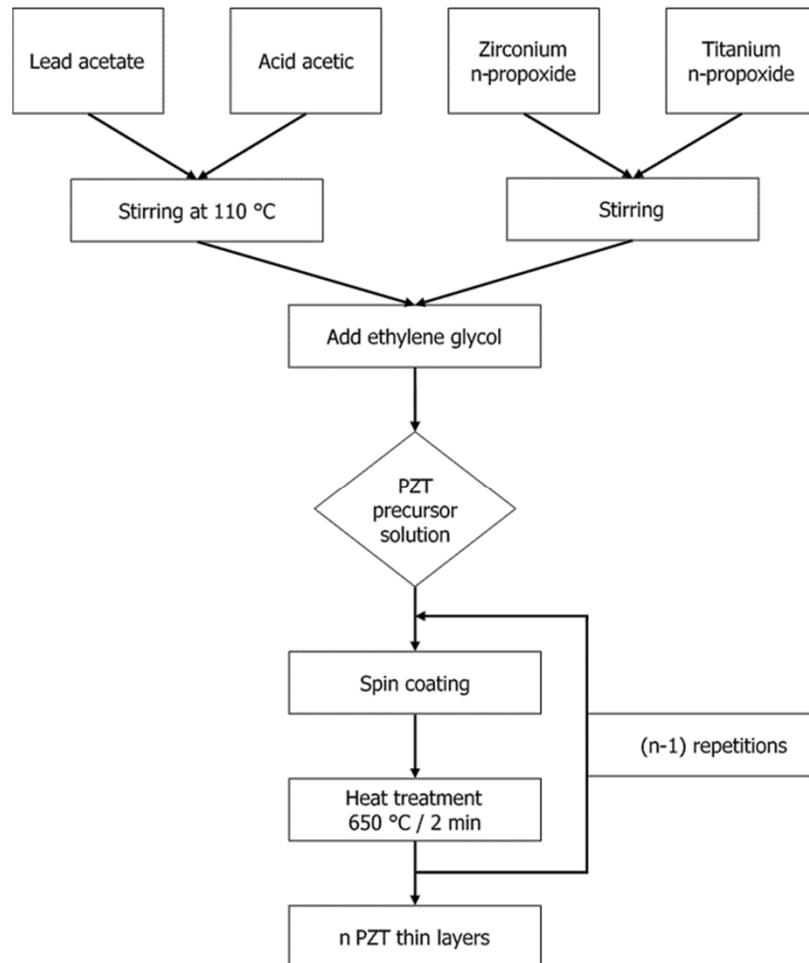
Goodfellow data, march 2015

Metal	Fusion T° (°C)	Young modulus (GPa)	Thermal expansion coefficient ($\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)	Densinty (g/cm ³)	Price (€/m ²) Th= 10 µm
platinum	1772 😊	276 😞😞😞	9 😊	21.5 😞😞	87300 😞😞😞
copper	1083 😊😊	124 😊😊	17	9 😊	63200 😞😞😞
Stainless steel	1400 😊	200	18	7.9 😊	9810 😞😞
nickel	1453 😊	177 😊	13	8.3 😊	1200 😊
aluminum	660 😞😞😞	69 😊😊😊	23 😞😞	2.7 😊😊😊	303 😊😊😊
tungsten	3410 😊😊	411 😞😞😞	4.5 😊😊	19.3 😞😞	157600 😞😞😞
molybdenum	2617 😊😊	329 😞😞😞	5 😊😊	10.2 😊	8980 😞

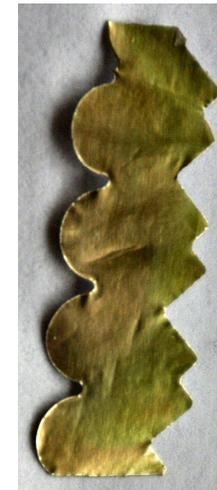
Aluminium commercial: 0.13 €/m² !!



Films minces piézoélectriques de PZT



Film de PZT sur feuille d'aluminium

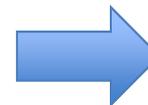


Découpable



Formes 3D

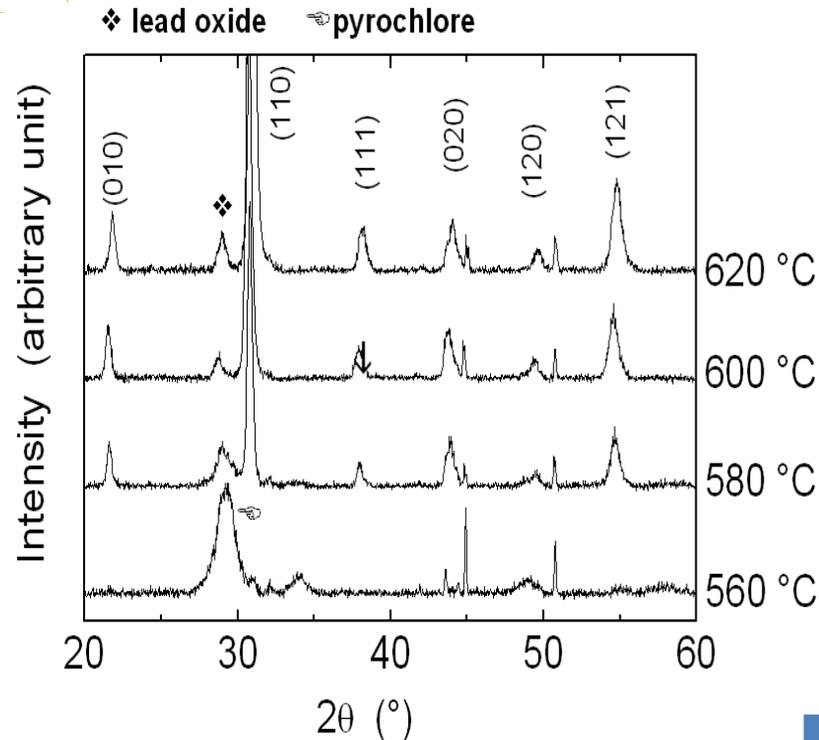
low cost: 280 €/m²



0.5 cm × 4 cm = 5.6 cents

CSD process

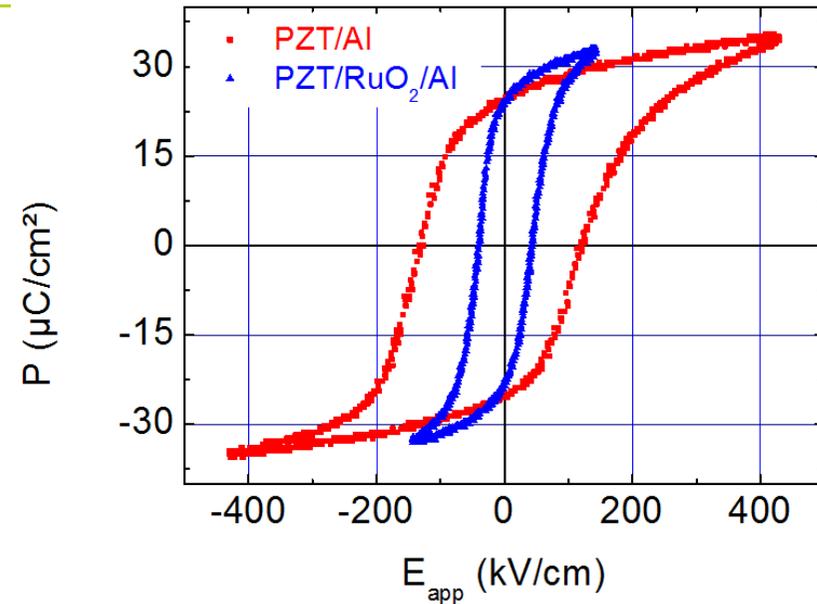
Caractérisations classiques



Caractérisation structurale

Cristallisation du PZT > 600 °C

Destruction de l'alu > 660 °C



Polarisation du matériau

PZT/Al	P_r ($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)	E_c (kV/cm)	$\epsilon_{r@1\text{ kHz}}$
sans RuO_2	25	125	292
avec RuO_2	24	41	552



Caractérisation piézoélectrique

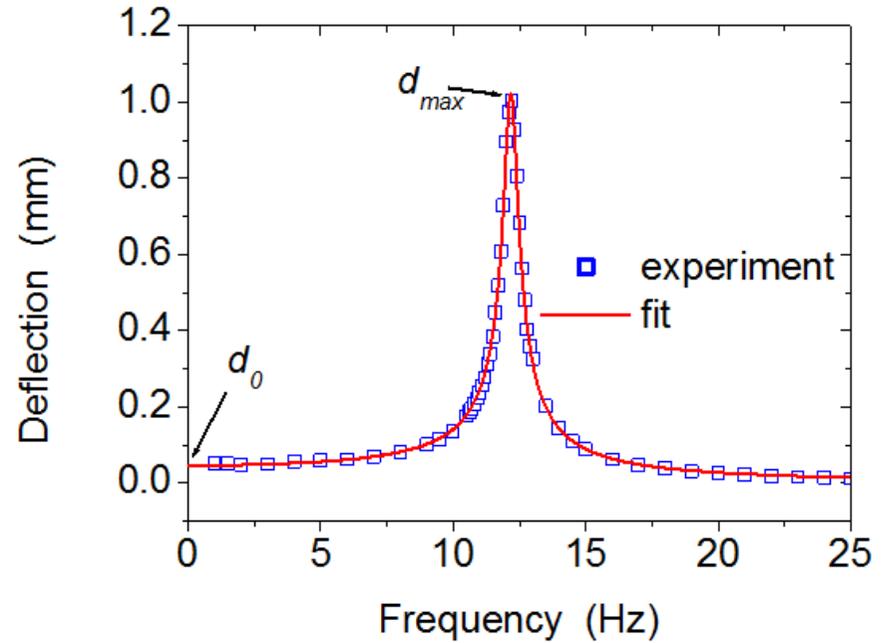


oscilloscope

Vibromètre laser

poutre
Al/PZT/Al

générateur de tension



Modèle de l'oscillateur linéaire

$$d = \frac{d_0}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2 + \frac{1}{Q^2} \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}}$$

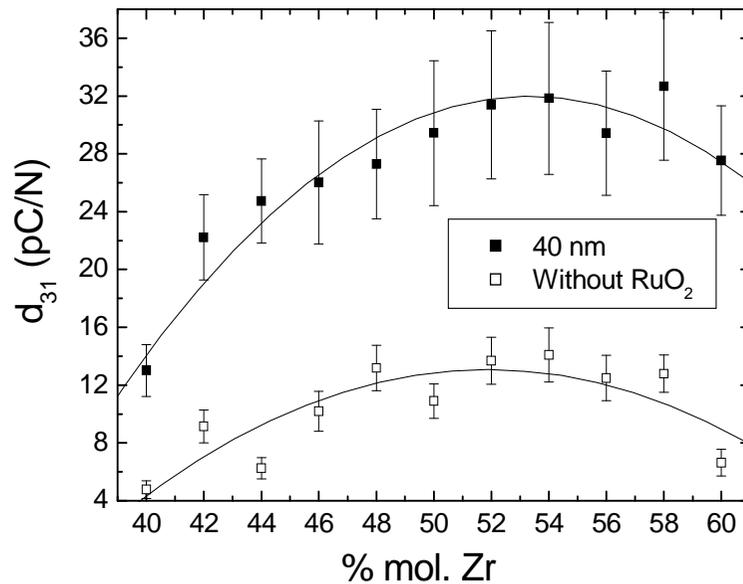




Caractérisation piézoélectrique

$$d_0 = d_{31} \times \frac{6s_a s_p t_a (t_a + t_p) \times \left(l_e l_b - \frac{l_e^2}{2} \right)}{s_a^2 t_p^4 + 4s_a s_p t_a t_p^3 + 6s_a s_p t_a^2 t_p^2 + 4s_a s_p t_a^3 t_p + s_p^2 t_a^4} \times \frac{w_e}{w_b} \times V_0 = d_{31} \times \beta \times V_0$$

Poutre 0.3 cm x 1 cm



Substrat non adapté

+

Faible traitement thermique

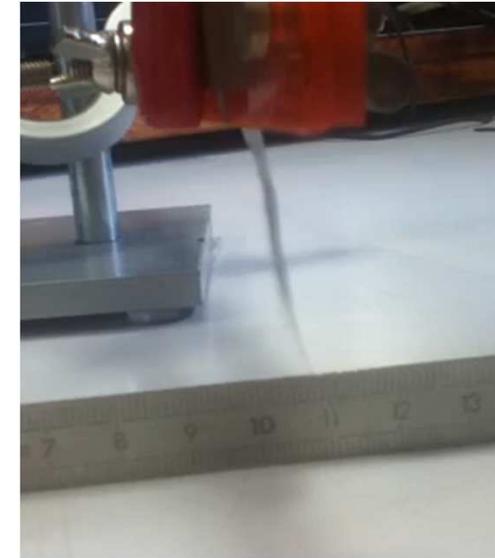
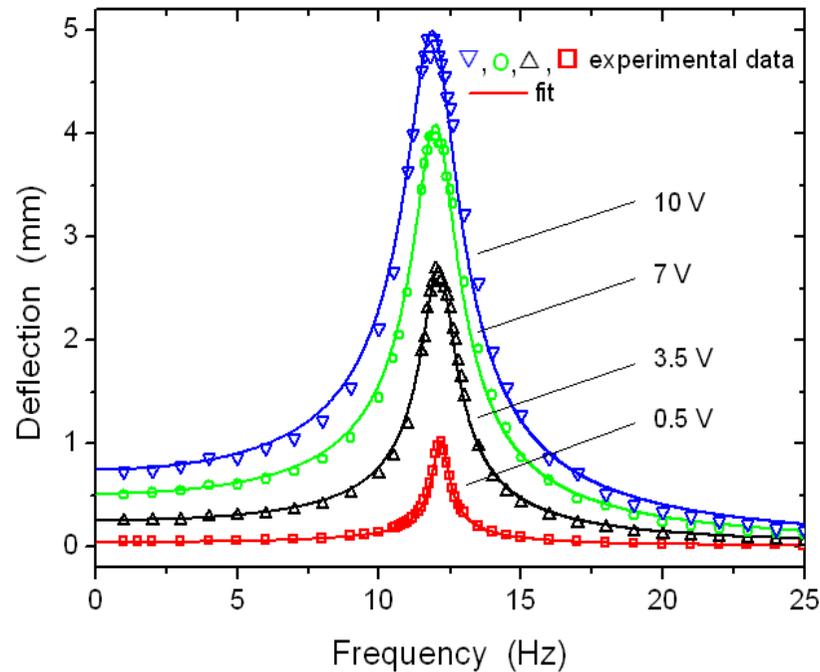


coeff. piézoélectrique bas

RuO₂ → d₃₁ × 3

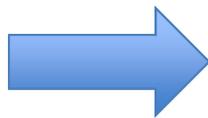


Caractérisation piézoélectrique



10 V @ 12 Hz

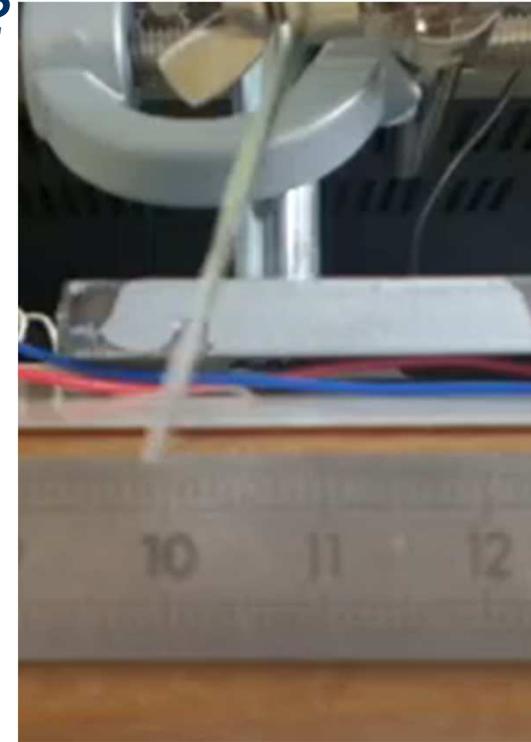
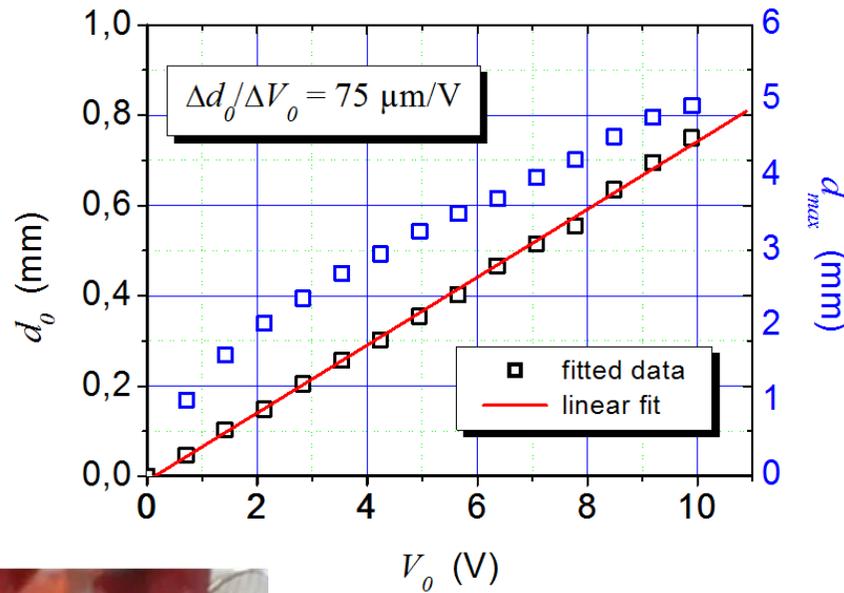
1.1 cm × 3.2 cm Al/PZT/Al



grands déplacements pour de basses tensions appliquées



Caractérisation piézoélectrique



75 V @ 0.5 Hz

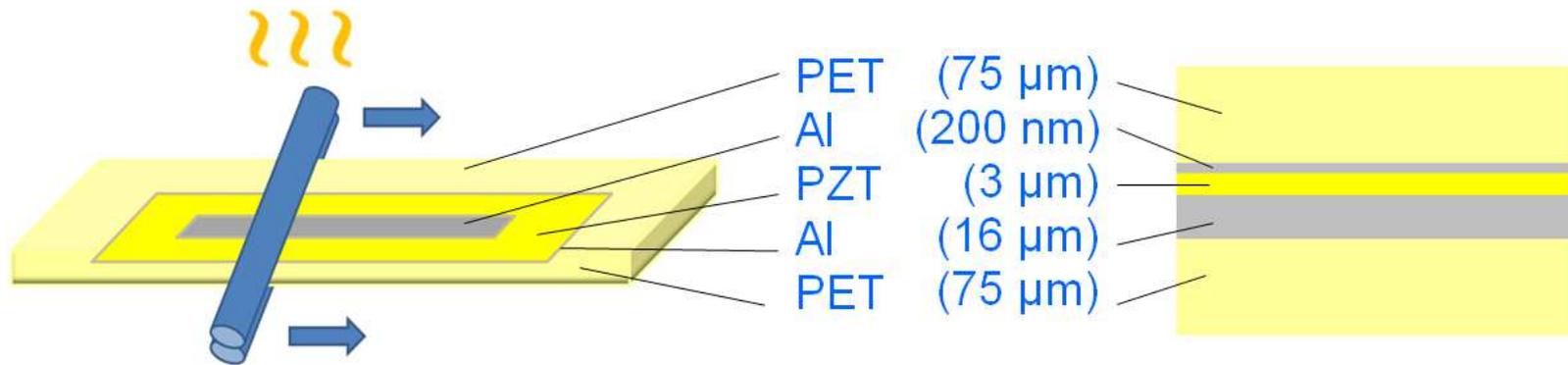


10 V @ 1 Hz

Déplacements visibles loin de la résonance



Protection du film piézoélectrique



Preparation of the composite by lamination of the PET

Sectional view of the composite

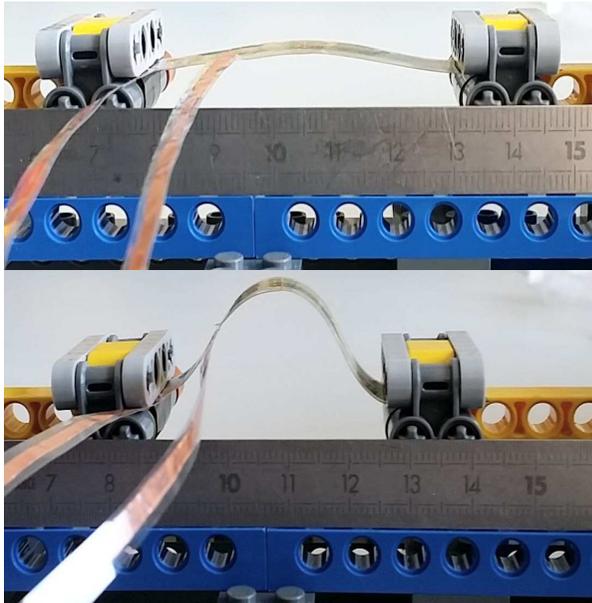
4 cm



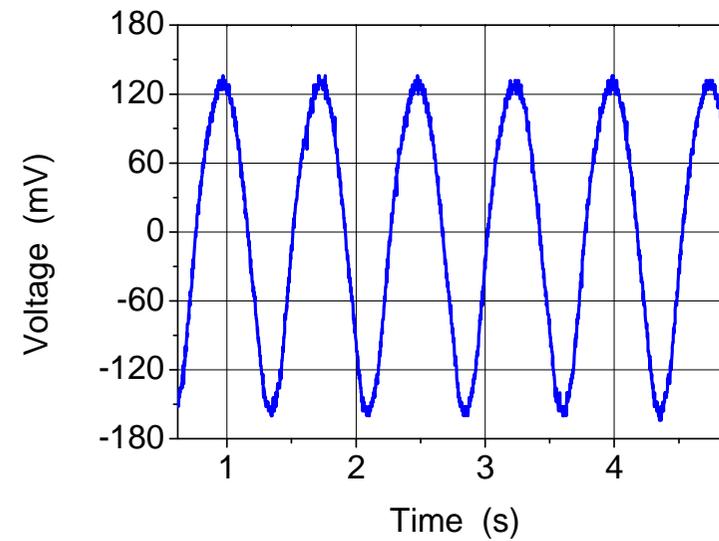
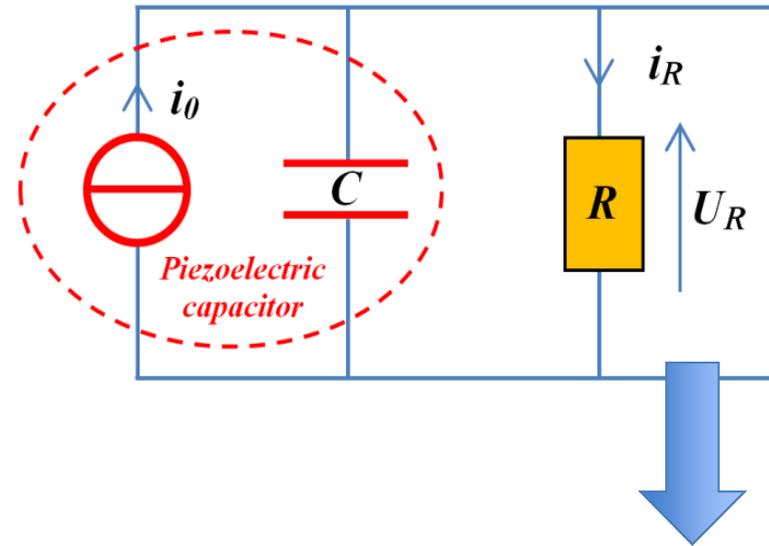
Feuille de PET
commercial 1.4 €/m²



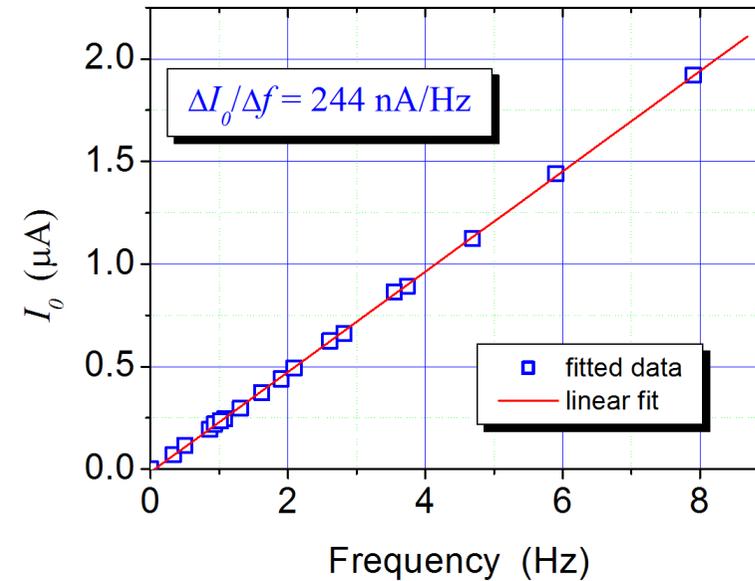
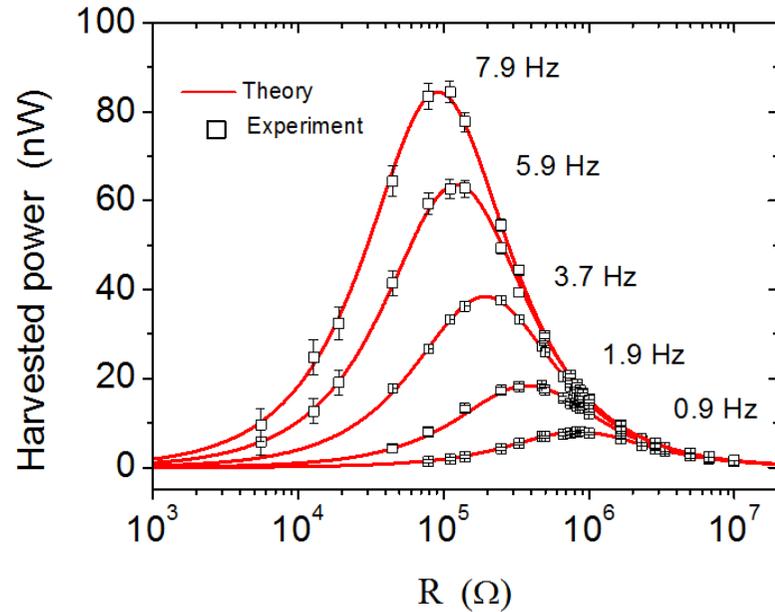
Mesures de puissances électriques



Rayon de courbure ~ 1 cm



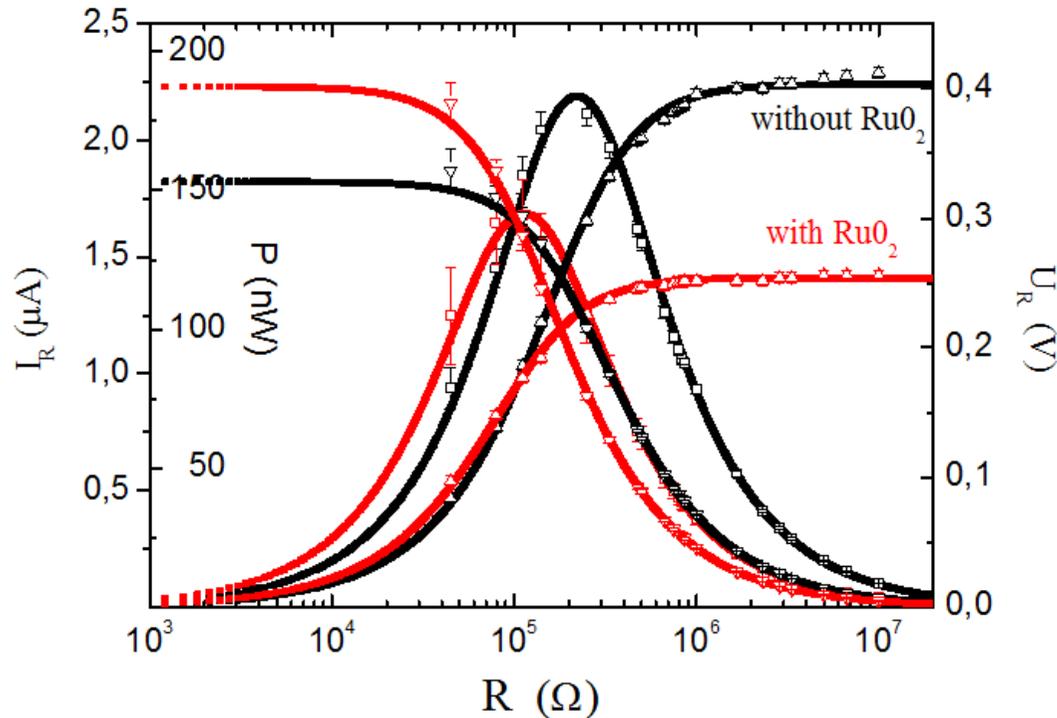
Mesures de puissances électriques



Bonne tenue mécanique dans le temps

Basses fréquences [0.3 Hz – 8 Hz]

Effets de l'interface d'oxyde



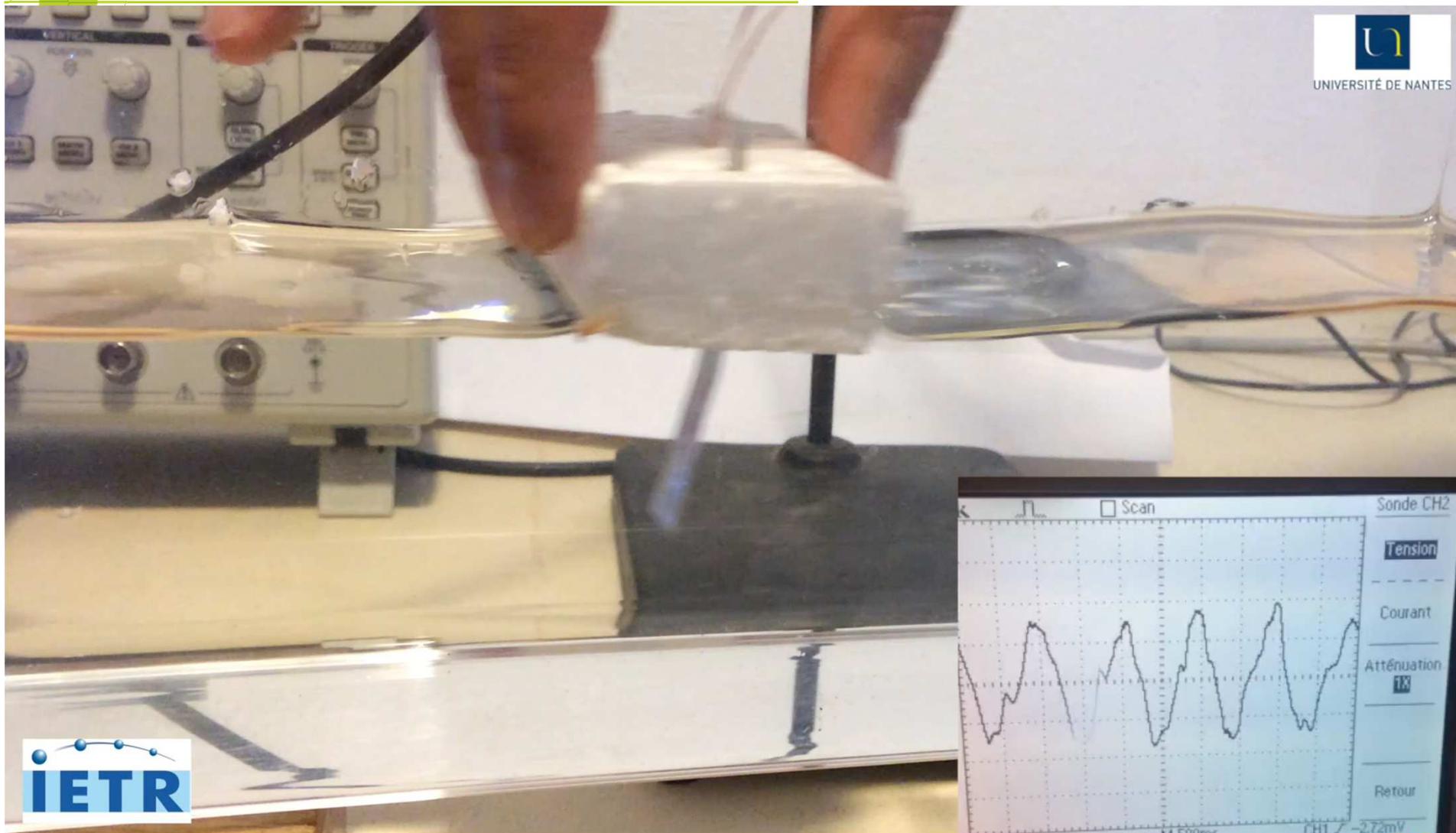
I_0 ↑ U_R ↓
 $P_{max} = \frac{I_{0f}^2}{8\pi C S e}$ ↓

PZT/Al	C (nF)	I_0/f (nA/Hz)	Densité d'énergie ($\mu\text{J}/\text{cm}^3$)
sans RuO ₂	165	410	79
avec RuO ₂	325	550	61

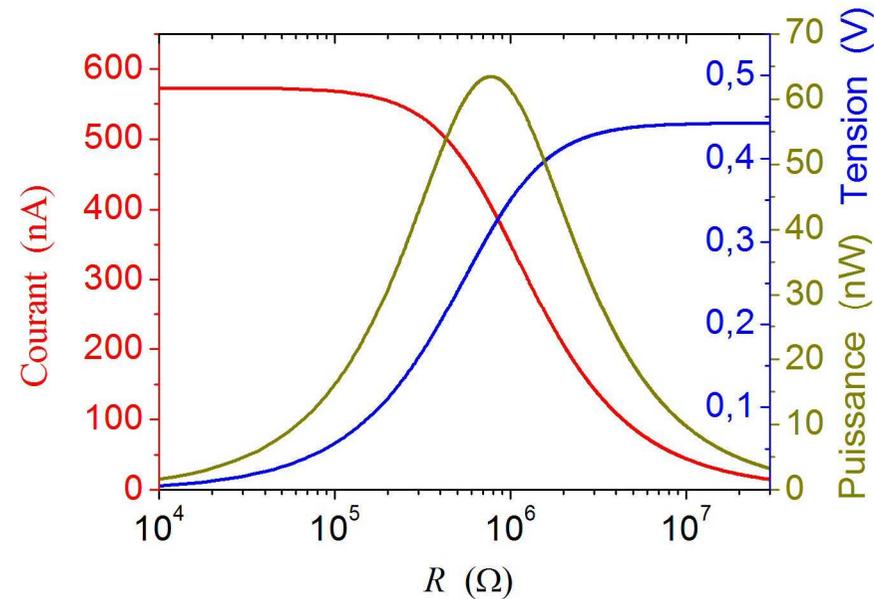
➔ Meilleur et moins cher



Essai en bassin



Essai en bassin



Résultats d'expérience @1Hz

- Courant piézoélectrique: 573 nA
- Densité d'énergie: $53 \mu\text{J}/\text{cm}^3$
- Tension de sortie : 350 mV

Points à améliorer

- Choix du polymère d'encapsulation
- Géométrie d'électrodes

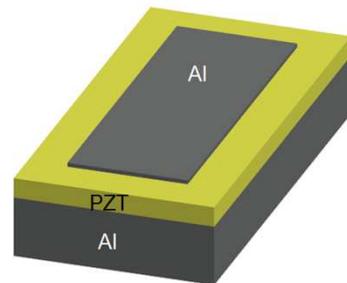


Influence de la géométrie du générateur

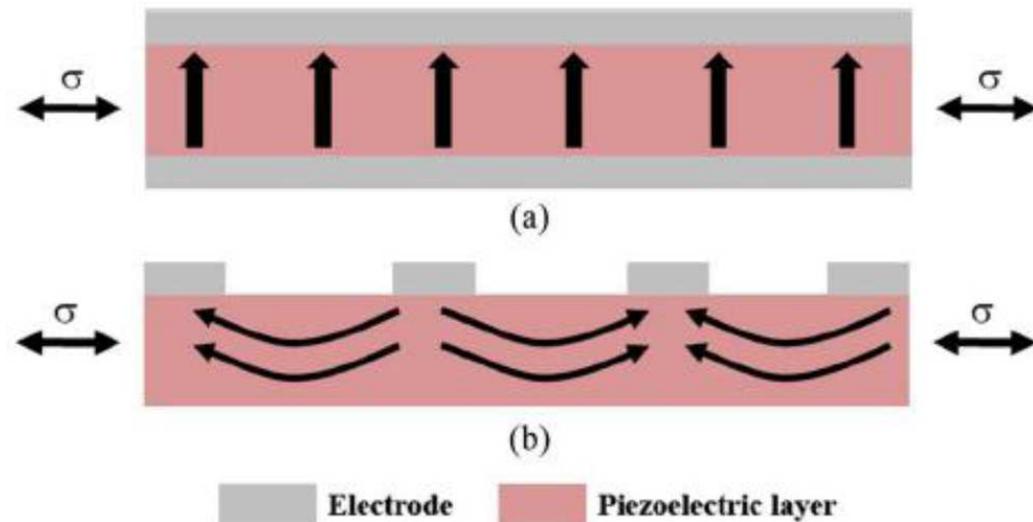
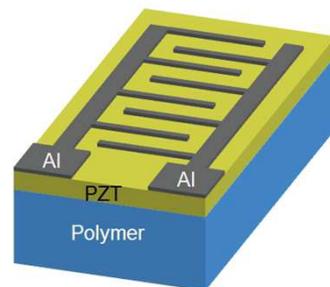
Mode 33: Champ électrique produit dans la même direction que la contrainte subie

Si électrodes inter-digitées (IDEs) sur la surface du piézo $\rightarrow g = g_{33} > g_{31}$ et d distance entre électrodes adjacentes = 100-200 μm

Mode 31



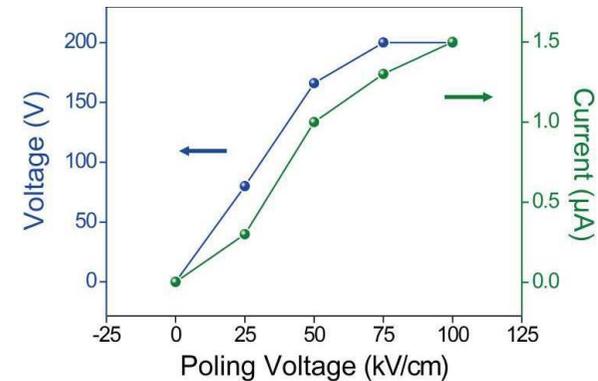
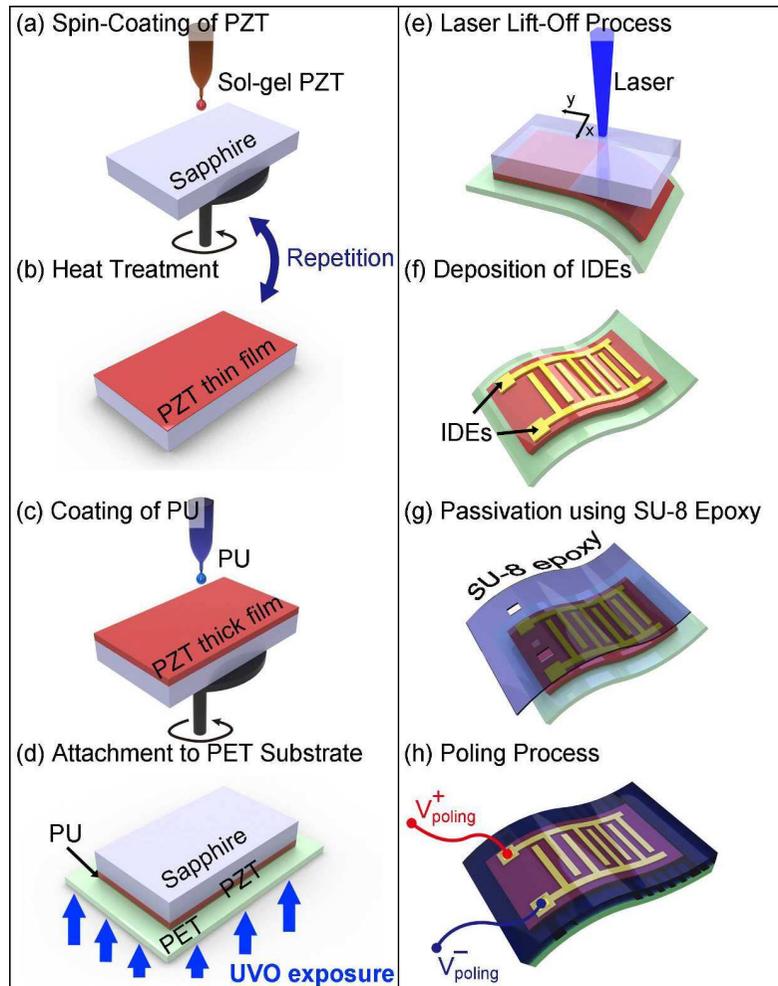
Mode 33



Kim et al, *J. Microelectromech. Syst.* 2013, 22, 26–33



Influence de la géométrie du générateur



Avantages:

- Générateurs très performants

Inconvénients:

- Polarisation difficile
- Technologie de pointe
- Prix élevé

K.-I. Park, J. H. Son, G.-T. Hwang, C. K. Jeong, J. Ryu, M. Koo, I. Choi, S. H. Lee, M. Byun, Z. L. Wang, et K. J. Lee, « Highly-Efficient, Flexible Piezoelectric PZT Thin Film Nanogenerator on Plastic Substrates », *Adv. Mater.*, vol. 26, n° 16, p. 2514-2520, avr. 2014



Influence de la géométrie du générateur

Highly-efficient, Flexible Piezoelectric PZT Thin Film Nanogenerator

- 105 blue LED arrays lit up by thin film nanogenerator

K. Park, J. Son, G. Hwang, C. Jeong, J. Ryu, M. Koo

I. Choi, S. Lee, M. Byun, Z. Wang, K. Lee

KAIST



Prochaines étapes

- Réalisation de générateurs flexibles sans plan de masse par voie chimique



- Développement de générateurs flexibles sans plomb

- Test des nouveaux prototypes d'algues piézoélectriques

