

### 3. Les allocations postdoctorales

#### 3.1. FLEXO\_

**Titre :** Films polymères flexoélectriques pour capteurs de courbure

**Porteur du projet :** Benoît GUIFFARD

**Laboratoire :** IETR UMR 6164, Université de Nantes

**Laboratoire associé :** IMMM Le Mans Université

**Post-Doctorant :** Vistor MERUPOS

**Encadrant :** B. Guiffard

**Mots clés :** Film polymère, capteur de courbure, flexoélectricité, gradient de composition.

**Verrous scientifiques ou technologiques levés :**

Validation de la présence d'un gradient d'élasticité dans l'épaisseur de films de polyuréthane à l'origine de l'augmentation du coefficient flexoélectrique.

Les films polymère souple à gradient de composition ouvrent des perspectives intéressantes pour la réalisation de composites à coefficients flexoélectriques élevés destinés à la détection de fortes courbures.

**Etat :** Terminé le 30/11/2016

##### 3.1.1. Résumé du projet

Le projet concerne l'étude d'un matériau polymère présentant un effet flexoélectrique et pouvant servir de capteur de courbure de structures dans les domaines du génie civil, de l'aéronautique ou encore des textiles intelligents.

Grâce à l'effet flexoélectrique, la mesure directe de la courbure est possible et elle est par définition plus simple et plus précise que l'utilisation de capteurs de déformation dans l'objectif d'un contrôle in situ de l'intégrité de la structure. Du point de vue de la conversion, la réponse du capteur sera d'autant plus sensible que le coefficient flexoélectrique effectif du film polymère est élevé. De manière à exalter cet effet, la démarche adoptée consiste à générer un gradient de composition dans l'épaisseur du film polymère, choisi pour son aptitude à présenter une séparation de phases modulable dans l'épaisseur. A notre connaissance, l'utilisation d'un polymère flexoélectrique et biocompatible comme élément sensible d'un capteur souple et bas coût de la courbure de structures n'a jamais été proposé.

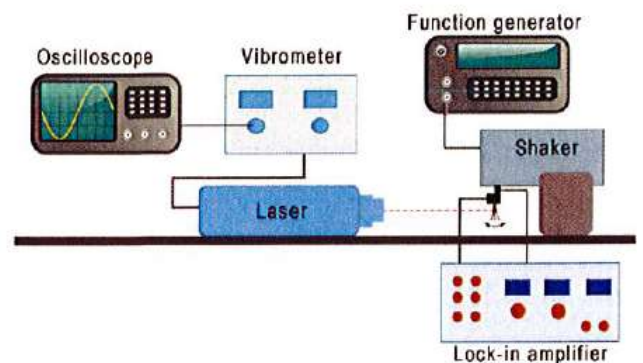
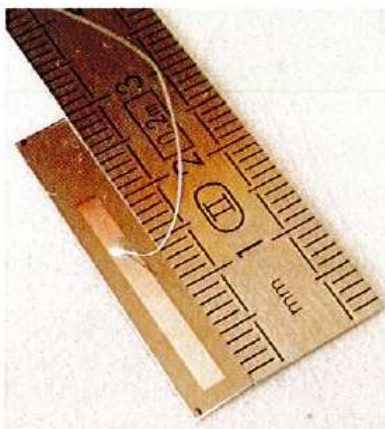


Figure 24 . FLEXO : a) Echantillon de type poutre : PU déposé sur inox par spin coating. L'électrode supérieure est une couche d'aluminium de 50 nm d'épaisseur. b) Schéma du banc de mesure.

### 3.1.2. Résultats du projet

#### 3.1.2.1. Résumé des travaux scientifiques

Fgf

polymère étudié est un grade de polyuréthane (PU) qui est un co-polymère à bloc de type élastomère thermoplastique à base de polyether, largement utilisé dans l'industrie. Ce polymère a été retenu en raison de sa morphologie particulière dite de séparation des phases, qui apparaît lors de son élaboration par voie solvant. Ainsi, après séchage, les films de PU présentent des gradients de composition variables en fonction de l'épaisseur susceptibles d'augmenter l'effet flexoélectrique. Les mesures flexoélectriques ont nécessité la mise en place d'un banc de mesure dans lequel l'échantillon étudié est soumis à une excitation mécanique dynamique basse fréquence. L'effet flexoélectrique est alors quantifié par la mesure du courant généré par l'échantillon à l'aide d'un détecteur synchrone.

Pour une meilleure précision et reproductibilité des mesures, il a été choisi de tester des échantillons bi-couches PU/acier inoxydable en configuration poutre encastrée-libre (Fig.16). L'extrémité encastrée subit des vibrations verticales induites par un pot vibrant, ce qui permet d'induire des déflexions sinusoïdales contrôlées précisément, en restant dans le domaine de validité de la théorie d'Euler-Bernoulli (petites déformations de la poutre devant ses dimensions).

Par rapport à la bibliographie récente [S. Poddar et al, Appl. Phys. Lett. 108, (2016)], les coefficients flexoélectriques des films de 3-5  $\mu\text{m}$  d'épaisseur ( $\mu, \approx 45 \text{ nC/m}$ ) sont comparables à ceux obtenus pour le PET et un terpolymère à base de PVDF, mais le polyuréthane est beaucoup plus simple à mettre en forme et à intégrer sur des structures métalliques flexibles, en raison de sa bonne adhésion sur les métaux.

Les résultats de cette étude semblent aussi confirmer la structuration du film de PU en bi-couches, avec une couche supérieure quasi-homogène plus rigide que la couche inférieure plutôt inhomogène. Les mesures de permittivité diélectrique des films de différentes épaisseurs confirment cette tendance (insert en Fig.6) : la constante diélectrique ( $\epsilon_r$ ) diminue avec l'épaisseur du matériau. La conséquence est une forte augmentation du coefficient de couplage flexoélectrique  $F = \mu/\epsilon_r$  (Fig .17)

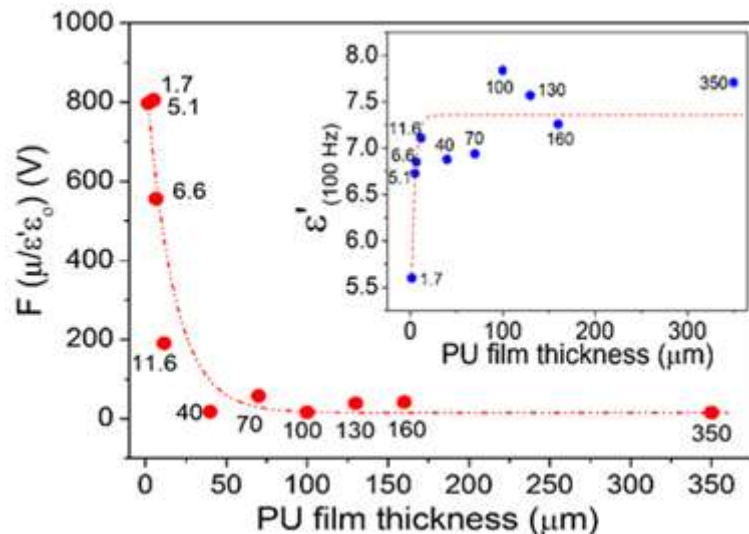


Figure 25. FLEXO Variation du coefficient de couplage flexoélectrique en fonction de l'épaisseur du film de PU. En insert : évolution de la permittivité relative en fonction de l'épaisseur.

#### 3.1.2.2. Publications

- Article dans une revue :

V. I. Merupo, B. Guiffard, R. Seveno, M. Tabellout, and A. Kassiba, Flexoelectric response in soft polyurethane films and their use for large curvature sensing, J. Appl. Phys., 2017, vol. 122, no. 14, p. 144101.

- Conférences:

Electromechanical couplings in soft polymer films for smart microwave antennas and curvature sensors, B. Guiffard, V I. Merupo, R. Seveno, A. Kassiba, S. Baron, S. Arous, N. Barreau and L. Arzel,, Advanced Nanomaterials Conference (ANM 2018), Aveiro, Portugal, July 2018 (présentation orale lors du congrès)

## AAP 2015 – FLEXO : Films polymères flexoélectriques pour capteurs de courbure

---

Potentialities of flexoelectric effect in soft polymer films for electromechanical applications, B. Guiffard, M. Saadeh, P. Frère, R. Seveno, M.El-Gibari, T. Sghaier, V I Merupo, A. Kassiba, Dielectrics, 8-12 April 2019, Manchester, United Kingdom,

### 3.1.2.3. Dissémination

### 3.1.2.4. Equipement et ressourcement

Financement du post-doctorat de Victor MERUPO (1 an).

Achat de consommables (substrats, cibles de pulvérisation pour le dépôt des électrodes,...) et petits matériels pour le banc de mesure flexoélectrique. Prestations externes (séances de microscopie électronique). Participation à une conférence.

