

## **Composites piézoélectriques fonctionnels pour des applications de récupération d'énergie**

### *Functional piezoelectric composites for energy harvesting applications*

**Saber Mahmoudi<sup>1</sup>, Claire-Jean Mistral<sup>1</sup>, Florian Martoia<sup>1</sup>, Yves Béreaux<sup>1</sup>,  
Simon Chesné<sup>1</sup>, Pierre J.J. Dumont<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> : Univ. Lyon, INSA Lyon, CNRS UMR5259, LaMCoS, F-69621, France

e-mail : [saber.mahmoudi@insa-lyon.fr](mailto:saber.mahmoudi@insa-lyon.fr), [claire-jean.mistral@insa-lyon.fr](mailto:claire-jean.mistral@insa-lyon.fr), [florian.martoia@insa-lyon.fr](mailto:florian.martoia@insa-lyon.fr),  
[yves.bereaux@insa-lyon.fr](mailto:yves.bereaux@insa-lyon.fr), [simon.chesne@insa-lyon.fr](mailto:simon.chesne@insa-lyon.fr), [pierre.dumont@insa-lyon.fr](mailto:pierre.dumont@insa-lyon.fr)

Les composites fonctionnels à transduction piézoélectrique sont aujourd'hui développés afin de récupérer l'énergie vibratoire des pièces qu'ils constituent. Les matériaux piézoélectriques utilisés sont généralement de type céramique en raison de leurs très bonnes propriétés électromécaniques. Ces matériaux piézoélectriques peuvent être incorporés dans des patchs [1,2], eux-mêmes collés à la surface des pièces composites, ou dans des plis [3,4] contenus au sein de la structure lamellaire des composites multicouches. Les patchs et les plis se présentent soit sous la forme de blocs monolithiques de céramique piézoélectrique, soit sous la forme d'une structure mince formée par l'agencement parallèle de fibres piézoélectriques longues imprégnées par une matrice polymère. Un des défauts majeurs de ces matériaux piézoélectriques est leur fragilité qui restreint la complexité et la déformabilité des pièces composites obtenues, et rend difficile leur utilisation dans la plupart des procédés de mise en forme des polymères et composites. Afin de pallier ce problème, quelques études ont montré l'intérêt d'incorporer les céramiques piézoélectriques (phase active) sous forme de poudres dans des matrices polymères (phase passive). Cette approche permet ainsi d'envisager la fabrication de pièces à géométrie complexe et aux propriétés mécaniques optimisées en utilisant les procédés classiques de la plasturgie. Elle permet aussi d'optimiser à façon les propriétés piézo-mécaniques des pièces composites en faisant varier par exemple le taux de poudres piézoélectriques [5, 6] ou en contrôlant la distribution spatiale de ces poudres [7, 8]. Les composites obtenus par cette approche présentent encore une gamme de propriétés mécaniques ( $E = 1\text{--}5$  GPa) et piézoélectriques ( $d_{33} = 0\text{--}60$  pC.N<sup>-1</sup>) limitées.

Dans cette étude, afin d'accroître ces propriétés et d'optimiser l'aptitude de ces matériaux composites fonctionnels à la récupération d'énergie, nous avons élaboré des composites composés de trois phases : une matrice polymère (copolymère polypropylène-polyéthylène PEP, Borealis), des charges piézoélectriques (APC 841, American Piezo Ceramics) sous forme pulvérulente et un renfort de fibres courtes (fibres de verre, longueur de 33 mm). Nous avons également mis au point un procédé permettant de contrôler le taux de charges piézoélectriques (taux volumiques de 10, 20, 30 et 40%) ainsi que le taux et l'orientation des fibres de verre (taux volumiques de 5 et 10%) au sein de plaques mises en forme par compression à chaud (épaisseur : 1 mm).

La microstructure des composites ainsi fabriqués a été étudiée par densitométrie, par microscopie électronique à balayage et par microtomographie à rayons X. Leurs propriétés mécaniques quasi-statiques ont été étudiées au moyen d'essais de traction et de flexion munis d'un dispositif de mesures de champs de déformation par stéréo-corrélation d'images. Les propriétés électromécaniques ont été étudiées en réalisant des essais vibratoires forcés sur des éprouvettes métallisées et polarisées (longueur : 60 mm, largeur : 10 mm, conditions de maintien de type encastré-libre). Au cours de ces essais, la tension électrique générée par le composite sollicité à sa première fréquence de résonance a été mesurée.

Les résultats obtenus montrent que les composites élaborés présentent une faible porosité (<3%) et que la poudre et les fibres sont réparties de manière homogène en leur sein. L'ajout de poudres piézoélectriques à la matrice polymère seule ne montre pas d'effets notables sur les propriétés élastiques. En revanche, l'ajout de charges piézoélectriques est associé à une

diminution significative de la déformation à la rupture des éprouvettes. L'ajout de fibres de verre améliore notablement les performances mécaniques de ces composites. En outre, le contrôle de l'orientation des fibres de verre lors de la mise en œuvre permet d'obtenir des matériaux composites dont l'anisotropie mécanique est plus ou moins prononcée. Les premiers essais vibratoires réalisés révèlent que l'énergie électrique récupérée augmente avec le taux de charges piézoélectriques (p. ex. tension de  $\pm 10$  mV pour un taux volumique de 30% de charges piézoélectriques).

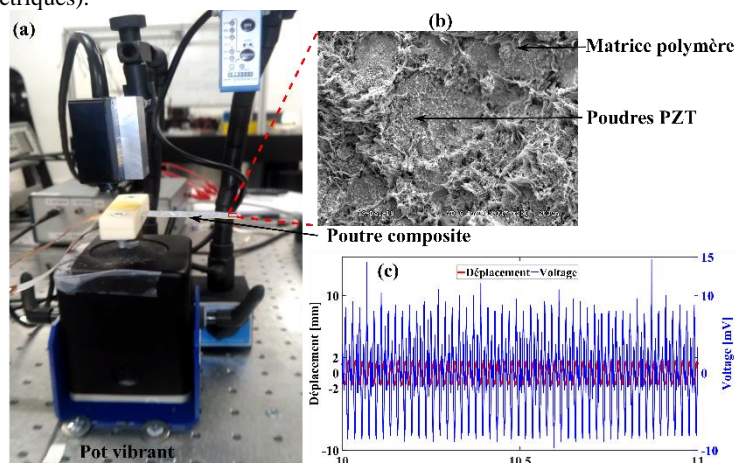


Fig. 1. (a) Poutre composite piézoélectrique fixée sur un pot vibrant, (b) micrographie MEB, (c) déplacement et voltage généré par une poutre composite (taux volumique de charges piézoélectriques (PZT) : 30%, taux volumique de PEP : 70%).

## Références

- [1] N. Wu, Q. Wang, X. Xie, Wind energy harvesting with a piezoelectric harvester, *Smart Materials and Structures*, Vol. 22 n° 9, pp. 095023, 2013.
- [2] S.R. Anton, H.A. Sodano, A Review of Power Harvesting Using Piezoelectric Materials (2003-2006), *Smart Materials and Structures* Vol. 16 n° 3, 2007.
- [3] S. Chesne, C. Jean-Mistral, L. Gaudiller, Experimental identification of smart material coupling effects in composite structures, *Smart Materials and Structures* Vol. 22 n° 7, pp. 075007, 2013.
- [4] Q. Lu, L. Liu, F. Scarpa, J. Leng, Y. Liu, A novel composite multi-layer piezoelectric energy harvester, *Composite Structures*, Vol. 201, pp. 121–130, 2018.
- [5] I. Babu, D.A. Van den Ende, G.D. With, Processing and characterization of piezoelectric 0-3 PZT/LCT/PA composites, *Journal of Physics D: Applied Physics* Vol. 43 n°42, pp. 425402, 2010.
- [6] I. Babu, G.D. With, Enhanced electromechanical properties of piezoelectric thin flexible films, *Composites Science and Technology* Vol. 104, pp 74–80, 2014.
- [7] N.K. James, D.A. Van den Ende, U. Lafont, S. van der Zwaag, S., W.A. Groen, Piezoelectric and mechanical properties of structured PZT–epoxy composites, *Journal of Materials Research* Vol. 28 n°4, pp. 635–641, 2013.
- [8] J. Khaliq, D. Bayle Deutz, J.A.C. Frescas, P. Vollenberg, T. Hoeks, S. van der Zwaag, P. Groen, Effect of the piezoelectric ceramic filler dielectric constant on the piezoelectric properties of PZT–epoxy composites, *Ceramics International* Vol. 43 n°2, pp. 2774–2779, 2017.