

## Etude électromécanique des matériaux piézoélectriques poreux

C.ENNAWAOU, A.HAJAJI, H.LIFI, A. RJAFALLAH, Y.TABBAI, A.AZIM

Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur Pour l'Energie,  
Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'El Jadida,  
Université Chouaib DOUKKALI, Maroc

### Résumé

Le but de ce travail est de modéliser la puissance récupérée par l'utilisation d'un matériau piézoélectrique poreux et montrer l'influence de la porosité sur la puissance récupérée.

L'objectif est de discuter les résultats de la simulation du comportement mécanique polymères poreux et solides, et par la suite d'établir les liens qui existent entre les propriétés mécaniques et les propriétés électriques des matériaux piézo-cellulaires ainsi montrer l'influence de la topologie interne de la structure sur la récupération d'énergie sur la puissance récupérée.

**Mots clefs :** *Matériau piézoélectrique poreux, milieu poreux, puissance récupérée.*

### 1. Introduction

La récupération d'énergie consiste à exploiter les sources présentes dans notre environnement et les convertir à une forme d'énergie verte et exploitable. Les énergies renouvelables comme le solaire et l'éolien sont des sources très importantes de récupération d'énergie, mais à plus grandes échelle. Les avancées dans le domaine des nanotechnologies permettent notamment de créer des systèmes miniatures et très sensibles pour récupérer de faibles sources d'énergie mais suffisantes pour faire fonctionner de petits capteurs sans-fil [1]. La récupération d'énergie à partir de ces sources peut être exécutée à travers de nombreuses méthodes, telles que l'induction électromagnétique, la génération électrostatique [2], les matériaux électrostrictifs [3] et par matériaux piézoélectriques [4].

Les polymères piézoélectriques [5] sont des polymères dont la forme ou la taille changent lorsqu'ils sont stimulés par un champ électrique ou l'inverse. L'utilisation principale de ce type de matériau est la fabrication d'actionneurs et de capteurs. Une propriété intéressante des polymères piézoélectriques est qu'ils sont capables de fonctionner dans une plage importante de la déformation avec une flexibilité mécanique intéressante. La plus grande partie des actionneurs actuels [6] est fabriquée à partir de l'une des familles des polymères piézoélectriques. Ces matériaux sont capables de convertir des forces élevées à un courant électrique c'est pour cela les chercheurs dans la récupération d'énergie utilisent ce type de matériau pour l'alimentation des systèmes miniatures et pour objectif de les rendre énergétiquement autonomes.

### 2. Présentation des matériaux

Les tableaux 1 et 2 montrent les caractéristiques des films qu'on peut les utiliser dans la maquette, ce type de matériau est commercialisé par l'entreprise Emfit Ltd (Vaajakoski, Finland) spécialisée dans le domaine de développement des capteurs à base des polymères piézoélectriques surtout le polypropylène [7] et PVDF [8,9].

Propriétés	Symbole	Valeur	Unité
Coefficient piézoélectrique	$d_{33}$	170	pC/N
Module de Young	Y	$10^{10}$	N/m <sup>2</sup>
Permittivité	$\epsilon_{33}$	10	pF/m
Range dynamique	P	$<10^{10}$	N/m <sup>2</sup>

Tableau 1 : Propriétés électromécaniques du polypropylène piézo-cellulaire

Propriétés	Symbole	Valeur	Unité
Coefficient piézoélectrique	$d_{33}$	33	pC/N
Module de Young	Y	$2.10^{09}$	N/m <sup>2</sup>
Permittivité	$\epsilon_{33}$	106	pF/m
Range dynamique	P	$5.10^{09}$	N/m <sup>2</sup>

Tableau 2 : Propriétés électromécaniques du PVDF

### 3. Simulation de comportement mécanique des matériaux en mode 33

L'objectif principal de cette partie est de voir l'impact de l'application d'une contrainte et déterminer les avantages et les inconvénients de l'utilisation des deux matériaux.

Sur une image 3D, il est difficile d'analyser la contrainte de Von Mises en mousse à cellules fermées. Les observations sont présentées sous forme d'images 2D numériquement extraites des images 3D. La contrainte de Von Mises est clairement observée dans les deux matériaux.

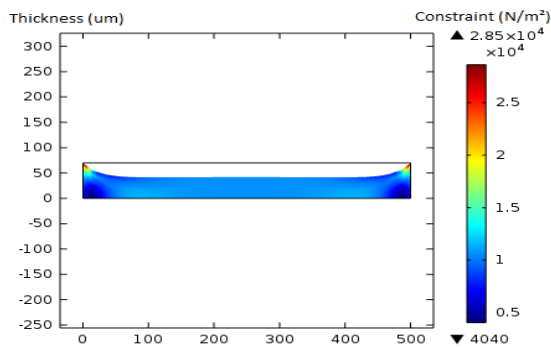


Figure 1: Simulation de comportement mécanique de PVDF en mode 33 (Compression axiale)

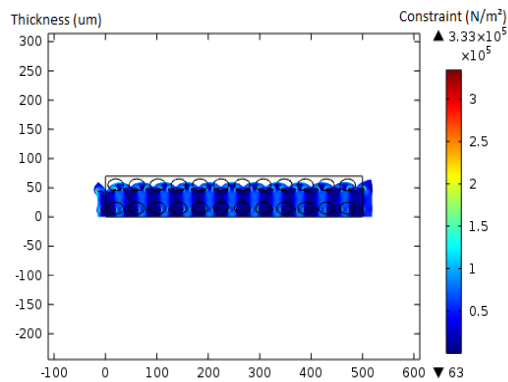


Figure 2 : Simulation de comportement mécanique de PP poreux en mode 33 (Compression axiale)

Après l'analyse des propriétés des deux familles des polymères piézoélectriques, on remarque que le module de Young de PVDF est supérieur au module de Young du matériau piézo-cellulaire qui est dû à la nature de la morphologie interne de chaque matériau ( $Y_{PVDF} \gg Y_{PP}$ ).

La structure poreuse des films piézo-cellulaires cause une diminution au niveau de son module de Young parce que chaque cellule est considérée comme un défaut de la structure (fissure). Même pour le PP solide et le PP poreux, il y a une grande différence au niveau de la réaction du matériau soumis à une force mécanique ( $Y_{PP} = 1.11^{09}$  Pa). La densité massique du PVDF est beaucoup plus grande que celle du matériau piézo-cellulaire  $d_{PVDF} \gg d_{PP}$  la densité massique de PP est relative au pourcentage de la porosité au sein du polymère, ce qui signifie une optimisation au niveau de la matière pour le matériau poreux.

Pour le comportement du matériau cellulaire dans le domaine élastique, ce matériau admet une raideur élevée relative à son module de Young. Dans cette phase la déformation et la contrainte ont une relation linéaire entre eux et le matériau garde ses propriétés initiales, au niveau microscopique, on remarque qu'il y a une déformation des frontières mais sans changement des dimensions de la cellule. Le matériau garde sa réversibilité.

Pour le PVDF, on remarque le même comportement mécanique que celle du matériau piézo-cellulaire mais avec une raideur plus élevée, ce qui implique que le PVDF est plus dur que le PP poreux. La flexibilité du matériau cellulaire lui donne une longue gamme d'utilisation dans des applications qui nécessite une

faible puissance mais avec un comportement mécanique optimisé. Pour la même force appliquée sur les des films; le film piézo-cellulaire génère une contrainte plus grande que celle générée par le PVDF donc le matériau cellulaire absorbe une quantité d'énergie beaucoup plus importante que celle absorbée par le PVDF ce qui implique que pour la même quantité d'énergie le PP produit un moindre pic de contrainte.

Les résultats de la simulation montrent que dans le milieu poreux la déformation élémentaire est plus grande que celui dans un milieu solide ; Le matériau poreux présente le meilleur compromis entre les caractéristiques mécaniques et l'effet piézoélectrique.

La comparaison des résultats entre les deux structures permet d'observer l'influence de la complexité interne du film sur les propriétés piézoélectriques du matériau.

La concentration de contraintes pose souvent un vrai problème dans la conception d'un composant ou d'un film de polymère, mais dans le cas d'un polymère à structure poreuse le problème est résolu grâce à une répartition correcte des contraintes dans le film.

#### 4. Puissance récupérée par les matériaux piézoélectriques:

Après avoir calculer la puissance mécanique absorbée et déterminer la limite de l'utilisation des deux matériaux. Cette partie est consacrée pour la simulation de la puissance récupérée par un modèle développé en mode 33.

La densité de puissance représentée est en fonction de la résistance de charge  $R$ , calculé à des fréquences différentes pour le polypropylène piézo-cellulaire et le PVDF. La densité de puissance récupérée a été calculée à partir de la relation  $P = R.I^2$  et les relations fondamentales de l'effet piézo-électrique, qui a été démontré dans le travail de C.ENNAWAOUÏ et al [9].

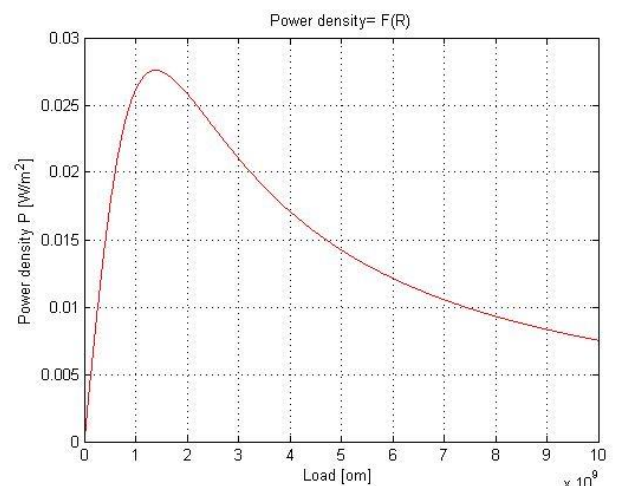


Figure 3 : La puissance récupérée par les PP poreux en mode 33

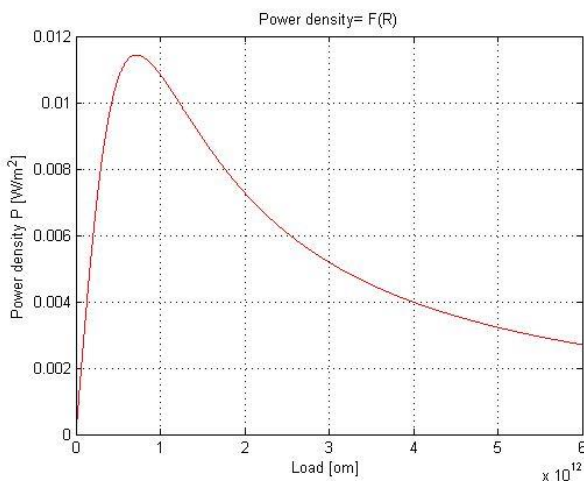


Figure 4 : La puissance récupérée par les PVDF en mode 33

Les résultats (fig12 et fig13) montrent que le matériau piézo-cellulaire et le PVDF capables d'alimenter des systèmes miniatures comme les capteurs et les carte électroniques en mode 33.

## Conclusion

Dans ce travail, l'objectif est de faire une comparaison des performances en termes de conversion de l'énergie pour deux matériaux piézoélectriques, ainsi une étude mécanique été faite. Nous allons donc consacrer l'étude prochaine par l'amélioration de couplage électromécanique des matériaux piézo-cellulaires, la réalisation d'un système pour la récupération d'énergie.

## Références

- [1] D.Jaaha, C.Putsona, N.Muensita. Enhanced strain response and energy harvesting capabilities of electrostrictive polyurethane composites filled with conducting polyaniline. *Composites Science and Technology* Volume 122, Pages 97–103 (2016).
- [2] Zhang, F. et al. Flexible and self-powered temperature–pressure dual-parameter sensors using microstructure-frame-supported organic thermoelectric materials. *Nature Communications*. 6:8356 doi: 10.1038/ncomms9356 (2015).
- [3] F.Z.El Fatnani, D.Guyomar, M.Mazroui, F.Belhora, Y.Boughaleb. Optimization and improvement of thermal energy harvesting by using pyroelectric materials. *Optical Materials* Volume 56, Pages 22–26 (2016).
- [4] F.Belhora, A.Hajjaji, M.Mazroui, F.Z.El Fatnani, A.Rjafallah and D.Guyomar. Energy harvesting using hybridization of dielectric nanocomposites and electrets. *Polym. Adv. Technol.* 5 John Wiley & Sons, Ltd (2015).
- [5] A.Chérif, M.Meddad, S.Belkhiat · C.Richard · D.Guyomar, A.Eddiai and A.Hajjaji. Improvement of piezoelectric transformer performances using SSHI and SSHI-max methods. *Opt Quant Electron* SPRINGER DOI 10.1007/s11082-013-9712-2 (2013).
- [6] R. Ly, M. Rguiti, S. D'Astorg, A. Hajjaji, C. Courtois, A. Leriche, Modeling and characterization of piezoelectric cantilever bending sensor for energy harvesting, *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 168, Issue 1, pp. 95-100. (2011).
- [7] A. Qaiss, H. Saidi, O. Fassi-Fehri, M. Bousmina. Theoretical Modeling and Experiments on the Piezoelectric Coefficient in Cellular Polymer Films. *Polymer Engineering and Science* Volume 53, Issue 1, pages 105–111 (2013).
- [8] S.Rajala and J.Lekkala .PVDF and EMFisensormaterials – A comparative study. *ProcediaEngineering* 5, p 862–865 (2010).
- [9] C.Ennawaoui, A.Hajjaji, A.Azim, and Y. Boughaleb Theoretical modeling of power harvested by piezo-cellular polymers. *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 628(1):pp.49-54 (2016).