

# Expérimentation d'un Coussin Récupérateur de Micro-Energie Ambiante Mécano-Electrique

S. CARRAS<sup>a</sup>, B. AGNUS<sup>b</sup>, B. RAVELO<sup>c</sup>, B. NSOM<sup>d</sup>

a. FILIX SAS, Rue Saint-Aventin, F-10150 Creney-prés-Troyes, France

email : stephane.carras@filix.fr

b. SCIENTEAMA, 27 Rue Glerriens, F-14610 Villons Les Buissons, France

email : agnusbenoit@yahoo.fr

c. Normandie Université, UNIROUEN, ESIGELEC, IRSEEM EA 4353, BP 10024,  
F-76000 Rouen, France

email : ravelo@esigelec.fr

d. Université de Bretagne Occidentale. IRDL/UBO UMR CNRS 6027.

Rue de Kergoat. F-29238 BREST, France

email : blaise.nsom@univ-brest.fr

## Résumé :

*Cet article présente une étude de faisabilité de récupération de micro-énergie ambiante mécanique par pression en énergie électrique. Cette transduction d'énergie mécanoélectrique sera effectuée à base d'un coussin intégrant un piézo-électrique. Le principe de la transduction des micro-énergies ambiantes est systématique décrit. Pour illustrer la faisabilité du concept, une preuve de concept à base des structures textiles fournies par la société FILIX® a été réalisée. Comme convenu, une tension électrique d'amplitude allant jusqu'à centaines de millivolt a été obtenue. Le présent concept sera exploité dans le futur pour le développement des dispositifs chargeurs des objets communicants. Plusieurs applications sont en cours d'étude dans le domaine de l'automobile, aéronautique, spatiale, ferroviaire et ainsi qu'en logistique.*

## Abstract :

*This article presents a feasibility study of mechanical ambient micro-energy harvesting from mechanical energy pressure. This mecanolectric energy transduction will be performed based on a textile-based pillow incorporating a piezoelectric. The principle of the micro-energy transduction is described based on a systematic approach. To illustrate the feasibility of the concept, a proof of concept based on the textile structures provided by the company FILIX® has been realized. As agreed, an electrical voltage of amplitude up to hundreds of millivolts was obtained. The present concept will be exploited in the future for the development of charging devices for communicating objects. Several applications are currently being under study in the automotive, aerospace, space, rail and logistics sectors.*

## **Mots clefs : Récupérateur de micro-énergie, piézo-électrique, analyse mécano-électrique, structure textile, preuve de concept, énergie ambiante**

### **1 Introduction**

Pour répondre aux besoins des habitants, des nouvelles générations de moyen de transport (trains, tramways, voitures, avions ...) intelligent paraissent incontournables dans toutes les grandes villes et mégapoles. Cette fonction intelligente nécessite implicitement l'implémentation des objets continuellement connectés. Pour assurer connexions permanentes, une nouvelle génération de système d'alimentation électrique devrait être développée. Face à ce défi technique, des dispositifs de récupération de micro-énergie ambiante ont été proposés. Parmi les récupérateurs de micro-énergie ambiante, les dispositifs à base des piézoélectriques effectuant des transductions d'énergie mécanique en énergie électrique sont actuellement les plus utilisés.

Avec l'émergence des dispositifs portables connectés, le développement des transducteurs mécanoélectriques notamment à base de l'énergie mécanique du mouvement du corps humain constitue une solution prometteuse [1-3]. La technologie de récupération d'énergie biomécanique est en train de révolutionner la médecine connectée par exemple via la récupération de l'énergie des organes des animaux [4-5]. Récemment, l'entreprise Bionic-Power® a mis au point un produit innovant nommé PowerWalk® basé sur la récupération de contact de pied en contact du sol [6].

Dans cette optique, le présent article a pour objectif d'initier la faisabilité de conception des dispositifs textiles récupérateurs de micro-énergie mécanique à base de piézoélectrique. Des récentes études ont mis en évidence la possibilité de réaliser des actionneurs à base des microfibres composites piézoélectriques [7], des réseaux de composite intégrant des piézoélectriques [8], des nanogénérateurs utilisant des nanofibres PZT [9] et d'un générateur triboélectrique à base de biopolymère [10]. Des prototypes des dispositifs textiles renforcés par des structures thermoplastiques et intégrant des capteurs PZT ont également été développés [12-13]. En 2014, une équipe de recherche de l'université de Bolton a mis au point une preuve de concept laboratoire des fils piézoélectriques tissés 3D permettant de récupérer de la micro-énergie mécanique. Ces potentiels de conception et de réalisation des structures textiles récupérateurs d'énergie nous ont motivés à développer des solutions innovantes face aux besoins d'autoalimentation des dispositifs connectés des moyens de transport des grandes villes en imaginant des « Chaises et Fauteuils Récupérateurs de Micro-Energie (CFRME) des passagers assis ».

Moyennant les produits textiles de la société FILIX® [14] basée en Normandie, une nouvelle solution de récupérateur de micro-énergie mécanique des chaises et des fauteuils est en train de se développer dans le cadre du projet régional FIL HARMONIQUE. Le présent article décrit brièvement la preuve de concept de CFRME en fabriquant un coussin récupérateur de l'énergie générée par la pression mécanique.

Pour une meilleure compréhension, cet article est principalement divisé en quatre grandes sections. La section 2 introduit le principe de fonctionnement du coussin récupérateur d'énergie mécanique. La section 3 présente le démonstrateur à base des produits textiles de FILIX®. La section 4 offre une analyse théorique de gisement analytique avec une application numérique empirique idéale d'un cas de CFRMA. Enfin, la section 5 synthétise l'article par une conclusion.

## 2 Principe du coussin récupérateur d'énergie par pression mécanique

Comme introduit dans la section précédente, l'objectif de cette étude est de réaliser une étude de faisabilité empirique du récupérateur de micro-énergie d'un coussin piézoélectrique.

### 2.1 Scénario illustratif de CFRME

La figure 1 illustre le contexte applicatif du principe CFRME. Ce principe consiste à considérer un passager assoyant sur un fauteuil en exerçant une pression mécanique représentée par  $\vec{F}(t)$  en fonction du temps  $t$ . L'énergie mécanique exercée à la chaise peut être convertie en énergie électrique en considérant un coussin récupérateur de micro-énergie.

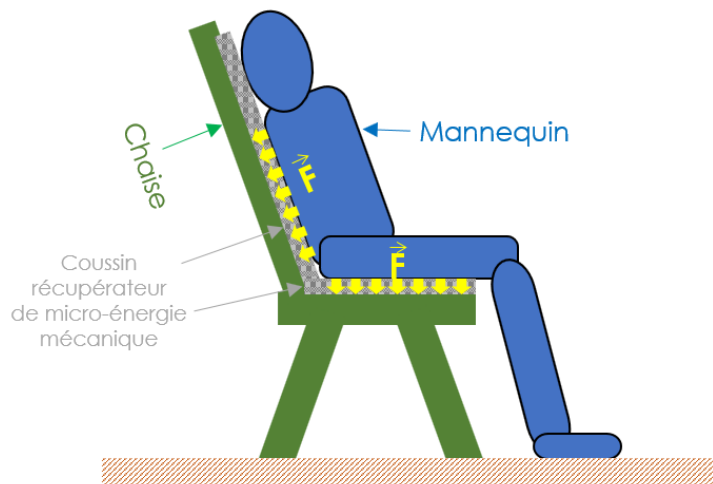


Figure 1 : Illustration du principe de CFRME.

### 2.2 Rappel de principe analytique du piézoélectrique

Pour analyser théoriquement les dispositifs piézoélectriques, le principe de Hamilton constitue un outil puissant de résolution des problèmes mécaniques [15]. Ce principe permet de transformer analytiquement un système physique en résolution de problème variationnel en fonction de la variable temps  $t$ . En considérant un système variationnel temporel d'un instant  $t_1$  vers un instant  $t_2$ , l'exploitation du principe de Hamilton modifié conduira à la relation intégral-différentielle [15] :

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} [E_c(t) - E_p(t) + E_e(t)] dt + \int_{t_1}^{t_2} \delta E(t) dt = 0 \quad (1)$$

avec :

- Le paramètre  $E$  représente le travail d'une force externe ;
- Le paramètre  $E_c$  représente l'énergie cinétique ;
- Le paramètre  $E_p$  représente l'énergie potentielle ;
- Le paramètre  $E_e$  c'est l'énergie électrique.

Grâce à cette relation, des modèles mathématiques permettant d'illustrer la transduction de la force mécanique en tension électrique ont été développés [1-13].

## 2.3 Concept du coussin récupérateur d'énergie mécanique

Le concept du coussin récupérateur est basé sur le contexte du CFRME défini précédemment en Figure 1. L'approche systémique de ce concept est illustrée par le diagramme de la figure 2. Sur le plan fonctionnel, le coussin est essentiellement constitué de trois blocs :

- Le bloc d'entrée représente la pression mécanique exercée sur le coussin. L'énergie mécanique associée à ce bloc dépend de la valeur de la force  $\vec{F}(t)$  et de la surface de contact.
- Le bloc de sortie représente la grandeur électrique convertie via l'effet piézo. Les paramètres principaux pour évaluer cette énergie électrique sont la tension électrique, le courant et la puissance active associée.
- Et le bloc de transduction, il correspond au transducteur mécano-électrique. Ce bloc peut être exprimé analytiquement avec une fonction de transfert intégrant les caractéristiques du piézoélectrique.



Figure 2 : Diagramme systémique du principe CFRME proposé.

Pour une compréhension concrète de ce principe CFRME, une analyse expérimentale sera discutée dans la prochaine section.

## 3 Analyse expérimentale

Le présent coussin est essentiellement fabriqué avec des matériaux 100% textiles fournis par l'entreprise FILIX® [15]. La figure 3 présente une photo de quelques bobines de fil disponible pour le projet FIL HARMONIQUE. Dans la présente étude, nous avons utilisé un fil complètement textile conducteur de diamètre 0.5 mm pour assurer les liaisons électriques.



Figure 3 : Bobines de fil de FILIX®.

### 3.1 Description de la preuve de concept du coussin récupérateur de micro-énergie mécanique

Notre preuve de concept du coussin récupérateur a été fabriqué d'une manière artisanale pour démontrer la conversion d'énergie mécanoélectrique. La figure 4 montre la photo du prototype. Ce démonstrateur est principalement composé :

- D'une pastille circulaire de piézoélectrique flexible fourni commercialement de référence AB4113B/668-1017-ND. Il présente un diamètre de 4.1 cm et d'épaisseur 1 mm. Il intègre un buzzer de fréquence 1.3 kHz.
- Des fils conducteurs assurant la liaison entre l'ensemble des composants du circuit électrique constitué par le piézo sous pression mécanique.
- D'une mousse en coton, il sert à protéger le piézoélectrique et à bien maintenir son intégration dans le coussin.
- Et d'une housse de tissus textile pour emballer l'ensemble.



Figure 4 : Photo du coussin récupérateur.

### 3.2 Résultat expérimental

Des simples tests expérimentaux sous une condition d'application en environnement réel ont été réalisés pour illustrer la possibilité de conversion d'énergie mécanoélectrique. Le schéma expérimental est composé du coussin relié à un voltmètre comme l'explique la figure 5. On peut ainsi visualiser en temps réel la tension électrique générée par le piézoélectrique lorsqu'on lui exerce une pression mécanique. En figure 5(a), aucune force n'est appliquée au piézo.

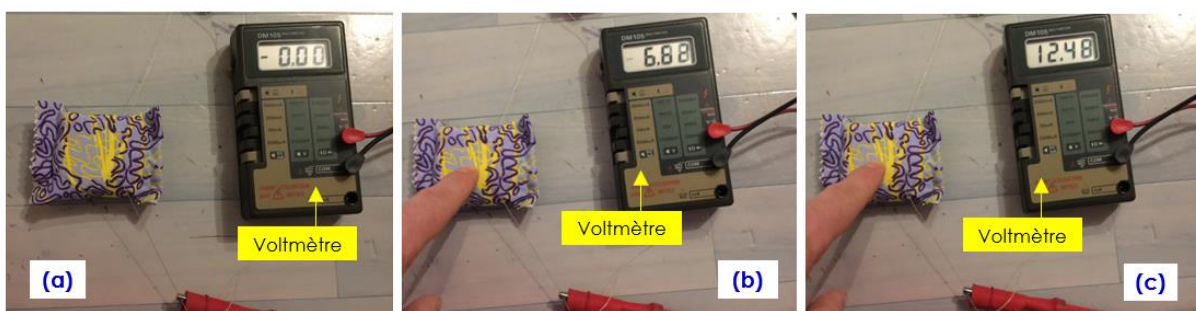


Figure 5 : Photo des tests du coussin récupérateur : (a) repos, (b) and (c) sous pression d'un doigt.

Comme illustré par les figures 5(b) et 5(c), le test consiste à presser le coussin par la main et noter la variation instantanée de la tension électrique. La figure 5(b) nous montre une tension d'environ  $U=12.5$  mV pour une simple pression de l'index. Pour un multimètre d'impédance d'entrée  $R=1$  M $\Omega$ . On génère ainsi une puissance électrique moyenne générée d'environ :

$$P_e = \frac{U^2}{R} \approx 156 \text{ pW} \quad (2)$$

Etant donnée cette puissance moyenne, une analyse rapide de gisement énergétique est proposée dans la section suivante.

## 4 Analyse de gisement énergétique avec estimation du niveau d'énergie électrique générée

Cette analyse de gisement énergétique est appliquée à un cas idéal où la pression est uniforme sur l'ensemble de la surface et exercée de la même manière pendant la durée de l'expérience.

### 4.1 Approche théorique de gisement énergétique

Sous une même condition qu'en figure 5(b), nous pourrions envisager une analyse empirique sur l'énergie moyenne récoltée avec un fauteuil de surface :

$$S > 4S_p = 4\pi r^2 \quad (3)$$

Dans ce cas, on aura alors une possibilité d'assembler plusieurs ou  $n_p$  piézoélectriques identiques placés en une couche de telle sorte que leurs sorties d'énergie électrique se rajoutent :

$$E_{moy}(n_p) = \sum_{k=0}^{k=n_p} E_k = n_p E_e \quad (4)$$

Par exemple, en disposant d'un fauteuil intégrant le principe CFRME de la figure 1 ayant une surface carrée  $S$ , on estime pouvoir placer un nombre maximum de piézo :

$$n_p = \left[ Ent \left( \frac{\sqrt{S}}{2r} \right) \right]^2 \quad (5)$$

où  $Ent(x)$  exprime la partie entière supérieure du nombre réel  $x$ . Par conséquent, le niveau d'énergie moyenne correspondante est de :

$$E_{moy}(S) \cong \frac{U^2}{R} \left[ Ent \left( \frac{\sqrt{S}}{2r} \right) \right]^2 \quad (6)$$

### 4.2 Estimation empirique du niveau d'énergie moyenne récoltée sur une surface équivalente de $S=1 \text{ m}^2$

Pour cette application numérique, on considère que 625 échantillons identiques du piézo testé dans le paragraphe 3.2 sont placés une surface carrée  $S=1 \text{ m}^2$ . Puis, on calcule l'énergie moyenne générée à partir de l'expression (6). Les figures 3(a) et 3(b) représentent respectivement les tracés du niveau de cette énergie électrique en échelle linéaire et log-log pour un coussin exerçant une pression durant jusqu'à 1 h.

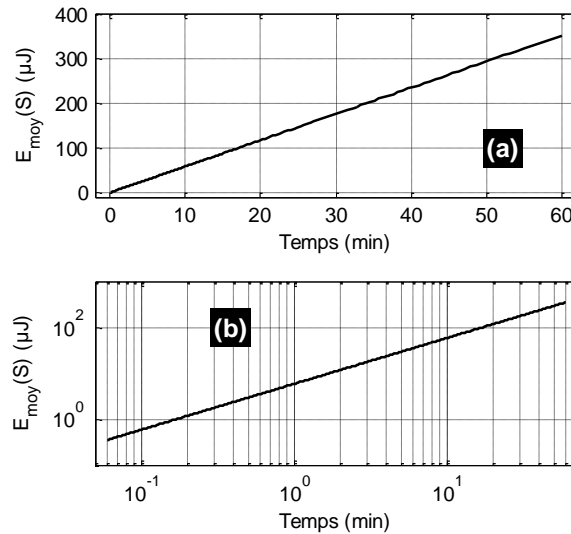


Figure 6 : Estimation de l'énergie électrique du piézo dans la condition de test de la figure 5(b).

Cette figure explique que pendant 1 h, cette condition de test permet au piézo de récolter de l'énergie électrique moyenne jusqu'à environ  $E_{emoy}=350 \mu J$ . Mais dans le futur, ce niveau d'énergie pourra être facilement amélioré avec un piézo à meilleur rendement sous un meilleur protocole de test.

## 5 Conclusion et perspective

Une étude de faisabilité d'un coussin récupérateur de micro-énergie mécanique et convertir en énergie électrique est présentée. Ce coussin intègre d'un piézoélectrique capteur d'énergie mécanique et fabriqué à base des matériaux fabriqués par la société FILIX® [14]. Un prototype a été fabriqué comme preuve de concept. Des résultats des tests expérimentaux ont confirmés la faisabilité de conversion de l'énergie par pression.

En perspective, cette étude ouvre certains champs de perspective d'applications du principe CFRME par exemple pour assurer l'alimentation des dispositifs électroniques connectés des moyens de transport ferroviaire, aéronautique, automobiles et logistique du futur.

## Remerciement

Ce travail de recherche est supporté par la région Normandie via le projet n°18E00151 2017-2019 intitulé "FIL HARMONIQUE".

## Références

- [1] R. Riemer, A. Shapiro, Biomechanical energy harvesting from human motion: theory, state of the art, design guidelines, and future directions, *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 8, no. 22 (2011) 1-13
- [2] G. Bassani, A. Filippeschi, E. Ruffaldi, Human motion energy harvesting using a piezoelectric MFC patch, *Proceedings of 2015 37th Annual Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Milan, Italy, 25-29 Aug. 2015, pp. 5070-5073
- [3] Y.-M. Choi, M. G. Lee, Y. Jeon, Wearable biomechanical energy harvesting technologies, *Energies*, vol. 2017, no. 10, 1-17

- [4] C. Dagdeviren, B. D. Yang, Y. Su, P. L. Tran, P. Joe, E. Anderson, J. Xia, V. Doraiswamy, B. Dehdashti, X. Feng, B. Lu, R. Poston, Z. Khalpey, R. Ghaffari, Y. Huang, M. J. Slepian, J. A. Rogers, Conformal piezoelectric energy harvesting and storage from motions of the heart, lung, and diaphragm, *Proc. of the National Academy of Sciences (PNAS)*, vol. 111, no. 5 (2014) 1927-1932
- [5] M. Zaffagni, Les pacemakers bientôt rechargés par les battements du cœur ?, *Futura-Sciences*, 2019, <https://www.futura-sciences.com/sante/actualites/medecine-pacemakers-bientot-recharges-battements-coeur-42375/#xtor=EPR-17-%5BQUOTIDIENNE%5D-20190212-%5BACTU-Les-pacemakers-bientot-recharges-par-les-battements-du-coeur--%5D>
- [6] PowerWalk®, Accès 2019, <http://www.bionic-power.com/>
- [7] T. D. Usher, K.R. Ulibarri, G. S. Camargo, Piezoelectric microfiber composite actuators for morphing wings, *Hindawi, Materials Science*, Vol. 2013, no.189659, 1-8
- [8] A. Kunadt, G. Pfeifer, W.-J. Fischer, Ultrasound flow sensor based on arrays of piezoelectric transducers integrated in a composite, *Procedia Materials Science*, vol. 2 (2013) 160-165
- [9] X. Chen, S. Xu, N. Yao, Y. Shi, 1.6 V Nanogenerator for mechanical energy harvesting using PZT nanofibers, *Nano Lett.*, vol. 10, no. 6 (2010) 2133-2137
- [10] L. Valentini, M. Cardinali, J. Kenny, Flexible triboelectric generator and pressure sensor based on poly[(R)-3-hydroxybutyric acid] biopolymer, *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, vol. 52, no. 13 (2014) 859-863
- [11] W. Hufenbach, F. Adama, W.-J. Fischerb, A. Kunadtb, D. Wecka, Effect of integrated sensor networks on the mechanical behaviour of textile-reinforced thermoplastics, *Procedia Materials Science*, vol. 2 (2013) 153-159
- [12] W. A. Hufenbach, P. Kostka, B. Maron, D. Weck, J. Ehlig, M. Gude, M. Zschoyge, Development and investigation of a textile-reinforced thermoplastic leaf spring with integrated sensor networks, *Procedia Materials Science*, vol. 2 (2013) 173-180
- [13] P. Buckley, "Woven piezoelectric yarns lead to 3D textile energy harvester," 2014, Accès 2019, Available online: <http://www.eenewseurope.com/news/woven-piezoelectric-yarns-lead-3d-textile-energy-harvester>, Accessed Sept. 2018
- [14] FILIX SAS®, Accès 2019, <http://www.filix.fr/index.php>
- [15] N. Hagood, W. Chung, A. V. Flotow, Modelling of piezoelectric actuator dynamics for active structural control, *J. Intel. Mat. Syst. Str.*, vol. 1, no. 3 (1990) 327-354