

Sujet projet TREMPLIN Recherche ESIEE Paris
2022/23

Dispositifs triboélectriques biodégradables Application à la récupération d'énergie mécanique et la santé

Encadrants : Philippe Basset (philippe.basset@esiee.fr - bureau 6354)
Armine Karami (armine.karami@univ-eiffel.fr - bât. Copernic)
Laboratoire ESYCOM
UMR 9007 (Univ Gustave Eiffel/CNRS/CNAM)

Résumé

Ce projet consiste à étudier, modéliser et fabriquer des dispositifs à transduction triboélectrique (ou TENG pour *Tribo Electric Nano Generator*) utilisant des matériaux naturels biodégradables comme le papier de cellulose. Cette technologie a la particularité de permettre la fabrication de capteurs électromécaniques auto-alimentés, voir de générer suffisamment d'énergie électrique à partir d'un contact mécanique pour alimenter un capteur "classique". Grâce à la possibilité de réaliser des dispositifs sur des substrats entièrement souples, les champs d'applications visés par ce projet sont les systèmes dits "seconde peau" pour le monitoring de données biologiques sur le corps humain, les vêtements intelligents, les systèmes de captation des particules fines ou encore la sécurité routière.

1 Présentation générale du sujet

Afin de limiter, voir remplacer les batteries dans les capteurs communicants, plusieurs approches sont envisagées dont la récupération de l'énergie mécanique induite par le possible mouvement du capteur ou d'un objet avoisinant. L'intérêt majeur est de ne plus avoir à se soucier de la charge de la batterie alimentant le système.

La transduction électrostatique par effet triboélectrique est une des techniques possibles pour la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique. Celle-ci a notamment l'avantage d'être parfaitement adaptée aux dispositifs souples et planaires [FTW12]. Les approches classiques basées sur la transduction électromagnétique ou piézoélectrique s'appuient sur des matériaux particulièrement polluants. Dans ce projet nous nous intéressons à la transduction électrostatique par effet triboélectrique à partir d'un matériaux naturel : la cellulose. Les figures 1, 2 et 3 montrent trois exemples d'applications qui pourront être adressées dans ce projet.

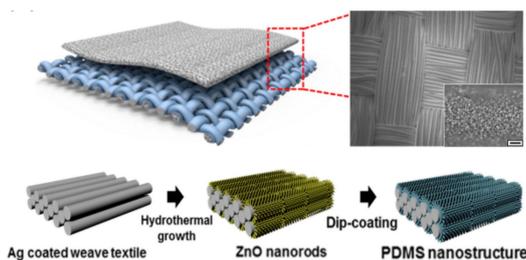


Figure 1 – Exemple de textile triboélectrique pour la récupération d'énergie [SGL15]



Figure 2 – Exemple d'un récupérateur d'énergie "double peau" triboélectrique [PLC17]

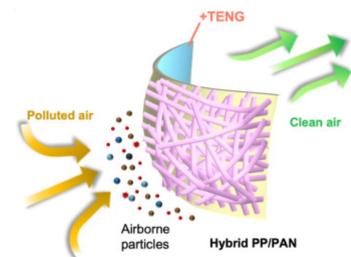


Figure 3 – Principe d'un masque triboélectrique pour la captation des particules fines [WBL21]

2 Principe de la transduction triboélectrique

Lors de la mise en contact de 2 matériaux incluant au moins un diélectrique, il peut se produire un transfert de charges (semi)permanent dans le diélectrique. Ce transfert varie en fonction des matériaux choisis et des modifications qu'ils pourront avoir subit en surface à l'échelle microscopique. Une fois chargé, le diélectrique génère un champ électrostatique permanent qui permet de polariser une capacité variant sous l'effet d'une force mécanique externe. C'est la combinaison de cette polarisation par contact et de la variation de capacité qui est à l'origine de la conversion d'énergie mécanique en énergie électrique [BBG16]. Cette dernière permet alors d'alimenter différents types de capteurs qui peuvent ainsi se passer d'une batterie pour leur fonctionnement. La figure 4 montre le principe général d'un transducteur fonctionnant par friction latérale, et la figure 5 montre un exemple de signaux électriques obtenus à partir d'un générateur triboélectrique conçu à ESYCOM/ESIEE.

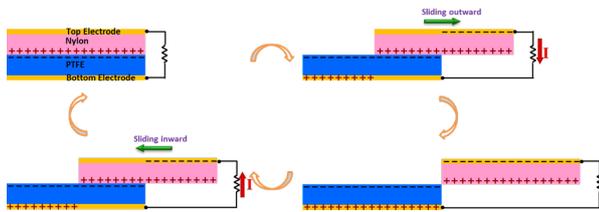


Figure 4 – Principe d’un générateur triboélectrique (TENG) fonctionnant en mode friction. Lors de leurs mise en contact, la couche de nylon se charge positivement et la couche de téflon (PTFE) se charge négativement. Lors du déplacement de l’électrode mobile, le ré-équilibrage des charges associé à la variation de la capacité du dispositif induit un courant dans le circuit extérieur [FTW12].

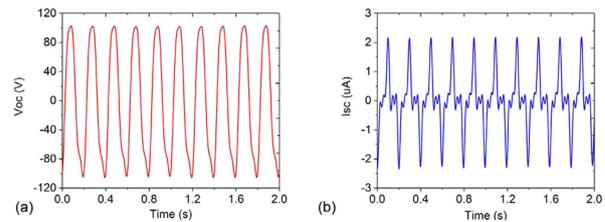


Figure 5 – Exemple de signaux électriques obtenus à l’ESIEE suite à la mise en contacts répétés d’une mousse conductrice et d’un film de téflon [ZLG18].

3 Objectifs du projet

Pendant la première partie du projet se déroulant à l’ESIEE, l’étudiant réalisera un dispositif innovant à partir de papier filtre cellulosique (CFP) provenant de la Mid Sweden University, avec pour objectifs :

- de tester certaines limites physiques du CFP (comme sa tenue maximale en tension en fonction de son épaisseur, par exemple) afin de fournir un modèle du dispositif utilisable dans des simulations électroniques de type Spice,
- de réaliser et tester un prototype incluant un système simplifié de management de la puissance fournie.

Il pourra s’appuyer sur les travaux précédents de l’équipe et sur les travaux en cours [HGL18] [ZLG18] [ZMX20]. Pour ce faire il faudra :

- effectuer une caractérisation fine du transducteur afin de déterminer ses paramètres clés,
- développer un modèle électrique et comparer par simulation plusieurs circuits de conditionnement électrique simples à base de diodes et de capacités,
- tester le système complet dans un montage faisant appel, pour gérer les hautes-tensions, à des interrupteurs à micro-plasma réalisés en technologie MEMS silicium dans les salles blanches d’ESIEE Paris.

Lors du stage à l’étranger, l’étudiant participera à la conception, la fabrication et le test des futurs dispositifs de l’organisme d’accueil.

4 Possibles partenariats internationaux

3 partenariats/destinations sont possibles pour le stage de fin d’année, en fonction des préférences de l’étudiant, avec une équipe coréenne, italienne ou suédoise.

4.1 Collaboration avec le *Nano Energy, Sci. & Eng. Lab.* (NESEL) de la *Sungkyunkwan University* (SKKU), à Suwon (banlieue de Séoul), Corée du Sud

Ce groupe est pionnier dans le domaine des récupérateurs d’énergie triboélectriques, avec une récente orientation vers les applications santé. Notre collaboration s’inscrit dans le cadre d’un programme sur 5 ans soutenu par le CNRS grâce auquel un complément de financement sera possible pour couvrir l’intégralité des frais du stage.

4.2 Collaboration avec l’*Institute of Microelectronic and Microsystems* (IMM) du *National Council of Research* italien (CNR, équivalent du CNRS), à Milan, Italie

Ce groupe est spécialisé dans la fabrication de nouveaux capteurs faisant appel aux micro et nano technologies. Notre partenaire s’intéresse, entre autre, aux effets bénéfiques du graphène dans les récupérateurs d’énergie à transduction triboélectrique sur substrat souple, notamment pour la réalisation de patches applicables directement sur le corps. *Une étudiante E4 est partie en stage dans ce groupe dans le cadre du programme Tremplin Recherche 2021/22.*

4.3 Collaboration avec la *Mid Sweden University*, à Sundsvall, Suède

Ce groupe travaille sur de nombreux projets dans le domaine de l’énergie verte en lien avec l’industrie forestière, de sa récupération, de son stockage, et de son utilisation. Il fabrique notamment les films composites de cellulose qui seront utilisés dans la première partie du projet au cours de l’année à l’ESIEE.

5 Bibliographie

- [FTW12] Feng-Ru FAN, Zhong-Qun TIAN et Zhong Lin WANG. « Flexible triboelectric generator ». In : *Nano Energy* 1.2 (mars 2012), p. 328-334. DOI : 10.1016/j.nanoen.2012.01.004. URL : <https://doi.org/10.1016%2Fj.nanoen.2012.01.004>.
- [SGL15] Wanchul SEUNG, Manoj Kumar GUPTA, Keun Young LEE, Kyung-Sik SHIN, Ju-Hyuck LEE, Tae Yun KIM, Sanghyun KIM, Jianjian LIN, Jung Ho KIM et Sang-Woo KIM. « Nanopatterned Textile-Based Wearable Triboelectric Nanogenerator ». en. In : *ACS Nano* 9.4 (avr. 2015), p. 3501-3509. ISSN : 1936-0851, 1936-086X. DOI : 10.1021/nn507221f. URL : <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/nn507221f>.
- [BBG16] Philippe BASSET, Elena BLOKHINA et Dimitri GALAYKO. *Electrostatic Kinetic Energy Harvesting*. JOHN WILEY & SONS INC, fév. 2016. ISBN : 1-84821-716-1. URL : http://www.ebook.de/de/product/23153134/philippe_basset_elena_blokhin_dimitri_galayko_electrostatic_kinetic_energy_harvesting.html.
- [PLC17] Xiong PU, Mengmeng LIU, Xiangyu CHEN, Jiangman SUN, Chunhua DU, Yang ZHANG, Junyi ZHAI, Weiguo HU et Zhong Lin WANG. « Ultrastretchable, transparent triboelectric nanogenerator as electronic skin for biomechanical energy harvesting and tactile sensing ». en. In : *Science Advances* 3.5 (mai 2017), e1700015. ISSN : 2375-2548. DOI : 10.1126/sciadv.1700015. URL : <https://advances.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/sciadv.1700015>.
- [HGL18] Ronan HINCHET, Ali GHAFARINEJAD, Yingxian LU, Javad Yavand HASANI, Sang-Woo KIM et Philippe BASSET. « Understanding and modeling of triboelectric-electret nanogenerator ». In : *Nano Energy* 47 (mai 2018), p. 401-409. DOI : 10.1016/j.nanoen.2018.02.030.
- [ZLG18] Hemin ZHANG, Yingxian LU, A. GHAFARINEJAD et Philippe BASSET. « Progressive contact-separate triboelectric nanogenerator based on conductive polyurethane foam regulated with a Bennet doubler conditioning circuit ». en. In : *Nano Energy* 51 (sept. 2018), p. 10-18. ISSN : 22112855. DOI : 10.1016/j.nanoen.2018.06.038. URL : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211285518304336>.
- [ZMX20] Hemin ZHANG, Frédéric MARTY, Xin XIA, Yunlong ZI, Tarik BOUROUINA, Dimitri GALAYKO et Philippe BASSET. « Employing a MEMS plasma switch for conditioning high-voltage kinetic energy harvesters ». In : *Nature Communications* 11.1 (juin 2020). DOI : 10.1038/s41467-020-17019-5. URL : <https://doi.org/10.1038%2Fs41467-020-17019-5>.
- [WBL21] Lingyun WANG, Ye BIAN, Chee Kent LIM, Zhuolun NIU, Patrick K.H. LEE, Chun CHEN, Li ZHANG, Walid A. DAOUD et Yunlong ZI. « Tribo-charge enhanced hybrid air filter masks for efficient particulate matter capture with greatly extended service life ». en. In : *Nano Energy* 85 (juill. 2021), p. 106015. ISSN : 22112855. DOI : 10.1016/j.nanoen.2021.106015. URL : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211285521002731>.