

Sujet de projet pour le Graduate Program CODS  
2020/21

## Conception/modélisation de dispositifs avancés triboélectriques Application à la récupération d'énergie mécanique et la santé

Encadrant : Philippe Basset  
(philippe.basset@esiee.fr)  
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 innovants comme le graphène. 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 vêtements intelligents, les systèmes dits "seconde peau" pour le monitoring de données biologiques sur le corps humain, ou les systèmes de captation des particules fines.

## 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. 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]. Des dispositifs basiques peuvent être fabriqués très simplement, mais de nombreux travaux cherchent à optimiser cet effet en faisant notamment appel aux micro/nano-technologies. De plus, la modélisation correcte des capteurs triboélectriques, ainsi que la conception de leurs circuits de conditionnement, reste une problématique très actuelle. Les figures 1, 2 et 3 montrent trois exemples d'applications qui pourront être adressées dans ce projet.

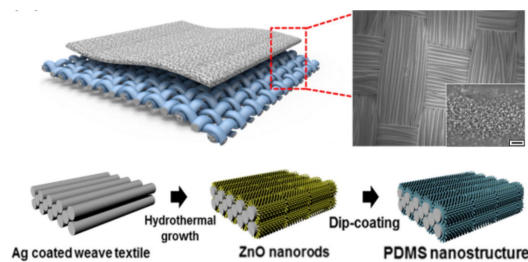


Figure 1 – Exemple de textile triboélectrique pour la récupération d'énergie [SGL15]



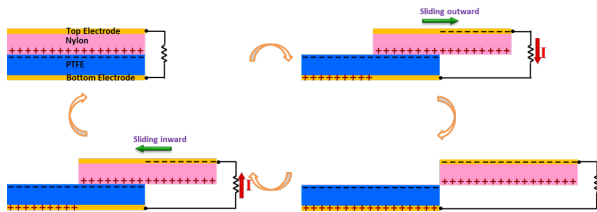
Figure 2 – Exemple d'un récupérateur d'énergie "double peau" triboélectrique [PLC17]



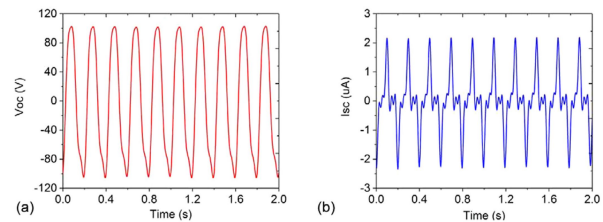
Figure 3 – Principe d'un masque triboélectrique pour la captation des particules fines [WBL21]

## 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 leur 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-équilibre 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

- L'étudiant étudiera un dispositif innovant provenant d'un partenaire à l'étranger, avec pour objectifs de fournir :
- un modèle du dispositif utilisable dans les simulations électroniques de type Spice,
  - et les premiers résultats expérimentaux d'un système complet.

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 électrique et mécanique fine du transducteur afin de déterminer ses paramètres clés,
- développer le modèle et comparer par simulation plusieurs circuits de conditionnement électrique 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 i) en technologie MEMS silicium dans les salles blanches d'ESIEE Paris dans le cadre de la thèse de Naida Hodzic, ou ii) à base de graphène réalisé dans les salles blanches de l'école Polytechnique.

Lors du stage de fin d'année, l'étudiant pourra être amené à passer une quinzaine de jours dans le laboratoire du partenaire étranger pour participer à la fabrication d'un nouveau dispositif. Trois partenariats sont envisagés :

- l'*Institute of Microelectronic and Microsystems (IMM)* du *National Council of Research* italien (CNR, équivalent du CNRS), à Milan, Italie
- le *Nano Energy, Sci. & Eng. Lab. (NESEL)* de l'*Sungkyunkwan University (SKKU)*, à Séoul, Corée du Sud
- l'*Institute of Chemical Engineering Sciences (ICE-HT)*, à Rio-Patras, Grèce

### 4 Bibliographie

- [FTW12] Feng-Ru FAN, Zhong-Qun TIAN et Zhong Lin WANG. « Flexible triboelectric generator ». In : *Nano Energy* 1.2 (mar. 2012), p. 328-334. DOI : 10.1016/j.nanoen.2012.01.004. URL : <https://doi.org/10.1016/j.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](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 BOUROUNA, 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/s41467-020-17019-5>.
- [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 (juil. 2021), p. 106015. ISSN : 22112855. DOI : 10.1016/j.nanoen.2021.106015. URL : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211285521002731>.