

Sujet de projet 2022/23 pour
le Graduate Program CODS UGE & le Tremplin Recherche ESIEE

Etude de l'effet triboélectrique et des circuits à base de "gas discharged tubes" pour la récupération d'énergie mécanique dans les textiles intelligents et les applications santé

Encadrants :

Philippe Basset (philippe.basset@esiee.fr)
Armine Karami (armine.karami@univ-eiffel.fr)
Laboratoire ESYCOM - UMR CNRS 9007

Résumé

Ce projet consiste à étudier de nouvelles approches pour le conditionnement électrique des dispositifs de récupération d'énergie à transduction triboélectrique (ou TENG pour *Tribo Electric Nano Generator*). Ce travail de recherche s'inscrit d'une part dans le cadre d'une collaboration CNRS/ESYCOM avec l'université de Yonsei (Corée du Sud) pour les applications santé, et d'autre part dans le cadre du projet européen "Graphergia" sur les textiles "intelligents" à base de graphène.

1 Présentation générale du sujet

La transduction électrostatique par effet triboélectrique est une des techniques possibles pour la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique afin d'alimenter des capteurs. Celle-ci a notamment l'avantage d'être bien adaptée aux dispositifs souples et planaires comme les textiles et les patches santé dits "seconde peau". [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, les principes fondamentaux sous-jacents, la modélisation correcte des capteurs triboélectriques, ainsi que la conception de leurs circuits de conditionnement, restent des problématiques très actuelles. Les figures 1, 2 et 3 montrent trois exemples d'applications qui pourront être adressées dans ce projet.

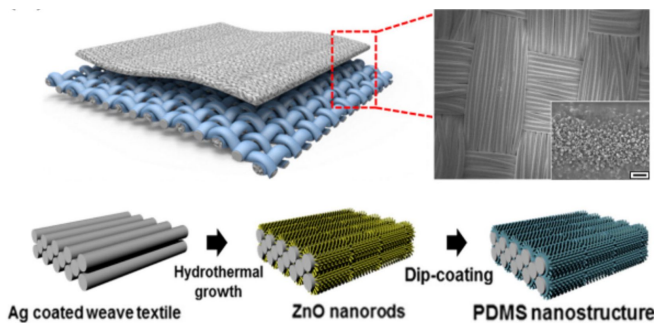


Figure 1 – Exemple de textile triboélectrique pour la récupération d'énergie [SGL15]



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

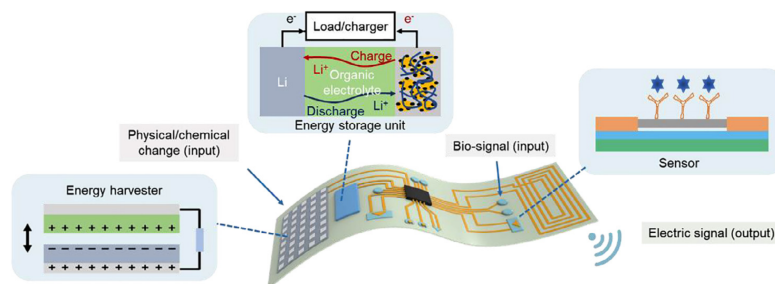


Figure 3 – Principe d'un système autonome basé sur la récupération d'énergie mécanique de contact [OJF21].

1.1 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 éventuellement se passer d'une batterie pour leur fonctionnement, ou alors permettre son rechargement. 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.

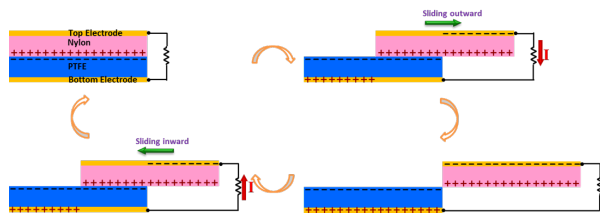


Figure 4 – Principe d'un générateur triboélectrique (TENG) fonctionnant en mode friction. Lors de leurs mise en contact, la couche de nylon se charge positivement et la couche de téflon (PTFE) se charge négativement. Lors du déplacement de l'électrode mobile, le ré-équilibrage des charges associé à la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

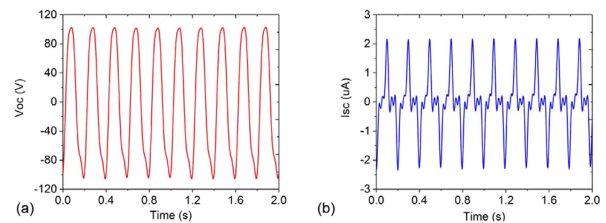


Figure 5 – Exemple de signaux électriques obtenus à l'ESIEE suite à la mise en contacts répétés d'une mousse conductrice et d'un film de téflon [ZLG18].

1.2 L'effet "tribovoltaïque"

Lorsque les 2 matériaux sont mis en friction et que ceux-ci sont 2 semiconducteurs respectivement de type P et N, des paires électron-trous sont générées à l'interface et un courant DC apparaît, un peu à la manière de l'effet photovoltaïque. Ce phénomène de génération d'une tension DC à partir d'un phénomène de friction en mode va-et-vient a aussi été observé entre un métal ou un liquide et un semiconducteur [SV23]. Cela pourrait permettre de se passer d'un circuit de redressement AC → DC pour l'alimentation d'un système et ainsi simplifier sa conception.

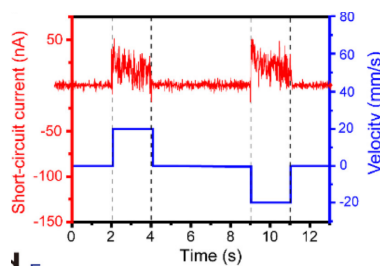


Figure 6 – Démonstration de la génération d'une composante DC lors du glissement d'eau déionisée sur du silicium dopé P [SV23].

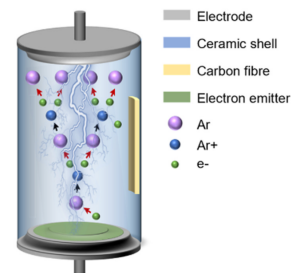


Figure 7 – Structure d'une GDT. Lorsque la tension de claquage est atteinte, le gaz à l'intérieur de la GDT s'ionise pour former un canal conducteur. À ce moment-là, la GDT est à l'état passant [LYC23].

1.3 L'utilisation des Gas Discharged Tubes

Les générateurs triboélectriques fonctionnent d'autant mieux que la tension de sortie, une fois redressée, est grande. Certains générateurs peuvent d'eux même générer des tensions de plusieurs centaines de volts, et certains circuits de conditionnement, dit à pompe de charge instable [KGB17], peuvent aisément aider à accroître encore ces tensions au delà de 1 ou 2 kV. Il faut alors rabaisser la tension à quelques volts pour alimenter un dispositif, par exemple à l'aide d'un convertisseur de tension DC-DC de type Bulk qui nécessite l'utilisation d'un interrupteur-haute tension. ESYCOM a proposé d'utiliser pour cela des micro-interrupteurs plasma, réalisés en technologie MEMS silicium dans les salles blanches de l'ESIEE. Ces derniers ont été testés dans l'air et à pression atmosphérique mais connaissent un vieillissement prématuré.

A la place, nous souhaitons tester des petits *Gas Discharged Tubes* (GDT) disponibles dans le commerce. Les GDT sont des dispositifs qui utilisent un gaz inerte interne qui s'ionise et conduit lors d'un événement transitoire

en tension allant de quelques centaines à plusieurs milliers de volts [LYC23]. Ils fonctionnent sur le même principe que nos micro-interrupteurs plasma mais existent avec différents gaz et à différentes pressions, ce qui pourrait grandement améliorer l'efficacité et la fiabilité de nos systèmes.

2 Objectifs du projet

Dans un premier temps, l'étudiant(e) devra fabriquer des dispositifs simples de récupération d'énergie pour tester des circuits de conditionnement utilisant des GDT comme interrupteurs haute-tension. Cette étude comprendra :

- une étude bibliographique,
- la prise en main du banc de test avec la commande à distance des instruments de mesure et le traitement des données avec des scripts en Python,
- l'obtention et l'analyse de résultats expérimentaux, incluant la comparaison avec les micro-interrupteurs plasma développés au sein d'ESYCOM [ZMX20],
- éventuellement le développement d'un modèle du système utilisable dans les simulations électroniques de type Spice.

L'étudiant pourra s'appuyer sur les travaux précédents de l'équipe et sur les travaux en cours .

Une fois le banc expérimental maîtrisé, l'étudiant(e) pourra ensuite s'attaquer à l'effet "tribovoltaique" dans le cadre de notre collaboration avec l'Université de Yonsei à Séoul. Nous chercherons notamment à reproduire le phénomène en utilisant des matériaux innovants fournis par l'équipe Coréenne, et à évaluer les paramètres maximisant la tension DC générée.

Ce travail pourra se poursuivre lors du stage de fin d'année au sein de l'équipe du professeur Sang-Woo Kim de l'université de Yonsei qui travaille sur la triboélectricité pour les applications santé (alimentation d'implants, décontamination bactériologique...).

Dans le cas où l'étudiant(e) resterait 2 ans dans le Graduate Program CODS, les acquis de la 1^{ère} année pourront aussi être réutilisés et consolidés sur des matériaux textiles innovants à base de graphène développés dans le cadre du projet européen *Graphergia*.

3 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.
- [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. 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.
- [KGB17] Armine KARAMI, Dimitri GALAYKO et Philippe BASSET. « Series-Parallel Charge Pump Conditioning Circuits for Electrostatic Kinetic Energy Harvesting ». In : *IEEE Transactions on Circuits and Systems I : Regular Papers* 64.1 (jan. 2017), p. 227-240. DOI : 10.1109/TCSI.2016.2603064.
- [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. DOI : 10.1126/sciadv.1700015.
- [ZLG18] Hemin ZHANG, Yingxian LU, A. GHAFFARINEJAD 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. DOI : 10.1016/j.nanoen.2018.06.038.
- [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.
- [OJF21] Han OUYANG, Dongjie JIANG, Yubo FAN, Zhong Lin WANG et Zhou LI. « Self-powered technology for next-generation biosensor ». en. In : *Science Bulletin* 66.17 (sept. 2021), p. 1709-1712. DOI : 10.1016/j.scib.2021.04.035.

- [LYC23] Bo LI, Yiyong YANG, Jiaqi CHEN, Junyao SHEN, Xu LIU, Yijia LU, Linhong JI, Ze YANG et Jia CHENG. « Gas discharge tubes for significantly boosting the instantaneous current and active power of load driven by triboelectric nanogenerators ». en. In : *Nano Energy* 108 (avr. 2023), p. 108200. DOI : 10.1016/j.nanoen.2023.108200.
- [SV23] S. SRIPHAN et N. VITTAYAKORN. « Tribovoltaic effect : Fundamental working mechanism and emerging applications ». en. In : *Materials Today Nano* 22 (juin 2023), p. 100318. DOI : 10.1016/j.mtnano.2023.100318.