

# THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 641

*Mathématiques et Sciences et Technologies du numérique,  
de l'Information et de la Communication*

Spécialité : *Électronique*

Par

« **Walid ASKRI** »

« **Générateurs flexibles et hybrides tribo/piézo-électrique pour l'auto-alimentation de capteurs communicants.** »

Thèse présentée et soutenue à « Nantes », le « 18 décembre 2024 »

Unité de recherche : IETR, UMR CNRS 6164

## Rapporteurs avant soutenance :

M. El Hadj MOUGUECHE  
M. Lionel PETIT

Professeur des universités, Université Polytechnique Hauts de France  
Professeur des universités, Université de Lyon

## Composition du Jury :

Président : Prénom Nom

Examineurs : Mme. Ratiba BENZERGA  
M. Vincent LE CAM

Dir. de thèse : M. Benoit GUIFFARD

Co-dir. de thèse : M. Raynald SÉVENO

(à préciser après la soutenance)

Maitre de conférences, HDR, Université de Rennes

Ingénieur des ponts, des eaux et des forêts, Université Gustave Eiffel

Professeur des universités, Université de Nantes

Professeur des universités, Université de Nantes

**Titre :** Générateurs flexibles et hybrides tribo/piézo-électriques pour l'auto-alimentation de capteurs communicants.

**Mots clés :** Récupération d'énergie vibratoire, triboélectricité, piézoélectricité, couplage hybride.

**Résumé :** L'avènement de l'Internet des objets (IoT) dans tous les domaines de la société a conduit à une prolifération de capteurs communicants de faible puissance. Dans ce contexte, les dispositifs de récupération d'énergie triboélectrique ont récemment fait l'objet d'une démonstration avec une tension en circuit-ouvert élevée. Cependant, le courant de sortie reste limité. Dans ces travaux, un générateur hybride triboélectrique-piézoélectrique a été proposé pour combiner simultanément les effets triboélectriques et piézoélectriques afin d'améliorer les performances du générateur hybride tribo-piézoélectrique. Le générateur triboélectrique est composé de la paire polytétrafluoroéthylène (PTFE) et de la mousse de polyuréthane chargée par du noir de carbone (PUC) jouant double rôle : élément électropositif (donneur d'électrons) et électrode. Pour le générateur piézoélectrique, nous comparons plusieurs

générateurs de matériaux piézoélectriques différents pour sélectionner le générateur piézoélectrique (RS 893-7301). Le générateur hybride a été testé sur deux systèmes d'excitation : pot vibrant et soufflerie. La détermination de la capacité triboélectrique est l'une des thématiques importantes en raison de sa variabilité qui dépend du gap d'air entre le PUC et le PTFE. Avec redressement, et en utilisant deux ponts de diodes redresseurs, le générateur hybride monté sur pot vibrant génère une tension à circuit ouvert de 318 V, un courant à circuit fermé de 4,95  $\mu\text{A}$  et une puissance maximale de 349  $\mu\text{W}$  à une impédance optimale de 40  $\text{M}\Omega$ . Une comparaison énergétique à la même impédance confirme le gain en puissance grâce au couplage hybride. Ce générateur a permis d'alimenter un capteur de température durant plusieurs cycles de mesures/transmissions de données.

**Title :** Flexible hybrid tribopiezoelectric generators for self-powering communicating sensors.

**Keywords :** Vibration energy harvesting, triboelectricity, piezoelectricity, hybrid coupling.

**Abstract :** The advent of the Internet of Things (IoT) in all areas of society has led to a proliferation of low-power communicating sensors. In this context, triboelectric energy harvesting devices have recently been demonstrated with high open-circuit voltage. However, the output current remains limited. In this work, a hybrid triboelectric-piezoelectric generator has been proposed to simultaneously combine triboelectric and piezoelectric effects to improve the performance of the hybrid triboelectric-piezoelectric generator. The triboelectric generator is made up of a pair of polytetrafluoroethylene (PTFE) and polyurethane foam charged with carbon-black (PUC) playing a double role: electropositive element (electron donor) and electrode. For the piezoelectric generator, we are comparing several generators of different piezoelectric

materials to select the piezoelectric generator (RS 893-7301). The hybrid generator was tested on two excitation systems: a vibrating pot and a wind tunnel. Determining the triboelectric capacitance is one of the most important issues, as its variability depends on the air gap between the PUC and PTFE. With rectification, and using two rectifier diode bridges, the vibrating pot-mounted hybrid generator generates an open-circuit voltage of 318 V, a closed-circuit current of 4.95  $\mu\text{A}$  and a maximum power of 349  $\mu\text{W}$  at an optimum impedance of 40  $\text{M}\Omega$ . An energy comparison at the same impedance confirms the power gain thanks to hybrid coupling. This generator was used to power a temperature sensor during several measurement/data transmission cycles.