

Proposition de thèse de doctorat

# Modélisation et caractérisation d'éléments piézoélectriques sous contrainte extrême pour la récupération d'énergie

Durée : 36 mois

Rémunération : ~2 200 €/mois brut

Laboratoire : LGEF INSA Lyon (France) / ElyTMax CNRS-UdL-TU (Japon)

Contacts : Mickaël LALLART ([mickael.lallart@insa-lyon.fr](mailto:mickael.lallart@insa-lyon.fr)) / Gaël SEBALD ([gael.sebald@cnrs.fr](mailto:gael.sebald@cnrs.fr))

## Contexte

Dans les environnements confinés et/ou aux conditions modérément sévères (par exemple en température), l'auto-décharge des batteries conventionnelles (piles) limite drastiquement la durée de vie des dispositifs autonomes sans fil. Afin de palier à ce problème, la récupération d'énergie, consistant à convertir l'énergie directement accessible de l'environnement sous forme électrique pour l'alimentation du dispositif, a été intensivement étudiée au cours des deux dernières décades. Parmi les sources disponibles, la source vibratoire sous forme de déformation mécanique se classe parmi les solutions les plus attractives, notamment grâce aux matériaux piézoélectriques qui offrent un excellent compromis entre intégration et capacité de conversion. Néanmoins, l'utilisation de ces matériaux dans leur domaine linéaire est toujours relativement limitée par la faible énergie convertie. En parallèle, et toujours dans le cadre de dispositifs communicants, la multiplication des vecteurs de communication et des bandes fréquentielles associées conduit à la nécessité d'utilisation de nombreux filtres, chacun associé à une fréquence particulière. Ceci induit un surcoût tant en terme économique que de taille. Afin d'adresser ces problèmes, l'objectif du projet ANR FIESTA, regroupant le C2N, ElyTMax, FEMTO et le LGEF, est de tirer avantage des transitions de phase induites par la contrainte mécanique. En effet, alors que dans de nombreuses applications ces transitions sont vues comme des défauts, elles peuvent être judicieusement mises en œuvre pour assurer soit des cycles de conversion d'énergie améliorés, soit pour permettre une modification du comportement mécanique pour améliorer la bande fréquentielle utile de filtre de télécommunication.

## Objectifs

L'objectif du travail proposé dans le cadre de cette thèse de doctorat est, en amont de l'implémentation des matériaux piézoélectriques considérés (KTN) dans les dispositifs étudiés récupérateurs d'énergie et filtres accordables, de quantifier de manière théorique et expérimentale les transitions de phase cristallines sous l'effet de la contrainte, ainsi que l'impact associé sur les propriétés mécaniques, électriques et électromécaniques.

Ainsi, le premier objectif visera en l'élaboration de modèles physiques simples afin de pouvoir prédire les caractéristiques des matériaux en fonction de la contrainte mécanique appliquée (notamment le comportement diélectrique sous l'effet combiné de la contrainte et du champ électrique). Un intérêt particulier sera apporté à la nature multiphysique du système. Les bases de ces modèles pourront être alimentées par les caractérisations locales ou macroscopiques au niveau du matériau (XRD,

caractérisation tensorielle ou cycles de polarisation) menées en parallèle par les partenaires du projet. Ils prendront en outre en compte les différentes compositions considérées dans le cadre du projet. La seconde partie du travail de doctorat, menée de manière concomitante à la précédente, consistera en mettre en œuvre des bancs de test pour la validation des modèles ainsi que pour le développement de dispositifs de démonstration de récupération d'énergie. Ces démonstrateurs devront prendre en compte les contraintes d'intégration et d'interfaçage avec les autres champs considérés dans le projet (impédance électrique, champs électriques et contraintes maximales...). Les voies actuellement considérées, ne constituant cependant pas une limitation, consistent en des structures de type flexenseurs ou basées sur des dispositifs d'impact.

## Profil recherché

Le candidat devra avoir un niveau de Master 2 ou équivalent dans les domaines de la physique et/ou de l'ingénierie (notamment électrique ou mécanique). De bonnes bases en termes de physique de matériaux, de génie mécanique et/ou de génie électrique seront un atout appréciable. Le doctorat s'inscrivant dans le cadre d'un projet collaboratif, des qualités de synthèse et communication sont également requis. Des interactions possibles avec des chercheurs étrangers nécessiteront un bon niveau d'anglais. Enfin, cette thèse de doctorat pouvant potentiellement faire l'objet d'un co-tutelle avec l'Université du Tohoku (Sendai, Japon), une mobilité longue au Japon est éventuellement à envisager.

## Procédure

La procédure de sélection est décomposée en 2 phases comme suit :

- 1<sup>ère</sup> phase : admissibilité sur dossier (CV + lettre de motivation + relevés notes ; lettre de recommandation facultative)
- 2<sup>ème</sup> phase : entretien avec les responsables du projet

Le planning provisoire de cette procédure est donné ci-après

Date butoir de candidature 1 <sup>ère</sup> phase	30/11/2020
Résultats 1 <sup>ère</sup> phase	07/12/2020
Période de 2 <sup>ème</sup> phase (entretiens)	07/12/2020 – 08/01/2020
Résultats finaux	12/01/2020

# Modeling and characterization of piezoelectric éléments under extreme stress for energy harvesting

Duration: 36 mois

Salary: ~2 200 €/month (before taxes)

Laboratory: LGEF INSA Lyon (France) / ELyTMaX CNRS-UdL-TU (Japan)

Contacts: Mickaël LALLART ([mickael.lallart@insa-lyon.fr](mailto:mickael.lallart@insa-lyon.fr)) / Gaël SEBALD ([gael.sebald@cnrs.fr](mailto:gael.sebald@cnrs.fr))

## Context

In confined environments and/or under moderately severe conditions (e.g., temperature), self-discharge of conventional batteries (batteries) drastically limits the lifespan of autonomous wireless devices. To address this issue, energy harvesting, aiming at converting energy directly available from the direct environment into electricity for powering these devices, has been intensively studied over the past two decades. Among available sources, vibrations in the form of mechanical deformation are among the most attractive solutions, in particular thanks to piezoelectric materials which offer an excellent trade-off between integration and conversion capacity. However, the use of these materials in their linear domain is still quite limited by low converted energy. At the same time, and still in the context of communicating devices, the multiplication of communication vectors and associated frequency bands requires the use of many filters, each associated to a particular frequency. This induces additional costs both in economic terms and in size.

To overcome these problems, the objective of the FIESTA ANR project, bringing together C2N, ELyTMaX, FEMTO and LGEF, is to take advantage of phase transitions induced by mechanical stress. Indeed, while in many applications these transitions are seen as defects, they can be judiciously employed for either improving energy conversion cycles, or allowing a modification of the mechanical behavior to improve the useful frequency band of telecommunication filter.

## Objectives

The objective of the work proposed in the framework of this Ph.D. is, upstream to the implementation of the considered piezoelectric materials (KTN) in the targeted energy harvesting devices and tunable filters, to quantify in theoretical and experimental ways the effect of stress on phase transitions in piezoelectric crystals and ceramics as well as the associated impact on mechanical, electrical and electromechanical properties.

Thus, the first objective will be to develop simple physical models able to predict the characteristics of materials as a function of the applied mechanical stress. Special attention will be paid to the multiphysical nature of the system. The bases of these models could be fed by local or macroscopic characterizations at the material level (XRD, tensorial characterization or polarization cycles) carried out in parallel by project partners. They will also take into account different compositions considered in the context of the project.

The second part of the doctoral work, carried out simultaneously with the previous one, will consist in implementing test benches for the validation of the models as well as for the development of energy harvesting demonstration devices. These demonstrators will have to include the constraints of integration and interfacing with the other fields considered in the project (electrical impedance,

electric fields and maximum stresses, etc.). The currently considered approach, without any strict limitation however, lies in flexensor-type structures or devices based on impacts.

## Sought profile

The candidate must have a MSc. or equivalent grade in the fields of physics and/or engineering (particularly electrical or mechanical). Good basics in terms of materials physics, mechanical engineering and/or electrical engineering will be an appreciable asset. As the Ph.D. work falls within a collaborative project, synthesis and communication skills are also required. Possible interactions with foreign researchers will require a good level of English. Finally, since this Ph.D. could potentially be the subject of a joint supervision with Tohoku University in Japan, a long-term mobility may be considered.

## Procedure

The selection procedure is split into 2 phases as follows:

- 1<sup>st</sup> phase: eligibility based on application documents (CV + cover letter + transcripts; recommendation letter is optional)
- 2<sup>nd</sup> phase: interview with Ph.D. supervisors.

The provisional schedule for this procedure is given below.

Deadline for the 1 <sup>st</sup> phase	30/11/2020
1 <sup>st</sup> phase results	07/12/2020
2 <sup>nd</sup> phase period (interviews)	07/12/2020 – 08/01/2020
Final results	12/01/2020