

Note : English version of the subject is available at the end of this document

Conception, réalisation et caractérisation de systèmes thermomagnétiques de récupération d'énergie innovants

CDD postdoctoral 12 mois

Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N)

Contact : Fabien Parrain – fabien.parrain@u-psud.fr
C2N, Université Paris-Saclay, CNRS
10 Boulevard Thomas Gobert - 91120 Palaiseau

Le projet ANR "HiperTherMag" (consortium C2N, SATIE, Institut Louis Néel, INSP) vise l'étude de systèmes thermomagnétiques de récupération d'énergie. Ces systèmes mettent en œuvre un matériau actif magnéto-calorique (gadolinium et/ou alliages fer-silicium-lanthane) qui présente une transition ferro/paramagnétique quand il est cyclé thermiquement. Cette transition de phase (température de Curie de l'ordre de l'ambient), est usitée pour mettre en mouvement, sous l'effet des forces magnétiques, une structure mécanique mobile intégrant le matériau actif entre une source froide et une source chaude qui comporte un aimant permanent. Autrement dit, lorsqu'une différence de température suffisante est appliquée entre la source froide et la source chaude, le système rentre naturellement en oscillation (Figure 1).

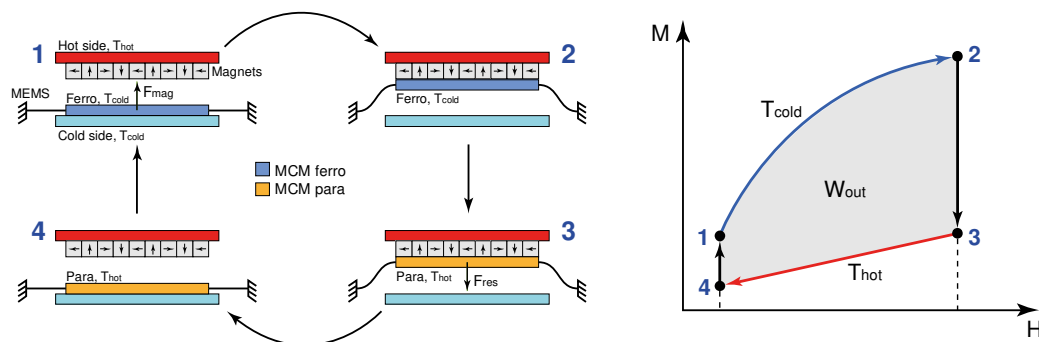


Figure 1 : Architecture et principe de fonctionnement du récupérateur envisagé. Ici F_{mag} est la force magnétique induite sur la structure mobile lors de la phase ferromagnétique et F_{res} la force de rappel due aux bras de suspension jouant le rôle de ressorts de rappel.

La transition de phase du matériau magnéto-calorique s'accompagnant d'une variation de son aimantation. Ainsi, différents modes de transduction sont envisageables. Malgré tout, les transductions capacitive et piézoélectrique semblent les plus intéressantes en perspective d'intégration et en densité de puissance et sont celles qui seront étudiées. Quel que soit le mode de transduction choisi, la réalisation de ce dispositif soulève différents challenges technologiques parmi lesquels l'intégration 3D de matériaux exotiques est certainement le plus problématique (gestion du budget thermique, des contraintes résiduelles ...).

Le CDD postdoctoral proposé (durée de de 12 mois) vise la conception, la réalisation et la caractérisation de différents prototypes de récupérateurs d'énergie centimétriques et microscopiques en technologies MEMS. Les dispositifs centimétriques mettront en œuvre des structures de transduction piézoélectriques (emploi de structures bimorphes PZT/métal) et permettront de valider expérimentalement le concept proposé en obtenant, nous l'espérons, des résultats meilleurs que l'état de l'art (voir Figure 2). Dans un second temps, dans la perspective

d'une intégration plus poussée encore inédite dans ce domaine, des dispositifs MEMS seront réalisés sur la base de technologies silicium (micro-usinage DRIE sur la base de wafers SOI). Dans ce dernier cas, les performances de la transduction capacitive seront évaluées.

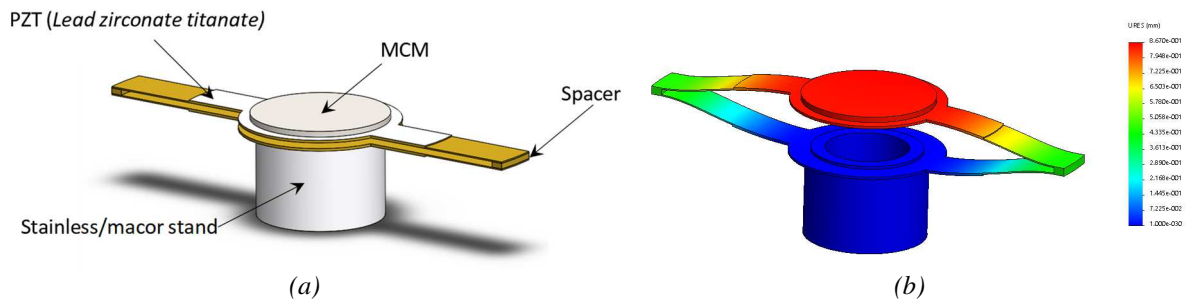


Figure 2 : Partie active du système macroscopique piézoélectrique envisagé (a). Simulation FEM des contraintes au sein des matériaux durant le mouvement (b).

Le candidat devra avoir le goût du travail en équipe et il est souhaitable qu'il ait de bonnes connaissances dans les domaines scientifiques suivants :

- Conception et simulation de systèmes mécaniques (conception sous SolidWorks, simulations FEM sous ANSYS ...)
- Transduction piézoélectrique
- Réalisation de MEMS en salle blanche (dépôts de couches, gravure DRIE ...)
- Caractérisation électro-mécaniques (langage Python, Matlab, Julia ...)

Les travaux seront réalisés majoritairement au C2N (Palaiseau) au sein du département "MicroSystèmes et NanoBiotechnologies"¹ bien que certaines mesures seront réalisées à SATIE (ENS Cachan). Il est souhaité que le CDD débute dans les meilleurs délais et au maximum d'ici l'été 2020.

¹ <https://www.c2n.universite-paris-saclay.fr/fr/recherche/mnbf/>

English version:

Design, realization and characterization of innovating thermomagnetic energy harvesters

12-month postdoctoral position

Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N)

Contact : Fabien Parrain – fabien.parrain@u-psud.fr
C2N, Université Paris-Saclay, CNRS
10 Boulevard Thomas Gobert - 91120 Palaiseau

The aim the ANR (French National Research Agency) project "HiperTherMag" (consortium that involves C2N, SATIE, Louis Néel Institut and INSP) is to study thermomagnetic energy harvesting systems. These devices use an active magnetocaloric material (as gadolinium or iron-silicon-lanthanum alloys) that exhibits ferro/paramagnetic transition when it is thermally cycled. This phase change (Curie temperature closed to ambient) is employed to move thanks to magnetic forces a mechanical structure embedding the active material between a cold reservoir and a hot one where permanent magnets are arranged. In other words, when a temperature different is large enough between the two reservoirs, the system will naturally oscillate (Figure 1).

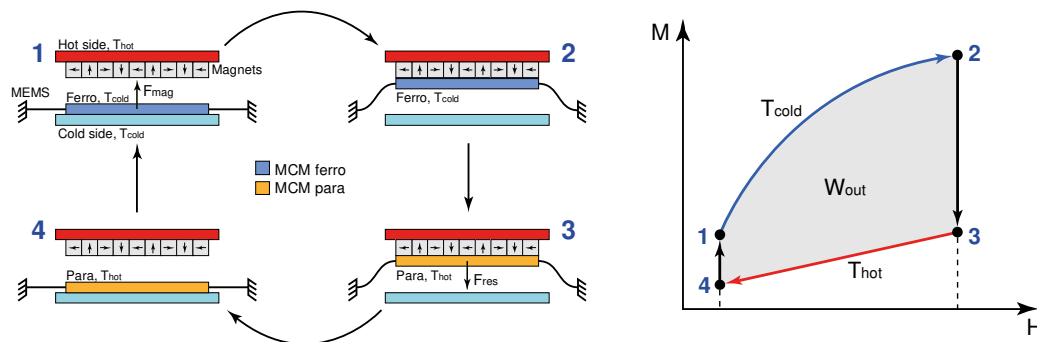


Figure 1: Working principle. Here F_{mag} is the magnetic force induced on the moving part of the system during the ferromagnetic phase whereas F_{res} is the restoring force induced by the suspension arms used as return springs.

The magnetocaloric material phase transition induces a change in term of magnetization. In this way various transduction modes are possible to electrical domain. Nevertheless, capacitive and piezoelectric transductions seem to be more efficient and more attractive in term of integration and power density. Thus, these two transduction modes will be studied. Whatever the transduction mode employed, the realization of the kind of devices raises a number of technological challenges such as 3D integration of non-conventional materials that is certainly the toughest one (control of the global thermal budget, films residual stresses ...).

The proposed 12-month postdoctoral position is targeted at designing, realizing and characterizing different prototypes of energy harvesters from centimeter size down to MEMS scale. The centimeter scale prototypes will implement piezoelectric transduction mode (use of PZT/metal bimorph plates) and will allow us to experimentally validate the proposed concept

surpassing, we hope, the state-of-the-art performances (Figure 2). As a second step, toward stronger integration never been done before in this domain, silicon-based prototypes will be realized (DRIE micromachining of SOI substrates). In this case, performances of capacitive transduction mode will be assessed.

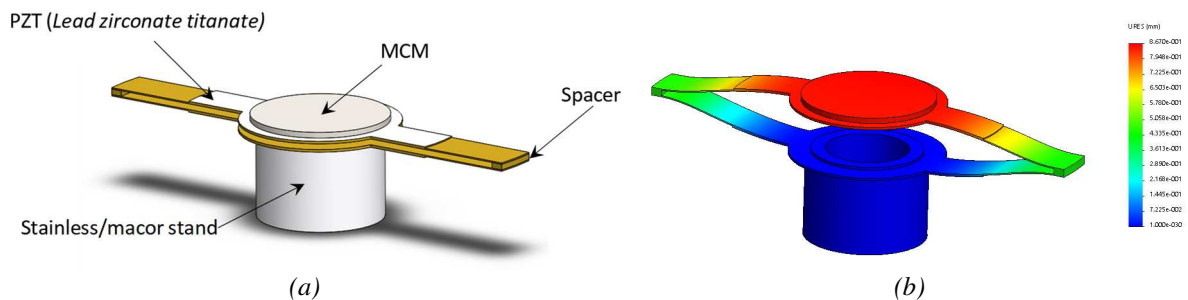


Figure 2: Centimeter scale system envisaged (a). FEM simulation showing the longitudinal stress along the structure during the movement (b).

The employee should have a taste for teamwork and should have skills in the following scientific domains:

- Design and simulation of mechanical systems (SolidWorks, ANSYS softwares ...)
- Piezoelectricity
- Clean room MEMS technologies (film deposition, silicon DRIE ...)
- Electromechanical characterization, instrumentation (Python, Matlab, Julia ...)

The works will be mainly carried out at C2N (Palaiseau) in the department "MicroSystèmes et NanoBiotechnologies"² whereas some experimental measurements will be managed at SATIE (ENS Cachan). It is desirable that the employment agreement starts before summer 2020.

² <https://www.c2n.universite-paris-saclay.fr/fr/recherche/mnbf/>