

## M2 internship offer + funded PhD thesis (LNCMI-Toulouse/Néel)



### Nanostructure-electrical transport properties of HTS superconducting tapes in high magnetic fields



As part of a promising collaboration between Toulouse and Grenoble on the electrical properties of high critical temperature (HTS) superconducting tapes in the presence of high magnetic fields, supported by the PEPR "Suprafusion" [1] (and also various application projects), researchers M. Leroux and A. Badel from LNCMI Toulouse and Institut Néel Grenoble are proposing a **Master 2 internship for 2024**. This internship could evolve **into a PhD thesis project**, funded by the PEPR Suprafusion.

#### **Internship details:**

- Location: Toulouse with some possible occasional travel to Grenoble
- Duration: up to 6 months

#### **Details of thesis:**

- Funding: 100% PEPR Suprafusion
- Duration: 3 years (regulatory duration of a PhD in France. Applicants must have a Master degree)
- Location: Toulouse and Grenoble (approximately 50/50, to be discussed), with possibly (but not necessarily) a short stay in Japan or the United States.

#### **Background:**

Superconductivity is a state of matter that allows electricity to flow, and therefore magnetic fields to be generated, without dissipation. Over the past decade, the commercial advent of High Temperature Superconducting (HTS) tapes has opened up revolutionary prospects for certain breakthrough technologies requiring high magnetic fields: medical imaging (MRI), ultralight and compact turbines or electric motors (wind turbines, boats, airplanes, etc.), and magnetic confinement in fusion reactors. HTS tapes can indeed generate much higher magnetic fields [2], and the fusion power density is proportional to  $B^4$ , potentially paving the way for simple, compact and commercially viable fusion reactors much more quickly than the ITER fusion project would let us hope (several start-ups are already in the running).

However, the electrical transport properties of HTS tapes in high magnetic fields (> 30 T) remain largely unexplored. [3, 4] These properties are driven by the physical concept of superconducting vortex pinning. To date, various nanostructuring approaches (nanoparticles, etc...) enable this pinning to be optimized in zero or moderate magnetic fields.

#### **Project objective:**

To study the link between nanostructure and electrical transport properties of commercial and research HTS tapes, at high magnetic fields (up to 60 T), from the non-dissipative regime (trapped vortices) to the regime of strong dissipation, with perhaps, in passing, some fundamental questions of high-field vortex physics to be discovered (quid of quantum creep?). The internship will benefit in particular from the innovative know-how of a pulsed-field system in Toulouse, which enable studies up to 60 T [4], and a 2000 A and 35 T (DC) system in Grenoble. As for the thesis, the aim will also be to integrate these results into the numerical modelling tools already developed in Grenoble and to establish the link between model and experimental data.

For further information, please contact :

[maxime.leroux@lncmi.cnrs.fr](mailto:maxime.leroux@lncmi.cnrs.fr) ; [arnaud.badel@neel.cnrs.fr](mailto:arnaud.badel@neel.cnrs.fr)

References : <http://lncmi.cnrs.fr>

[1] <https://www.cea.fr/drf/Pages/Actualites/Vie-de-la-DRF/2023/suprafusion-PEPR-exploratoire-CEA-CNRS.aspx>

[2] P. Fazilleau et al. Cryogenics, 106:103053 (2020)

[3] X. Obradors et al., Superconductor Sci. Technol. 27, 044003 (2014)

[4] M. Leroux et al. Phys. Rev. Applied 11, 054005 (2019)



Offre de stage de M2+thèse financée  
(LNCMI-Toulouse/Néel)



**Relations nanostructure-propriétés de transport électrique  
dans les rubans supraconducteurs HTS en champs  
magnétiques intenses**



Dans le cadre d'une collaboration prometteuse entre Toulouse et Grenoble sur les propriétés électriques des rubans supraconducteurs à haute température critique (HTS) en présence de champs magnétiques intenses, soutenue par le PEPR « Suprafusion » [1] (et aussi divers projets applicatifs), les chercheurs M. Leroux et A. Badel du LNCMI Toulouse et de l'Institut Néel Grenoble proposent **un stage de Master 2 pour 2024**. Ce stage pourrait évoluer en **un projet de thèse de doctorat**, financée par le PEPR Suprafusion.

**Détails du stage :** (durée jusqu'à 6 mois)

- Lieu : Toulouse avec des missions ponctuelles éventuelles à Grenoble

**Détails de la thèse:**

- Financement : 3 ans, 100% PEPR Suprafusion
- Lieu : Toulouse et Grenoble (environ 50/50, à discuter), avec possiblement un court séjour au Japon ou aux États-Unis.

**Contexte :**

La supraconductivité est un état de la matière permettant la circulation de l'électricité, et donc la génération de champs magnétiques, sans dissipation. Durant cette décennie, l'avènement commercial des rubans Supraconducteurs à Haute Température (HTS en anglais) ouvre des perspectives révolutionnaires pour certaines technologies de rupture requérant des champs magnétiques intenses, à savoir : l'imagerie médicale (IRM), les turbines ou moteurs électriques ultralégers et compacts (éoliennes, bateaux, avions...), et le confinement magnétique des réacteurs à fusion. Les rubans HTS permettent en effet de générer des champs magnétiques bien plus intenses [2], et la densité de puissance de fusion est proportionnelle à  $B^4$ , ce qui ouvre potentiellement la voie à des réacteurs à fusion simples, compacts et commercialement viable plus rapidement que ne laissait peut-être l'espérer le projet de fusion ITER (plusieurs start-ups sont déjà sur les rangs).

Les propriétés de transport électrique des rubans HTS en champ magnétique intense ( $> 30$  T) restent cependant essentiellement inexplorées. [3, 4] Ces propriétés sont pilotées par le concept physique de piégeage des vortex supraconducteurs (vortex pinning). À ce jour, différentes approches de nanostructuration (nanoparticules etc...) permettent d'optimiser ce piégeage en champ magnétique nul ou modéré.

**Objectif du projet :**

Étudier le lien entre nanostructure et propriétés de transport électrique de rubans HTS commerciaux et de recherche, en champs magnétiques intenses (jusqu'à 60 T), du régime non-dissipatif (vortex piégés) au régime de forte dissipation, avec peut-être, à la clef, certaines questions fondamentales de physique des vortex en champ intense à découvrir (quid du quantum creep ?). Le stage bénéficiera notamment du savoir-faire novateur d'un système en champs pulsés à Toulouse ouvrant les études jusqu'à 60 T [4], et d'un système 2000 A et 35 T (DC) à Grenoble. Dans le cadre de la thèse, il s'agira en plus d'intégrer ces résultats aux outils numériques de modélisation déjà développés à Grenoble et de faire le lien entre modèle et expérience.

Contact : [maxime.leroux@lncmi.cnrs.fr](mailto:maxime.leroux@lncmi.cnrs.fr) ; [arnaud.badel@neel.cnrs.fr](mailto:arnaud.badel@neel.cnrs.fr)

Références : <http://lncmi.cnrs.fr>

[1] <https://www.cea.fr/drf/Pages/Actualites/Vie-de-la-DRF/2023/suprafusion-PEPR-exploratoire-CEA-CNRS.aspx>

[2] P. Fazilleau et al. Cryogenics, 106:103053 (2020)

[3] X. Obradors et al., Superconductor Sci. Technol. 27, 044003 (2014)

[4] M. Leroux et al. Phys. Rev. Applied 11, 054005 (2019)

