

## Visualisation de la supraconductivité hors-équilibre

**Contact :** Claude CHAPELIER DRF//INAC/PHELIQS/LATEQS [claude.chapelier@cea.fr](mailto:claude.chapelier@cea.fr) 0438783905

**Stage pouvant se poursuivre en thèse :** Oui

### Résumé :

Les supraconducteurs de forte résistivité à l'état normal, tel que le nitrure de Titane (TiN), sont des matériaux idéaux pour les détecteurs de photons à inductance cinétique et les amplificateurs paramétriques supraconducteurs. Cependant, cette grande résistivité tend à localiser les électrons au détriment de la supraconductivité. Cette compétition conduit à une transition entre un état supraconducteur et un état isolant. Il a été montré qu'à l'approche de cette transition, l'état supraconducteur devient intrinsèquement inhomogène. Cette inhomogénéité électronique influence nécessairement la dynamique des quasi-particules. En effet, la réponse électrodynamique des supraconducteurs fortement désordonnés est d'autant plus altérée que le désordre est important. Qualitativement, ces observations peuvent s'expliquer par un modèle où les quasi-particules sont piégées dans des régions où le paramètre d'ordre est plus faible et qui sont intrinsèquement présentes dans ces matériaux.

Le but du projet est de tester ce modèle en visualisant les inhomogénéités supraconductrices d'un nanofil de TiN à l'aide d'un microscope à effet tunnel (STM) fonctionnant à 50 mK et en enregistrant simultanément le courant critique du nanofil en fonction de la position de la pointe du STM. On pourra ainsi remonter à l'efficacité locale de la brisure des paires de Cooper par l'injection de quasi-particules à différentes énergies. Les expériences se feront aussi sous champ magnétique, à proximité d'un cœur de vortex (tube de flux quantique qui traverse le supraconducteur) afin de comprendre la compétition entre le piégeage des quasi-particules dans le vortex et les processus de recombinaison en paires de Cooper. Ce travail est une collaboration entre les laboratoires CEA-INAC et l'IRAM. Pendant le stage de master, l'étudiant(e) se familiarisera aux techniques de croissance du TiN par pulvérisation cathodique et caractérisera ses propriétés supraconductrices par spectroscopie tunnel (STM) à basse température. Pendant la thèse qui suivra, il (elle) fabriquera les nanofils en salle blanche par lithographie électronique et gravure puis en fera la spectroscopie hors-équilibre par STM à 50 mK.

### Sujet détaillé :

Superconductors with a large normal-state resistivity, such as titanium nitride (TiN), have recently gained a lot of interest from the engineering community. Their large resistivity makes them ideal materials for kinetic inductance photon detectors [1] and superconducting parametric amplifiers [2].

At the same time, this large resistivity gives rise to localization of electrons, which directly competes with superconductivity and leads to a superconductor-to-insulator transition. It has been shown both theoretically and experimentally [3] that close to this transition, the superconducting state becomes intrinsically inhomogeneous, with mesoscopic regions of larger and smaller order parameter. This electronic inhomogeneity should influence the quasiparticle dynamics in such a material. In effect, it has been observed that the electrodynamic response of strongly disordered superconductors is increasingly modified with increasing disorder [4].

Qualitatively, these observations could be explained by a model where quasiparticles are trapped in regions with lower order parameter, intrinsically present in these materials. However, until now the only experiments that allow seeing the dynamics of an inhomogeneous superconducting system, are GHz frequency measurements on superconducting resonators. These experiments are very sensitive to minor changes in the superfluid density and number of quasiparticles, but necessarily probe a macroscopic volume of the superconductor, rendering explanation of the measurements in terms of the inhomogeneity difficult.

Scanning tunneling microscopy (STM), on the other hand, is the ideal tool to map the electronic properties of a material on a nanometer scale. We have recently design a STM-compatible environment of a mesoscopic device at 50 mK, which allows studying the quasiparticle dynamics in a superconducting nanowire by using the STM tunneling current as a local quasiparticle injector, and measuring the global consequences of this injection in transport. We named this new STM imaging mode: scanning critical current microscopy. In this technique the pair breaking efficiency of the injection of quasiparticle at different energies by the STM tip is deduced by monitoring the critical current of the superconducting nanowire as a function of the tip position.

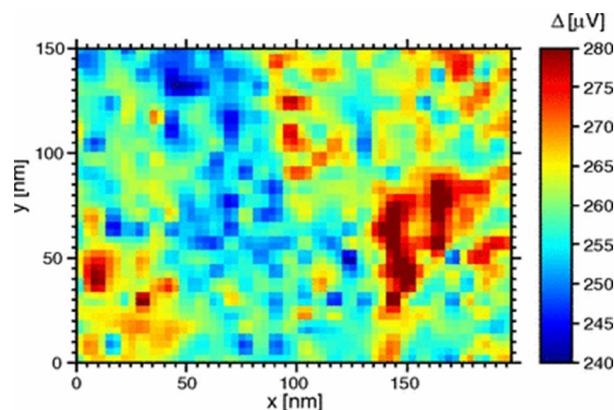
The aim of the PhD project is to apply this new probe technique to superconducting TiN nanowires in order to unveil the role of inhomogeneities and localized single particle states in the dynamic of quasi-particles in disordered superconductors. Experiments will be also done under magnetic field where the STM tip will be positioned at various distances from a magnetic vortex core in order to understand the competition between the trapping of quasiparticles inside the vortex and the recombination process into Cooper pairs. The results will be used to understand better the position dependence of the photon detection efficiency, and the role of inhomogeneity in the behavior of superconducting detectors.

The work will be performed in two laboratories in Grenoble, CEA-INAC and IRAM. The PhD student will grow TiN films at IRAM and perform STM measurements at CEA-INAC. In order to realize the nanowires, he will be trained to electronic lithography at the CEA/CNRS/UJF clean room facility (PTA).

The student will also be trained to low temperature techniques at CEA-INAC, in particular to STM imaging and spectroscopy in a dilution refrigerator. The project will provide grounds for collaborations with theorists from CEA-INAC in view of describing aspects out-of-equilibrium properties of strongly disordered superconductors.

#### References

- 1-H.G. LeDuc et al., Appl. Phys. Lett. 97, 102509 (2010).
- 2-B.H. Eom et al., Nature Phys. 8, 623 (2012).
- 3-B. Sacépé et al., Phys. Rev. Lett. 101, 157006 (2008).
- 4-E.F.C. Driessen et al., Phys. Rev. Lett. 109, 107003 (2012); P.C.J.J. Coumou et al., Phys. Rev. B 88, 180505(R) (2013).



Spatial map of the superconducting order parameter measured in TiN [5] showing inhomogeneities on a mesoscopic scale.

**Compétences requises :**

Le candidat possèdera une formation solide en Physique de la matière condensée et une forte motivation pour le travail expérimental nécessitant une instrumentation complexe et délicate. Il deviendra autonome sur les techniques STM et cryogéniques. Il devra participer activement aux discussions et au travail avec l'équipe impliquée dans son sujet de recherche.