

Spécialité : PHYSIQUE / Physique de la matière condensée

[Laboratoire : IRAMIS/SPEC/GQ](#)

## Towards quantum computing with nuclear spins

Responsable de stage : BERTET Patrice

patrice.bertet@cea.fr

Tel : +33 1 69 08 55 29

Stage pouvant se prolonger en thèse : Oui

Durée du stage : 4 mois

### Résumé:

Le stage s'inscrit dans un projet de recherche visant à utiliser des spins nucléaires dans les solides (qui peuvent avoir des temps de cohérence ultra-longus pouvant aller jusqu'à plusieurs heures) comme bits quantiques pour le calcul quantique. Les spins seront mesurés par couplage avec des circuits supraconducteurs.

### Sujet :

Les spins nucléaires dans les solides sont des systèmes quantiques très bien protégés de leur environnement, et peuvent avoir des temps de cohérence exceptionnellement longs allant jusqu'à plusieurs heures. Il est donc tentant de les utiliser comme support d'information quantique dans un processeur quantique. En revanche il reste très difficile de lire l'état d'un seul spin nucléaire, et plus encore de coupler deux spins nucléaires distants l'un de l'autre, ce qui est nécessaire pour les opérations de logique quantique.

Notre groupe est engagé dans un projet de recherche de long terme (en collaboration avec un industriel et avec le support de l'ERC) qui vise à utiliser des circuits supraconducteurs pour mesurer et interfacer des qubits de spin nucléaire. Dans un premier temps, nous souhaitons démontrer qu'il est possible de mesurer et de manipuler l'état quantique d'un unique spin nucléaire, en utilisant son couplage hyperfin à un spin électronique lui-même couplé à un résonateur supraconducteur. Cette stratégie s'applique à une variété de systèmes physiques, mais nous travaillons en particulier sur les centres NV du diamant, les donneurs dans le silicium, et les ions Erbium dans des matrices d'orthosilicate. Pour cela, nous devons être capables de détecter un unique spin électronique, en un temps de mesure inférieur à une seconde.

Le stage s'appuie sur des résultats récents de notre équipe, qui ont démontré la détection d'un tout petit nombre de spins électroniques, avec une sensibilité 5 ordres de grandeur supérieure à l'état de l'art [1,2,3]. Notre détecteur a dès à présent démontré une sensibilité de  $65 \text{ spin}/\sqrt{\text{Hz}}$  en mesurant des donneurs dans le silicium ; il s'agit donc de gagner encore deux ordres de grandeur. Le but du stage sera d'obtenir ce gain en utilisant un autre système : les ions Erbium en matrice de YSO. Ces ions ont un moment magnétique 7 fois plus élevé que les donneurs dans le silicium, ce qui devrait automatiquement amener la sensibilité du détecteur sous  $1 \text{ spin}/\sqrt{\text{Hz}}$ , permettant d'apporter la première démonstration de détection micro-onde d'un unique spin.

---

## Vers le calcul quantique à base de spins nucléaires

**Abstract:**

The internship is part of a research project that aims at using nuclear spins in solids (which can have ultra-long coherence times, up to few hours) as quantum bits for quantum computing. The spin state will be measured by coupling them to superconducting circuits.

**Subject :**

Nuclear spins in solids are quantum systems that are well protected from their environment and can therefore have exceptionally long coherence times (up to several hours). It is thus tempting to use them as carrier of quantum information, in a quantum processor. It remains however utterly difficult to readout the quantum state of a single nuclear spin, and even more so to couple two nuclear spins that are distant from each other, which is needed for quantum logic operations.

Our group is leading a long-term research project (in collaboration with an industrial and with the support of an ERC grant) that aims at using superconducting circuits to measure and interface nuclear spin qubits. In a first step we wish to demonstrate quantum state manipulation and readout of a single nuclear spin, using its hyperfine coupling to an electron spin, itself coupled to a superconducting resonator. This strategy applies to a large variety of physical systems; we work in particular with NV centers in diamond, donors in silicon, and Erbium ions in orthosilicate crystals. In order to reach our goal, we need to be able to detect a single electronic spin, in a measurement time smaller than one second.

The internship relies on recent results obtained in our team, demonstrating the detection of a very small number of electronic spins with a sensitivity 5 orders of magnitude higher than the previous state-of-the-art [1,2,3]. Our spectrometer has demonstrated a sensitivity of  $65 \text{ spins} / \sqrt{\text{Hz}}$  by measuring donors in silicon; we thus simply need to win another two orders of magnitude. The goal of the internship will be to do so by turning to a different system : Erbium ions in a YSO matrix. Indeed, these ions have a magnetic moment that is 7 times higher than donors in silicon, which would automatically bring the spectrometer sensitivity below the  $1 \text{ spin} / \sqrt{\text{Hz}}$  value, and would bring the first experimental demonstration of single spin detection with microwave signals.

---