



Institut de physique
Actualité scientifique

Créer de l'intrication à distance en déplaçant des électrons

L'intrication de deux particules est une des clés des technologies quantiques. Dans le cas d'électrons, obtenir une intrication à grande distance est un défi. En exploitant la physique des semiconducteurs, les chercheurs ont réalisé un contrôle sans précédent sur la manipulation des électrons : ils les ont isolés et déplacés à volonté sur plusieurs micromètres tout en préservant leur caractère quantique.

Développer les technologies quantiques en s'appuyant sur les technologies de la microélectronique est un enjeu considérable et depuis quelques années, des recherches portent sur une version quantique des circuits électriques, dans laquelle les électrons seraient piégés dans des boîtes quantiques mais garderaient les facultés de déplacement propre à un circuit. Une stratégie consiste à piéger les électrons grâce à des électrodes polarisées (grilles) et à déplacer le potentiel de piégeage (la boîte) le long d'un circuit grâce à une onde de surface acoustique. Pour deux électrons dans une même boîte, en vertu du principe d'exclusion de Pauli, l'état fondamental est un état singulet et leurs spins sont corrélés : si l'un est dans un sens, l'autre est forcément dans le sens inverse. Si les électrons sont séparés et n'interagissent plus, cet état devient un état de deux spins électroniques distants intriqués et offre une stratégie pour propager de l'information dans un circuit quantique.

Des chercheurs de l'Institut Néel ([NEEL](#), CNRS/UGA) à Grenoble ont su créer et démontrer de l'intrication à distance entre deux spins électroniques piégés dans deux boîtes quantiques séparées de 6 μm . Le circuit quantique a été conçu dans une structure semiconductrice d'AlGaAs dont la fabrication a été réalisée à l'Université de Bochum en Allemagne. Deux boîtes quantiques sont définies à l'aide de grilles que l'on dépose à la surface du semiconducteur et que l'on polarise pour piéger les électrons. Un canal à électrons entre les deux boîtes quantiques, défini à l'aide de deux longues grilles, guide les électrons d'une boîte à l'autre lors de leur transfert. Pour propulser les électrons, une onde acoustique de surface est excitée et crée par effet piézoélectrique un potentiel de piégeage pour les électrons. Les électrons se déplacent ainsi à la vitesse du son dans une sorte de navette, une boîte quantique en mouvement générée dans le canal. Toutes ces fonctionnalités permettent de séparer de manière contrôlée dans deux boîtes statiques éloignées de 6 μm deux électrons initialement au même endroit et intriqué dans un état singulet. Pour démontrer que l'intrication est préservée au cours du processus de séparation, on réalise une expérience d'interférences, consistant à recombiner les deux électrons dans la boîte quantique de réception et à mesurer la probabilité qu'ils soient restés dans leur état singulet de spin. Une figure d'interférences quantique à haut contraste démontrant l'intrication est ainsi obtenue (figure). Ces résultats sont publiés dans la revue *Nature Nano*.

Le succès du concept de transfert de spins électroniques avec conservation de l'intrication développé dans ce travail montre une fonctionnalité essentielle à un ordinateur quantique à base de semiconducteurs. Son implémentation avec des semiconducteurs tel que le silicium nécessitera des adaptations pour pallier l'absence de piézoélectricité : réaliser la navette de boîtes quantiques à l'aide de grilles ou déposer à la surface du silicium un film de matériau piézoélectrique.



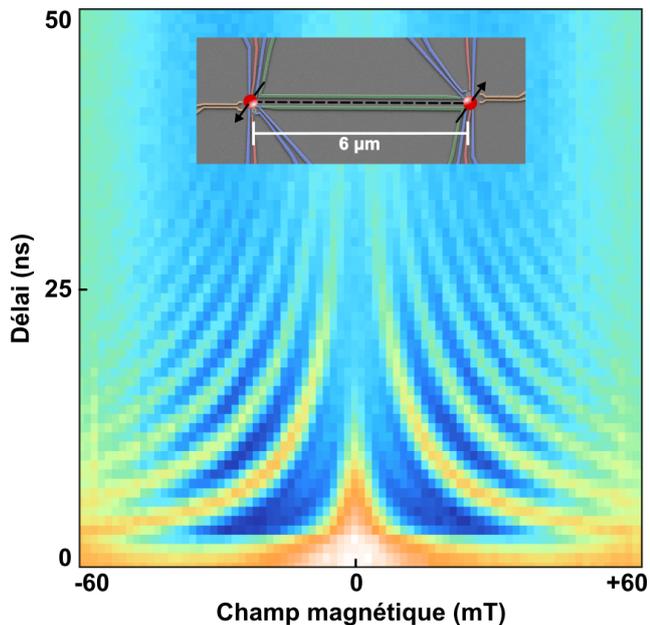


Figure d'interférence issue de l'expérience. Insert : Image de microscopie à balayage de l'échantillon et du transfert de spin électronique. Les grilles servant à définir le canal à électrons sont représentées en vert. Les boîtes quantiques statiques et leurs électromètres sont créés à l'aide des grilles bleues et orange respectivement. A l'aide des grilles rouges, on contrôle l'envoi de chaque électron et en conséquence le temps où les deux électrons sont séparés (délai). Finalement un champ magnétique global est appliqué.

La figure d'interférence obtenue est le résultat de la précession quantique des spins induite par le champ magnétique en fonction du délai entre les électrons. Le haut contraste des oscillations montre que les électrons sont restés intriqués au cours de l'expérience, et en particulier lorsqu'ils étaient séparés au maximum de 6 μm .

Bibliographie

Distant spin entanglement via fast and coherent electron shuttling. Baptiste Jadot, Pierre-André Mortemousque, Emmanuel Chanrion, Vivien Thiney, Arne Ludwig, Andreas D. Wieck, Matias Urdampilleta, Christopher Bäuerle & Tristan Meunier, *Nature Nano*, publié le 15 février 2021.

DOI: [10.1038/s41565-021-00846-y](https://doi.org/10.1038/s41565-021-00846-y)

Article disponible sur la base d'archives ouvertes [arXiv](https://arxiv.org/abs/2102.03441)

Contacts

Thomas Meunier | Directeur de recherche CNRS | NEEL | tristan.meunier@neel.cnrs.fr

Communication CNRS-INP | inp.com@cnrs.fr