

10 La téléportation gagne en fiabilité

On sait recopier à tous les coups des informations quantiques que l'on n'a pas lues, à 3 mètres de distance. Ce record, établi à l'aide de lasers et de diamants, nous rapproche de la réalisation d'un ordinateur quantique.

PAR Antoine Cappelle, journaliste.

La physique quantique a des propriétés sans équivalent en physique classique. Appliquées à l'informatique, elles entraînent par exemple le remplacement du bit d'information classique, qui ne peut valoir que 0 ou 1, par le bit quantique, ou qubit, constitué d'une superposition des états 0 et 1. Les possibilités de calcul sont donc potentiellement démultipliées, ce que l'on essaie d'exploiter afin de mettre au point des ordinateurs beaucoup plus rapides que nos ordinateurs actuels.

Toutefois si, pour le recopier, on lit un qubit, avec ses superpositions on le perturbe, et on perd l'original. Il faut donc utiliser une autre technique purement quantique pour recopier les informations : la téléportation. Une équipe de l'université de Delft, aux Pays-Bas, a démontré en 2014 que l'on pourra utiliser la téléportation à l'échelle d'un gros ordinateur : ils ont mis au point, pour la première fois, un dispositif qui réussit à chaque essai une téléportation

sur une distance de 3 mètres [1] [fig.1]. À quelques millimètres de distance, la téléportation est bien maîtrisée. Mais à plus grande échelle, le procédé se complique. Le lien entre émetteur et récepteur, plus difficile à établir, rend l'opération plus aléatoire. Pourtant, franchir de longues distances par téléportation est indispensable pour espérer mettre en réseau des ordinateurs quantiques.

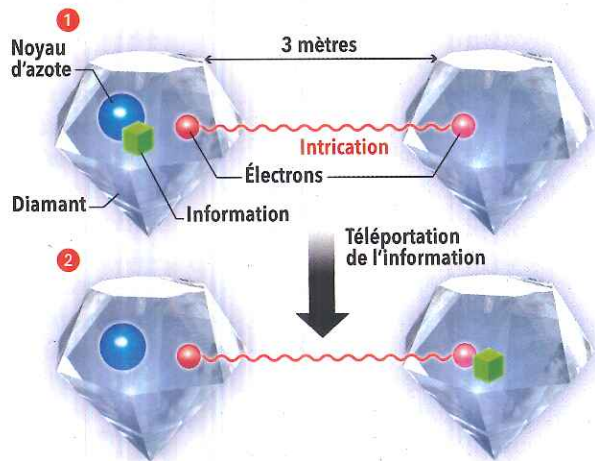
Les physiciens néerlandais ont travaillé avec des diamants artificiels. Constitués d'atomes de carbone bien ordonnés, ces cristaux contiennent des impuretés pouvant servir de support à l'information quantique, les « sites NV ». Chaque site NV est formé d'un atome d'azote associé à une lacune, c'est-à-dire un atome manquant dans le réseau cristallin.

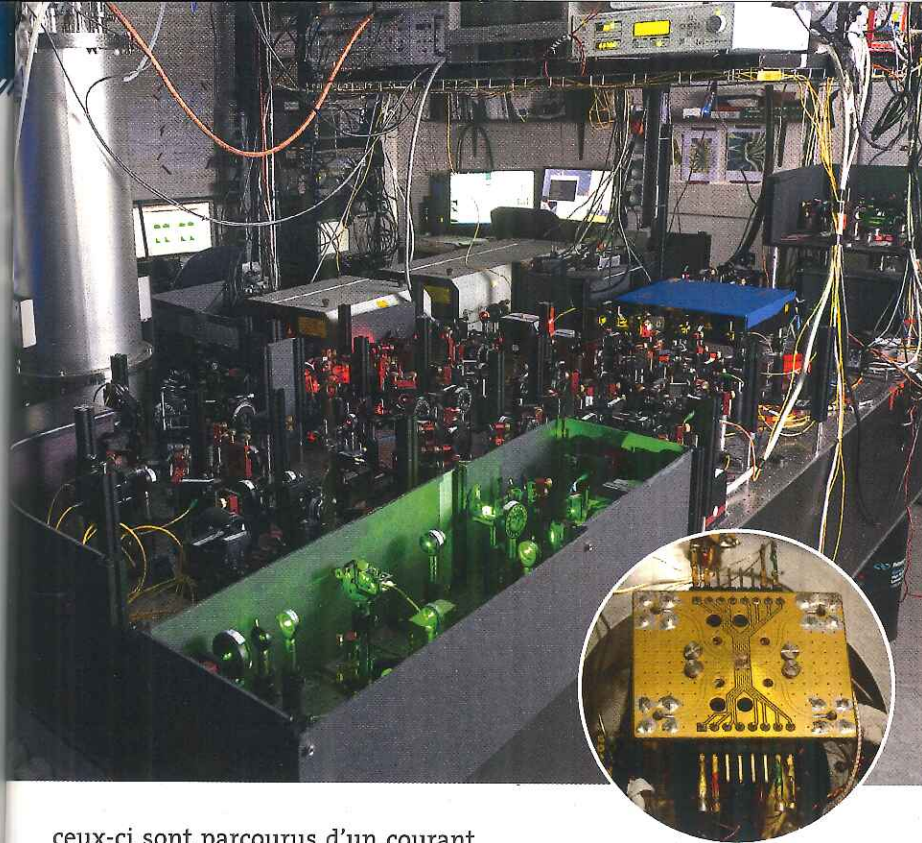
Circuits d'or. Le dispositif de téléportation est composé de trois qubits. Le premier est porté par un noyau d'azote d'un site NV, plus précisément par son spin, propriété des particules quantiques qui ne peut prendre que des valeurs bien quantifiées. Le deuxième est constitué du spin des électrons présents dans la lacune associée. Chaque site NV laisse en effet libres six électrons, normalement sollicités par les liaisons entre atomes de carbone. Trois viennent de l'atome d'azote, et trois des atomes de carbone entourant la lacune. Le système formé par ces électrons porte un spin de 1, tout comme le noyau d'azote. « Il peut prendre pour valeur 1, 0 ou -1. Mais seuls le 0 et le 1 sont pris en compte dans l'expérience », précise Anaïs Dréau, membre de l'équipe néerlandaise. Enfin, le dernier qubit est porté par le spin des électrons d'un site NV situé dans un second diamant, éloigné de 3 mètres.

Pour manipuler ces spins, les physiciens utilisent des circuits d'or, dessinés à la surface des diamants. Lorsque

Fig.1 Une téléportation d'atome à électrons

L'INFORMATION (en vert) sur l'état quantique d'un noyau d'azote (en bleu), associé à des électrons (en rouge) dans un diamant (1), est téléportée vers des électrons analogues, dans un autre diamant distant de 3 mètres (2). Cette opération est possible grâce à l'intrication préalable des deux ensembles d'électrons, la création d'un lien purement quantique entre eux.





Le dispositif permettant la téléportation à tous les coups sur une distance de 3 mètres utilise des lasers pour relier deux diamants de façon quantique. Ces derniers sont montés sur des puces électroniques (en médaillon), qui permettent de les contrôler finement.

Pendant ce temps, l'état du qubit d'arrivée est altéré sous l'influence de son environnement : les deux états superposés du spin des électrons, qui peuvent être vus comme des ondes, se décalent au cours du temps. Pour éviter ce déphasage, les chercheurs inversent périodiquement le sens du spin, encore une fois grâce aux circuits d'or. Le déphasage évolue dans un sens, puis dans l'autre, pour finalement se compenser.

Ainsi les physiciens ont réussi systématiquement la téléportation, indépendamment de l'état initial. On peut donc parler d'une téléportation inconditionnelle, ce qui n'avait encore jamais été réalisé sur une telle distance. En moyenne, la fidélité obtenue, c'est-à-dire la ressemblance entre les états des qubits de départ et d'arrivée, atteint 77%. « L'ensemble des imperfections techniques explique ce résultat. L'intrication puis la mesure de l'état de Bell sont les étapes qui limitent le plus la fidélité », précise Anaïs Dréau.

Aujourd'hui, la téléportation fonctionne, dans des cas particuliers, jusqu'à plus de 140 kilomètres. Pourra-t-on étendre jusque-là au moins la fiabilité du dispositif de l'équipe néerlandaise ? « Ce groupe est un des leaders mondiaux dans la maîtrise des sites NV », estime Nicolas Gisin, de l'université de Genève, en Suisse. Mais pour amener la téléportation à une distance encore plus grande, les physiciens devront travailler avec des photons de 1300 à 1500 nanomètres de longueur d'onde qui peuvent circuler dans les fibres optiques de télécommunication avec des pertes minimales d'information. « Beaucoup de chercheurs utilisent d'autres supports que les sites NV, il reste tout un monde à explorer », conclut Nicolas Gisin. ■

[1] W. Pfaff et al., *Science*, 345, 532, 2014.

Pour en savoir plus

> <http://tinyurl.com/TQ-NGisin> La téléportation quantique expliquée en vidéo.

ceux-ci sont parcourus d'un courant électrique, ils produisent un rayonnement électromagnétique capable d'influencer les états quantiques. De cette façon, les chercheurs commencent leur expérience en mettant les qubits associés aux électrons, dans chaque diamant, dans une superposition d'états facilitant l'opération suivante.

La téléportation repose sur une autre propriété quantique sans équivalent classique : l'intrication. Lorsque deux particules sont intriquées, toute interaction avec l'une a des conséquences sur l'autre. Le lien entre les diamants est établi par l'intrication des deux qubits associés aux électrons. Pour cela, un rayonnement laser est envoyé sur les électrons dans chaque diamant, pour leur faire émettre des photons. Ces photons sont conduits jusqu'à un détecteur, où ils interagissent et sont

mesurés : cela engendre l'intrication des deux qubits portés par les électrons.

Pour y parvenir, les physiciens ont dû choisir soigneusement deux sites NV parmi ceux des diamants à leur disposition. « Ils doivent émettre des photons à la même longueur d'onde, continue Anaïs Dréau. Or ces longueurs d'onde, autour de 637 nanomètres, varient d'un site à l'autre de quelque dix millièmes de nanomètres. » Mais après sélection de centres NV aux longueurs d'ondes suffisamment proches, les chercheurs sont capables d'ajuster leur fréquence d'émission de quelques millièmes de nanomètres, grâce aux circuits d'or.

Impulsions micro-ondes. Cette intrication réalisée, le spin du noyau d'azote est initialisé par les chercheurs, via les circuits d'or. Puis la téléportation est activée par une mesure conjointe du spin du noyau et de celui des électrons de la lacune associée, appelée mesure de l'état de Bell. Celle-ci indique une transformation à appliquer au qubit récepteur, celui de l'autre diamant, afin d'y retrouver l'état de départ. L'information sur cette transformation est transmise par un câble entre les deux diamants. Et la transformation est appliquée au qubit d'arrivée à l'aide d'impulsions micro-ondes produites par les circuits d'or.

Mais entre la préparation de l'intrication et l'envoi de l'information, il s'écoule environ 300 millisecondes.

L'essentiel

> EN PHYSIQUE QUANTIQUE, si on lit une information, on la détruit.

> LA TÉLÉPORTATION permet de recopier des informations sans les lire.

> POUR LA PREMIÈRE FOIS, un dispositif permet de téléporter des informations à tous les coups à une grande distance : 3 mètres.