



Un premier pas vers

La communication quantique est considérée comme une des technologies du futur les plus prometteuses, bien qu'elle en soit encore à ses balbutiements. Une équipe genevoise spécialisée dans l'étude des photons intriqués réalise une avancée dans le domaine

6

S'il y a une chose que les chercheurs du Groupe de physique appliquée (GAP) savent bien faire, c'est jongler avec des photons. Avec des paires de photons intriqués, pour être précis. La particularité de ces couples de particules est que les deux membres partagent des propriétés physiques de manière si intime que l'on n'a plus affaire à deux entités distinctes, mais à un seul et même objet situé à deux endroits différents (lire ci-contre). Une telle ubiquité, ou délocalisation, est impensable à notre échelle, mais est autorisée par la physique quantique, la théorie qui décrit le tout petit. Depuis plus d'une décennie, Nicolas

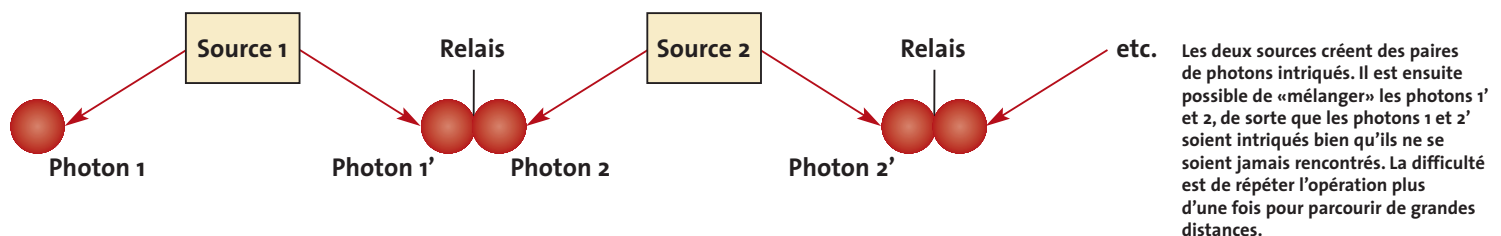
Dans un article paru dans la revue *Nature* du 1^{er} septembre 2005, les chercheurs genevois proposent un dispositif qui pourrait bien participer à une telle solution.

«Le phénomène de l'intrication permet, entre autres, d'imaginer un système de cryptographie absolument inviolable, explique Nicolas Gisin. Des paires successives de photons intriqués peuvent en effet servir à créer et transmettre une clé de codage à deux interlocuteurs désireux d'échanger des messages secrets. Cette clé aurait l'avantage inégalé d'être parfaitement aléatoire – c'est le propre de la mécanique quantique – et confidentielle: si quelqu'un tentait de l'in-

Gisin. Ces deux longueurs d'onde sont celles pour lesquelles les fibres optiques de télécommunication du monde entier sont le plus efficaces.»

Stocker l'intrication

D'autres études, menées par des équipes concurrentes, sont parvenues à intriquer non pas deux photons, mais deux paires de photons, l'une à la suite de l'autre, grâce à un système de relais. Un tel dispositif permet en théorie de doubler la distance parcourue. L'idéal serait évidemment de répéter l'opération à volonté. Mais cela pose un problème de synchronisation. Les photons



Gisin, professeur au GAP, et ses collègues ont vérifié d'innombrables fois la réalité de l'intrication entre deux photons et mesuré sa conservation le long de dizaines de kilomètres de fibres optiques. Pour parcourir des distances plus grandes – des milliers de kilomètres si l'on souhaite un jour communiquer par ce biais-là –, la technologie montre toutefois des limites d'efficacité difficilement surmontables. Une manière de contourner l'écueil consiste à concevoir des relais quantiques, permettant de porter l'intrication toujours un peu plus loin par sauts successifs.

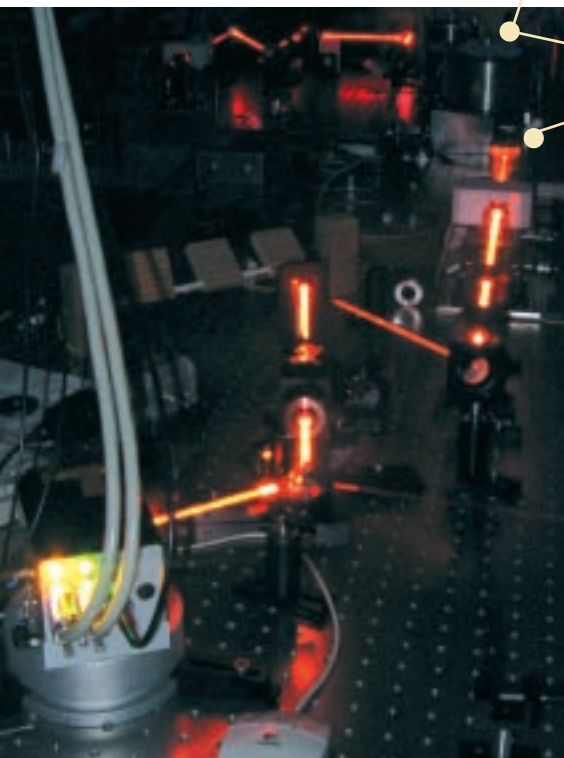
tercepter, cela perturberait immédiatement la communication.»

Une grande partie des études menées par les chercheurs du GAP consiste à tester la robustesse de l'intrication. Ils ont ainsi réussi à vérifier qu'elle pouvait survivre sur 25 kilomètres dans une fibre optique reliant les villages de Bernex et de Bellevue, dans la campagne genevoise. Ils ont également développé une manière de créer des photons intriqués n'ayant pas exactement la même longueur d'onde, l'une de 1310 nanomètres et l'autre de 1550. «C'est ce qu'on appelle de la recherche orientée, note Nicolas

de chaque paire conjointe doivent en effet se rencontrer exactement au même moment pour pouvoir se «mélanger» et s'intriquer. Ce qui est réalisable avec un seul relais devient impossible avec plusieurs.

Une des solutions envisagées pour aller plus loin serait de stocker l'intrication, ne serait-ce qu'une milliseconde, le temps qu'arrive le photon de la paire suivante. Certaines équipes sont justement parvenues à intriquer un photon et un atome, qui pourrait jouer le rôle de «mémoire». Seulement, cette opération nécessite des photons ayant une

le relais quantique



La télécommunication du futur pourrait bien profiter des propriétés exotiques de la physique quantique.

longueur d'onde de 710 nanomètres, bien loin de celles qu'utilisent les fibres optiques.

C'est cette difficulté que Sébastien Tanzilli, assistant au GAP et premier auteur de l'article paru dans *Nature*, est parvenu à résoudre. Le chercheur a utilisé les paires de photons intriqués dissymétriques de 1310 et 1550 nm de longueur d'onde. Il a alors récupéré le premier et l'a fait passer dans un cristal spécialement conçu pour l'expérience et qui possède des propriétés dites non linéaires. Dans ce milieu, en effet, le grain de lumière de 1310 nm génère – tout en étant détruit – un autre photon de 710 nm auquel il transmet l'information – ou l'état – quantique qu'il transporte. La plus grande prouesse du chercheur aura d'ailleurs été d'élaborer un filtre efficace permettant de retrouver cet unique photon perdu parmi des mil-

liards et des milliards d'autres. Finalement, Sébastien Tanzilli a pu vérifier que ce nouveau venu est intriqué avec le deuxième photon de la paire, celui de 1550 nm, avec lequel il n'a jamais eu de contact direct.

Une fidélité de plus de 99%

«Cette opération consistant à modifier la longueur d'onde du photon tout en conservant l'intrication a montré une efficacité de 5%, précise Sébastien Tanzilli. Ce n'est pas grand-chose, mais c'est tout de même significatif. On peut imaginer augmenter ce rendement par des améliorations techniques. En revanche, en cas de succès, l'intrication entre les photons de 710 et 1550 nm, qui ne

se sont jamais rencontrés, est d'une fidélité de plus de 99%.»

Le transfert réussi d'un qubit – un bit quantique – d'un photon capable de circuler dans les fibres optiques de télécommunication à un atome pouvant servir de mémoire de stockage temporaire est une étape importante. Mais il y en aura encore beaucoup d'autres avant que la communication quantique – et pourquoi pas un jour les ordinateurs quantiques – ne devienne une réalité. Et Nicolas Gisin de professer: «Le XXI^e sera celui de la technologie quantique, comme le XX^e était celui de l'électronique.» ■

Anton Vos

«Intrications» intrigantes

Le phénomène de l'intrication est difficile à concevoir si l'on s'en tient à nos références classiques. Il désigne un lien invisible qui peut unir deux particules ou plus et se crée lorsque ces dernières sont «mélangées» ou produites lors du même processus. Les équations de la mécanique quantique prévoient alors que si l'on agit sur l'une d'elles, cela affectera instantanément l'autre. A tel point que si cette influence était transmise d'un grain de lumière à l'autre, alors elle devrait se déplacer à des millions de fois la vitesse de la lumière.

«Il n'y a pas forcément de contradiction avec la relativité générale, précise Nicolas Gisin, professeur au Groupe de physique appliquée. L'intrication montre en effet qu'il existe une réalité dite non locale. C'est-à-dire qu'un même événement aléatoire peut se dérouler en deux endroits différents. Précisons aussi que la communication quantique ne correspond pas au transfert d'une particule d'un endroit à l'autre, mais plutôt au transfert de l'état physique d'une particule vers une autre. C'est donc bien de l'information qui est ainsi "téléportée" et non pas de l'énergie.»

Il faut savoir qu'en mécanique quantique, par définition, l'état d'une particule ne détermine

pas toutes ses propriétés. Par exemple, la polarisation d'un photon intriqué (verticale ou horizontale) est parfaitement indéterminée tant qu'il n'a pas été capté par un détecteur. De plus, le résultat de cette mesure est totalement aléatoire – cela a été vérifié maintes fois. Il faut juste admettre que deux particules intriquées partagent le même hasard. Si l'on imagine deux joueurs jouant chacun de son côté à pile ou face et que l'on admet qu'ils sont intriqués, alors ils obtiendront tous les deux des tirages totalement aléatoires. Mais si l'on compare les deux listes de résultats, on remarquera qu'elles sont identiques.

A.Vs