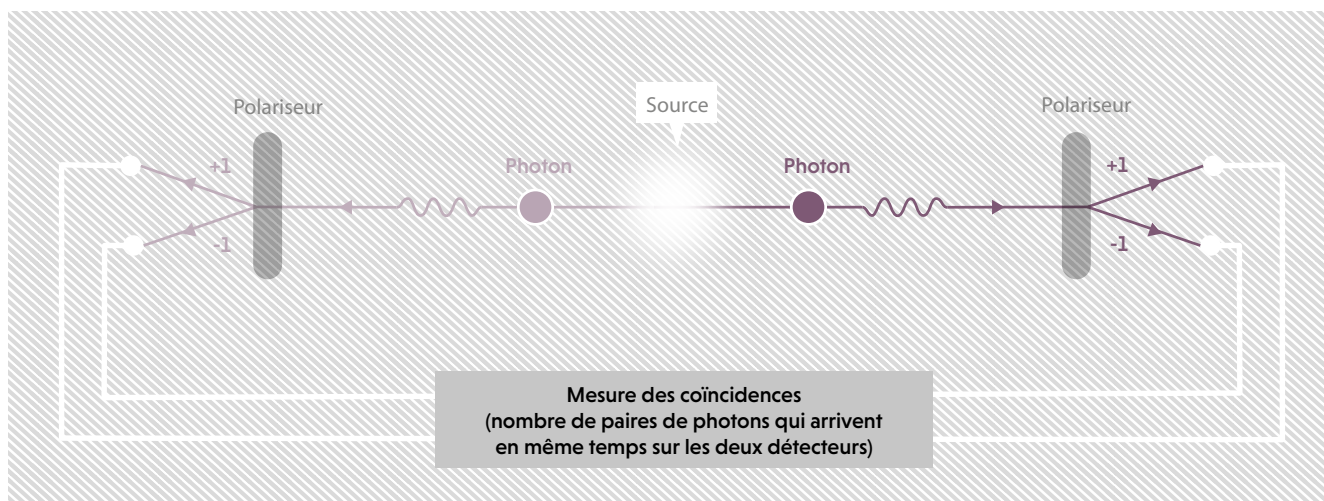




Dans les expériences de 1982 de l'équipe d'Alain Aspect, une source émet des paires de photons intriqués. Chaque photon est dirigé vers un dispositif qui en mesure la polarisation selon des directions qui sont modifiées pendant la propagation des photons. Les résultats des mesures simultanées (en coïncidence) sur les deux photons sont enregistrés et soumis au test de Bell.

importantes sur la physique des trois dernières décennies. L'une est conceptuelle: nous avons dû accepter la révolution quantique dans son aspect le plus contre-intuitif, la non-localité quantique. L'autre est plus concrète: nous avons assisté au développement de technologies quantiques fondées sur l'intrication, au cœur de la seconde révolution quantique.

C'est à Einstein lui-même, à son corps défendant, que nous devons l'idée de non-localité quantique. En 1949, dans sa réponse à Bohr dans le livre *Albert Einstein: philosopher-scientist*, Einstein revient sur le raisonnement EPR. Il conclut que les seules façons de réfuter sa conclusion (que chaque particule, ou système – notés ici S1 et S2 –, a sa propre réalité physique locale) seraient «soit de supposer que la mesure sur S1 change (par télépathie [ce sont les mots écrits par Einstein, pour discréditer cette possibilité]) la situation réelle de S2, soit de refuser l'indépendance des situations réelles de deux systèmes séparés l'un de l'autre spatialement». Einstein raisonne ici par l'absurde et écrit que «les deux alternatives [lui] semblent inacceptables».

Mais après la violation expérimentale des inégalités de Bell, c'est à la conclusion d'Einstein qu'il faut renoncer, et on doit admettre l'une ou l'autre des deux hypothèses qu'il considérait absurdes, qui sont en fait deux façons de voir la non-localité quantique: (i) il peut y avoir une influence instantanée de la mesure en S1 sur le système séparé S2; (ii) les systèmes S1 et S2, bien que séparés spatialement, n'ont pas des situations réelles indépendantes. (Quand Einstein parle de séparation spatiale, il faut le comprendre au sens relativiste: aucun signal voyageant à une vitesse inférieure à celle de la lumière ne peut relier deux événements séparés spatialement.)

On peut faire remonter les premières idées sur les technologies quantiques à un article de Richard Feynman, au début des années 1980.

Prenant conscience du caractère extraordinaire de l'intrication, révélé par la violation des inégalités de Bell, il a suggéré qu'un ordinateur quantique, formé de bits quantiques intriqués, serait exponentiellement plus puissant que les ordinateurs classiques. Avec le développement de techniques expérimentales de plus en plus élaborées visant à maîtriser l'intrication, les premières démonstrations de calcul quantique élémentaire ont déjà été publiées.

L'ÈRE DE L'INFORMATION QUANTIQUE

Par ailleurs, l'utilisation de sources de photons uniques ou intriqués, initialement développées pour tester les fondements de la mécanique quantique, a permis des démonstrations spectaculaires de transmission d'information dont la sécurité repose sur les fondements de la mécanique quantique: c'est la fameuse cryptographie quantique.

Aujourd'hui, la communauté européenne a décidé d'investir des centaines de millions d'euros dans le développement des technologies quantiques, en stimulant la collaboration entre laboratoires académiques et industriels, tandis que la Chine fait un effort analogue, voire plus important. Aux États-Unis, cette recherche est menée grâce aux sommes considérables investies par les compagnies privées Google, Intel, Microsoft, donnant l'exemple à des sociétés européennes, comme Atos, qui viennent de se lancer dans la course.

Quand on se retourne sur cette histoire, on voit une discussion sur les fondements être tranchée par des expériences, dont les succès ont stimulé les idées sur l'information, le calcul et la métrologie quantiques. Saurons-nous leur donner une forme utilisable pour des applications qui pourraient changer la société? La réponse sera expérimentale. Fondamentale ou appliquée, la science a besoin des expériences pour progresser. ■

BIBLIOGRAPHIE

A. Aspect, **Le débat Einstein-Bohr est clos**, *Dossier Pour la Science*, n° 93, oct.-déc. 2016.

A. Aspect *et al.*, **Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A new violation of Bell's inequalities**, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 49, pp. 91-94, 1982.

A. Aspect *et al.*, **Experimental test of Bell's inequalities using time-varying analyzers**, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 49, pp. 1804-1807, 1982.

N. Bohr, **Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?**, *Phys. Rev.*, vol. 48, pp. 696-702, 1935.

A. Einstein *et al.*, **Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?**, *Phys. Rev.*, vol. 47, pp. 777-780, 1935.