

Séance du 17 mars 2001

Les corrélations quantiques à l'épreuve de l'expérience : au-delà du réalisme local
par **Alain Aspect**, membre de l'Institut

Résumé

En 1935, Einstein et ses collègues Podolsky et Rosen ont découvert une prédiction extraordinaire de la mécanique quantique. Pour deux particules, le formalisme quantique autorise l'existence d'états où les propriétés des particules sont tellement corrélées que l'ensemble des deux particules semble ne former qu'un seul objet inséparable. Cette propriété d'«intrication quantique» existe même pour des particules éloignées l'une de l'autre, et les corrélations fortes existent a priori même pour des mesures quasi simultanées, de telle sorte qu'aucun signal ne pourrait les connecter à une vitesse inférieure à celle de la lumière. Comme la relativité exclut la possibilité de signaux qui iraient plus vite que la lumière, Einstein en conclut que les corrélations entre mesures sur les deux particules ne peuvent s'interpréter qu'en admettant que les deux particules ont acquis des propriétés communes lors de leur préparation (ou séparation ?) en un même point de l'espace, et que lors de l'évolution ultérieure suivant leur séparation, chaque particule porte en elle cette propriété initiale. Les physiciens appellent «réalisme local» cette vision du monde défendue par Einstein, où un objet isolé dans l'espace possède en propre un certain nombre de propriétés, dont l'ensemble constitue la réalité physique de l'objet.

Niels Bohr s'est opposé toute sa vie à cette vision des choses, affirmant mais sans le démontrer qu'elle est incompatible avec la vision quantique du monde, qui conduit à décrire les deux particules comme un tout inséparable. À l'époque du débat Bohr-Einstein, le conflit portait sur l'interprétation des corrélations prévues par la mécanique quantique, mais pas sur l'existence de ces corrélations, ni sur la valeur prévue par la mécanique quantique. Il semble qu'Einstein pensait qu'il était possible de construire un modèle microscopique réaliste local, qui pourrait en moyenne redonner un résultat en accord avec les prédictions quantiques (qui, on le sait, ne sont que probabilistes).

Mais en 1965 Bell démontra qu'en fait la vision locale conduit à des prédictions qui peuvent différer quantitativement des prédictions quantiques dans certains cas particuliers. Une série d'expériences sur des photons intriqués, commencées au début des années 1970, portées à un niveau très convaincant à Orsay au début des années 1980, et confirmées récemment avec des techniques toujours plus sophistiquées, ont donné des résultats en parfait accord avec la mécanique quantique, rejetant du même coup la vision réaliste locale.

Il faut admettre que deux photons intriqués éloignés constituent un tout inséparable, qu'on ne peut pas se représenter comme deux objets avec des réalités physiques autonomes séparées dans l'espace.