

est inactivé dans chaque cellule de l'œuf (au stade de quelques cellules) de façon aléatoire, mais définitive. Si, dans l'embryon précoce, c'est le chromosome qui porte la mutation qui est inactivé, le chromosome normal s'exprime, et cette cellule (et ses cellules filles) se développe normalement. Au contraire, dans les cellules issues d'une cellule où le chromosome X sain a été inactivé, et où le gène *Doublecortine* est anormal, aucune des deux copies du gène ne s'exprime : la migration est incorrecte. Chez les garçons, qui n'ont qu'un chromosome X, le gène *Doublecortine* qui s'exprime est toujours anormal : les anomalies de migration (cortex lisse et trop épais) sont plus graves que chez les filles.

Ce gène code une protéine inconnue ; c'est une protéine vraisemblablement intracellulaire qui ressemble, en partie, à une protéine connue dont l'activité est régulée par la concentration en ions calcium. Bien que l'on sache que les ions calcium participent à la migration des cellules et à l'apoptose, on ignore encore les mécanismes physiopathologiques déclenchés par les mutations du gène *Doublecortine*.

Les hérérotopies en bandes et les lissencéphalies sont parfois héréditaires, mais nombre de ces maladies sont sporadiques. Elles sont transmises par une cellule de la reproduction mutée, le plus souvent par un spermatozoïde ayant subi une mutation aléatoire sur le gène *Doublecortine*. Lorsqu'une fille hérite de cette mutation, elle n'a parfois qu'une mince bande de cortex hétérotopique observée à l'IRM, mais peu de signes cliniques. En revanche, devenue adulte, elle risque d'avoir des garçons ayant une lissencéphalie et des filles ayant des hétérotopies en bandes plus ou moins graves.

Connaissant ce nouveau gène du développement, les généticiens vont fabriquer des modèles animaux où le gène *Doublecortine* sera inactivé. Ce nouveau gène sera un élément essentiel pour la compréhension des mécanismes de l'organisation du cortex. De surcroît, la recherche des mutations potentielles que contient ce gène offrira un diagnostic moléculaire de la maladie. Un conseil génétique pourra établir si les filles d'une famille atteinte portent ou non le gène muté, et un diagnostic prénatal sera offert aux familles qui le souhaitent.

Pourtant, aux questions éthiques que pose tout diagnostic prénatal, s'ajoute la grave question du pronostic de la gravité de l'atteinte chez les filles : si l'anomalie est toujours dramatique chez un garçon, chez une fille, le handicap est parfois léger. On n'a aucun moyen de prévoir la gravité de la maladie qui résulte d'une anomalie génétique localisée sur l'un des deux chromosomes X.

PIERRE THUILLIER
**La revanche
des sorcières**
L'irrationnel et la pensée scientifique

BELIN

La science, nous dit-on, est «objective» et «neutre». Un fossé pratiquement infranchissable séparerait la rationalité scientifique du domaine maudit de «l'irrationnel».

Le puritanisme rationaliste, pourtant, risque fort de dissimuler la profondeur et la multiplicité des relations qui unissent le monde de la science à celui de la religion, pis encore à celui de la magie. Maints exemples, dont le plus fameux est sans doute fourni par Newton, sont là pour le confirmer : la science expérimentale a une dette envers les sciences dites «occultes».

Pierre Thuillier est philosophe et historien des sciences. Il enseigne à l'université Paris VII.

code 2110 – 160 pages

Prix : 132 F

Voir bon de commande p. 98


BELIN

La téléportation quantique

Copie d'une particule à distance.

Albert Einstein, fondateur de la relativité, n'admettait pas l'idée d'une action instantanée à distance. Or la mécanique quantique prévoit des actions de ce type. De nombreuses expériences confirment aujourd'hui que, dans une paire de photons dont les états quantiques sont corrélés, la mesure de l'état d'un photon entraîne instantanément une modification de l'état de l'autre photon, quel que soit leur éloignement.

Une paire de photons corrélés peut être représentée par une paire de cartes, l'une noire, l'autre rouge. Donnons ces cartes retournées à deux voyageurs qui s'éloignent. Le premier voyageur décide de retourner sa carte et trouve une carte rouge. Nécessairement, l'autre carte est noire. On comprend que si le premier voyageur ne prévient pas le second de la couleur de sa carte, ce dernier ne peut pas savoir qu'il la verra noire s'il la retourne. Comme le résultat de la mesure du premier voyageur est imprévisible (il aurait pu avoir une carte noire) et que le premier voyageur ne communique pas avec le second à une vitesse infinie, le second ne peut recevoir instantanément l'information.

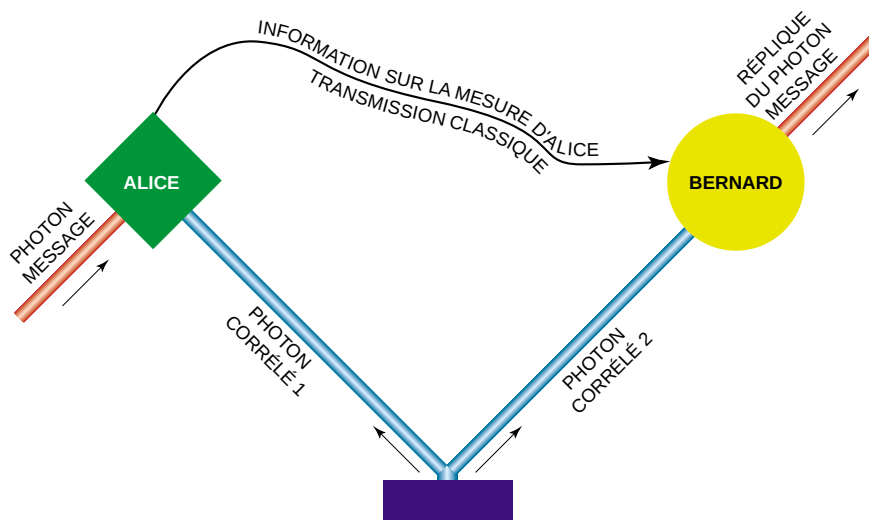
Le corrélation quantique diffère cependant de cette analogie classique :

la couleur de la carte est n'importe quel mélange de rouge et de noir et cette couleur n'est pas fixée tant que la carte n'est pas retournée ; puis, lorsque la carte est retournée, elle affiche une couleur, qui détermine la couleur opposée de l'autre carte (par exemple, rouge + noir pour la première carte devient, pour la seconde carte, rouge – noir).

Le résultat d'une mesure quantique étant fondamentalement impossible à prédire, cette action à distance, non locale, ne peut être utilisée pour propager une information déterminée plus vite que la lumière. Il est néanmoins possible d'utiliser les corrélations pour «téléporter» un photon à quelques centimètres de distance, comme viennent de le faire Anton Zeilinger et ses collègues de l'Université d'Innsbruck.

Imaginons qu'Alice veuille envoyer un message à son ami Bernard, à l'aide d'un canal de téléportation constitué d'une paire de photons corrélés émis par une source extérieure ; Alice et Bernard reçoivent chacun un élément de la paire. Lorsque le photon que détient Alice est modifié, le photon que détient Bernard est modifié instantanément. Ce lien invisible entre Alice et Bernard est fragile : pour maintenir la corrélation, les photons doivent être isolés de leur environnement.

Une tierce personne donne à Alice un photon dont l'état constitue le message. Selon les lois de la mécanique quantique, Alice ne peut connaître le message car toute mesure modifie l'état quantique du système mesuré. Dans ces conditions, comment Alice peut-elle transmettre le message à Bernard ?



Pour téléporter un photon message entre Alice et Bernard, on utilise une paire de photons corrélés. Alice reçoit le photon message et le premier photon corrélé de la paire. Lorsque ces photons arrivent en même temps, elle peut mesurer l'état quantique de la combinaison des deux particules. Cette mesure perturbe le photon corrélé 1. Comme le photon 2 est corrélé au photon 1, son état est instantanément modifié. Alice transmet alors classiquement à Bernard l'information sur la mesure effectuée. À l'aide de cette information, Bernard modifie son photon corrélé de sorte qu'il devienne une réplique exacte du photon message.

Alice mélange de manière indiscernable le photon message et le photon de la paire qu'elle détient. Ce système peut être dans quatre états quantiques possibles. Dans l'expérience réalisée à Innsbruck, Alice ne peut connaître l'état du système que lorsque celui-ci est dans l'un des quatre états. Quand elle fait la mesure et que le système est effectivement dans cet état favorable, elle connaît l'état du système. Au cours de sa mesure, le système est perturbé et le message est irrémédiablement détruit. Cependant, en raison de la corrélation de la paire de photons, la photon de Bernard est instantanément modifié, conformément à la mesure d'Alice.

Bernard ignore toutefois que son photon a été modifié et ne sait encore rien du message. Alice lui transmet alors, par un moyen de télécommunication classique, le résultat de sa mesure (qui à lui seul est insuffisant pour reconstruire le message). Grâce à l'information sur cette dernière, Bernard peut effectuer une expérience pour transformer le photon corrélé qu'il a reçu en un photon identique au photon message. Comme les photons sont indiscernables, sauf par leur état, le photon message que détenait Alice a été «téléporté» à Bernard. Notons cependant que, pour reproduire le message, Bernard a eu recours au résultat de la mesure d'Alice, transmis via un moyen de communication classique, de sorte que la copie de la particule peut se faire au mieux à la vitesse de la lumière.

L'expérience ne fonctionne que lorsqu'Alice reçoit simultanément sur son détecteur le photon message et le photon corrélé, émis indépendamment, ce qui se produit seulement pour une faible fraction des paires reçues. De surcroît, nous avons vu que l'information acquise par Alice, dans la mesure du système composé des deux photons, n'est suffisante pour reconstituer le message que dans un cas sur quatre. C'est un peu comme si, dans *Star Trek*, lors de la téléportation de Monsieur Spock, seuls un quart de ses atomes, pris au hasard, étaient téléportés.

Si cette expérience confirme une nouvelle fois la non-localité de la mécanique quantique, son intérêt pratique est limité. D'une part, un moyen de communication classique est nécessaire, ce qui empêche la simultanéité. D'autre part, seuls des photons ont été ainsi téléportés. Toutefois, on entrevoit maintenant la téléportation d'atomes, ce qui serait plus intéressant, et ces résultats pourraient être utilisés dans le domaine de la cryptographie quantique, une technique de transmission de messages dont la confidentialité est absolue.

Les grands ouvrages

Notre époque se passionne pour le microscopique : micromachines, microtransistors, gènes, protéines... Nous passons, blasés, devant les grands ouvrages et nous ne nous émerveillons plus comme à l'époque de Louis Figuier ou de Camille Flammarion, quand furent construits la tour Eiffel ou le canal de Suez. Pourtant les tours gigantesques se perdant dans les nuages ou les ponts enjambant d'immenses détroits sont des constructions comme on n'en a jamais vues.

Ce dossier présente quelques-unes des réalisations les plus grandioses du génie civil moderne. L'Asie, avec son rapide développement économique, a battu des records. En Chine, le colossal barrage des Trois Gorges, sur le fleuve Yangzi, rivalise avec d'autres réalisations gigantesques, en Malaisie, au Japon et à Hong Kong. Leurs dimensions inégalées mettent à l'épreuve les producteurs de matériaux (on évoquera les progrès de l'industrie du béton à titre d'exemple), comme les cabinets d'ingénieurs. L'imagination ne manque pas et les limites techniques sont sans cesse dépassées.