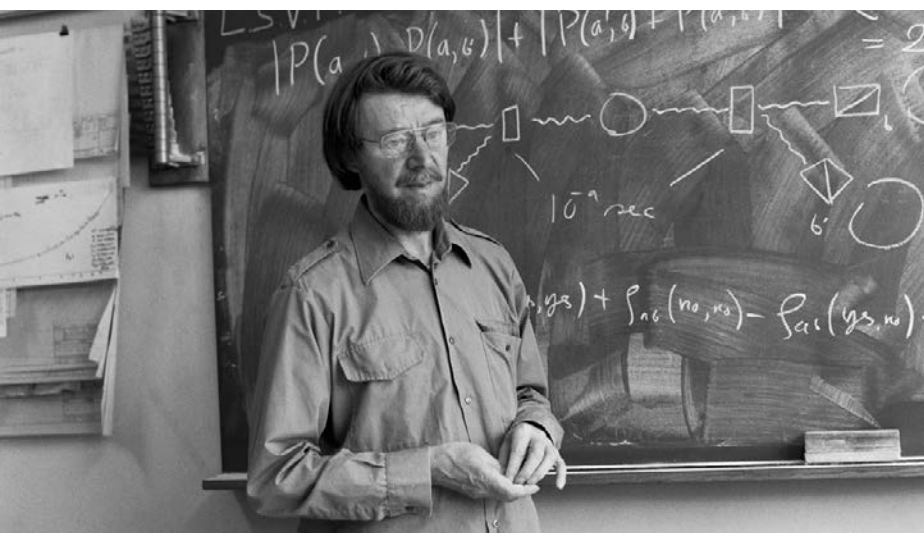




Le physicien John Bell a formulé les inégalités qui portent son nom, en 1964. Des expériences, notamment celles d'Alain Aspect et ses collègues au début des années 1980, ont montré que ces inégalités sont violées. Ce résultat implique que la théorie quantique est non locale.

continue sans effondrement de la fonction d'onde. L'indéterminisme quantique est alors simplement la manifestation de notre ignorance des variables cachées.

Une deuxième voie, particulièrement osée, est l'interprétation des mondes multiples, qui repose sur des idées publiées en 1956 par le physicien américain Hugh Everett. À chaque mesure, toutes les prédictions possibles se réalisent, mais dans des mondes différents. Il n'y aurait donc jamais d'effondrement de la fonction d'onde. La réalité serait beaucoup plus vaste que celle à laquelle nous avons accès. L'indéterminisme serait la manifestation de notre ignorance sur notre localisation dans cette réalité élargie : toutes les prédictions de la théorie seraient réalisées, mais nous occuperions une certaine « branche » de la réalité, de sorte que nous ne verrions qu'un seul des résultats parmi tous ceux *a priori* possibles.

Une troisième possibilité est que la physique quantique n'est pas cohérente en soi, car elle ne serait qu'une approximation d'une théorie plus fondamentale à la dynamique complexe et non linéaire que nous n'avons pas encore directement observée. Cette dynamique est réalisable de différentes façons. Par exemple, les physiciens Giancarlo Ghirardi, Alberto Rimini et Tullio Weber ont proposé en 1986 un mécanisme, dit de réduction dynamique, qui provoque de façon aléatoire l'effondrement de la fonction d'onde. Pour une particule individuelle, l'effondrement de la fonction d'onde serait un événement très rare, qui se manifesterait en moyenne une fois tous les milliards d'années. Mais sur un objet macroscopique contenant de l'ordre de 10^{23} particules, on aurait souvent des effondrements, de sorte qu'un état non superposé se dessinerait.

La quatrième possibilité, enfin, est la plus chère à l'un d'entre nous (Carlo Rovelli), qui l'a proposée en 1994. L'idée est de prendre la

physique quantique comme elle est, c'est-à-dire sans y ajouter de variables cachées et sans faire appel à des mondes multiples ou à une dynamique non observée. Les aspects apparemment paradoxaux de la théorie seraient engendrés par le fait qu'on oublie de tenir compte du caractère relatif de toutes les grandeurs physiques qui décrivent un système. Elles sont toujours définies relativement à un autre système physique (de la même façon que la vitesse d'un objet est définie seulement par rapport à un autre objet). Cette interprétation de la physique quantique, nommée interprétation « relationnelle », s'inspire de la relativité restreinte. Ainsi, si pour un observateur, un système est dans un seul état suite à l'effondrement de la fonction d'onde, il pourrait être encore dans une superposition d'états pour un autre observateur. Les états ne décrivent pas le système observé lui-même, mais une relation entre le système et l'observateur.

Ces quatre pistes pour mieux comprendre la physique quantique ont néanmoins toutes un coût conceptuel élevé : chacune exige de renoncer à quelque chose qui n'est pas facile à abandonner. La théorie de Broglie-Bohm se heurte à certaines difficultés quand on veut l'associer à la théorie de la relativité restreinte et demande d'accepter qu'une partie de la réalité est en principe inobservable. L'interprétation des mondes multiples demande d'imaginer qu'il y aurait une infinité inaccessible de couches de réalité, sans compter qu'il n'est pas aisé de relier ces mondes multiples à notre expérience. Les théories de réduction dynamique impliquent un phénomène d'effondrement spontané de la fonction d'onde que l'on n'a pas observé dans les expériences. L'interprétation relationnelle nous empêche de décrire le monde physique dans sa globalité : on peut seulement décrire une partie du monde par rapport à une autre.

L'ÉPREUVE DE LA GRAVITÉ QUANTIQUE

Les discussions entre les théoriciens qui défendent l'une ou l'autre de ces pistes (ou d'autres encore) sont souvent très animées. Cela dit, comme le conseillait le physicien américain Richard Feynman : « Les lois plus générales de la physique admettent souvent des formulations et des interprétations très différentes ; mais un bon théoricien doit savoir les utiliser toutes, car nul ne sait laquelle se révélera la plus efficace. » Cette attitude est peut-être la plus recommandable vis-à-vis des difficultés conceptuelles de la physique quantique. Seule la suite de l'histoire pourra nous dire quelle est en définitive l'interprétation qui se montrera la plus efficace et utile. D'autant qu'il est un domaine d'étude qui permettrait de mettre à l'épreuve les différentes