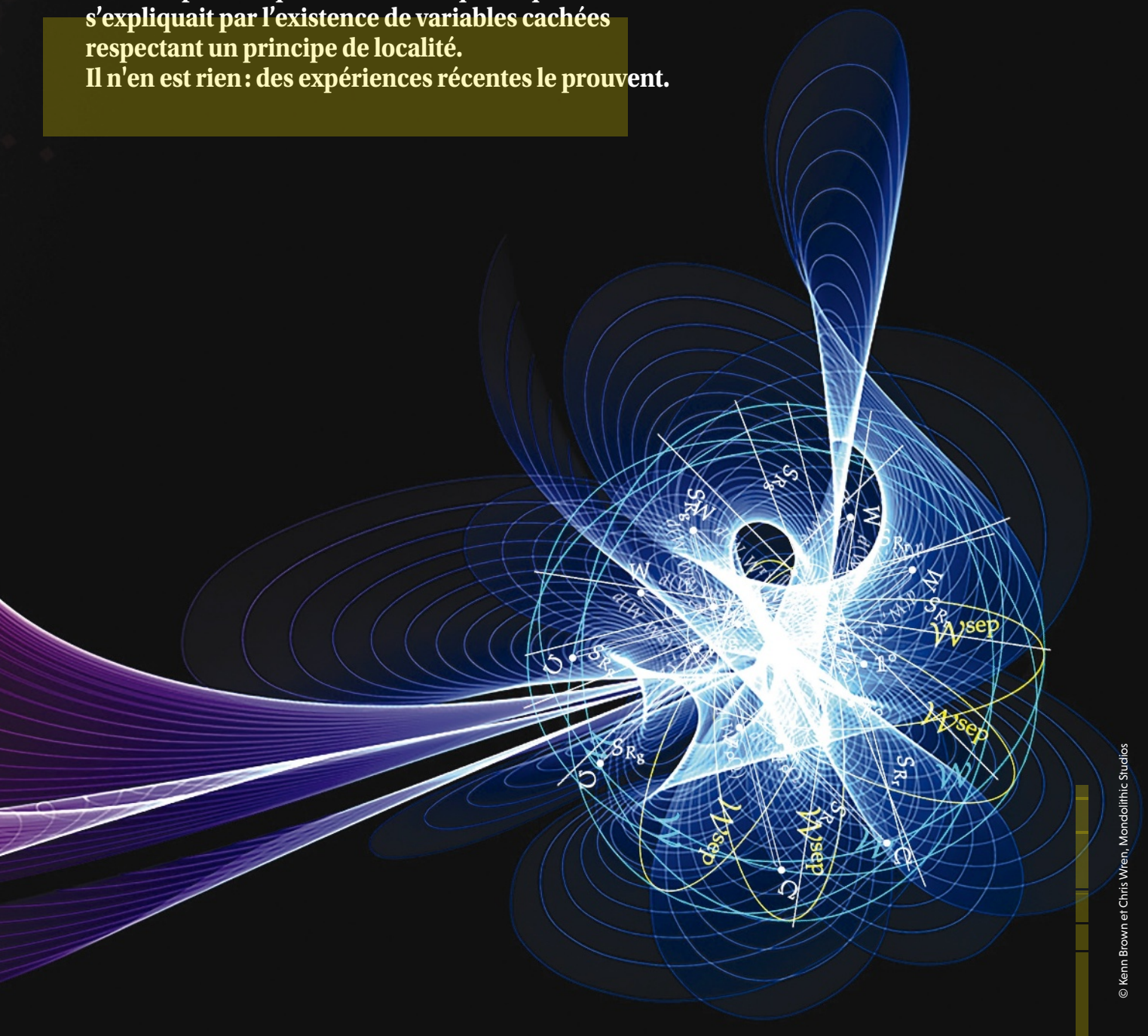


L'intrication quantique défie l'intuition physique classique. Elle établit un lien instantané entre deux particules (*en rouge et en bleu*) même si elles sont très distantes l'une de l'autre.

Pas d'échappatoire pour l'intrication

Einstein pensait que l'intrication quantique s'expliquait par l'existence de variables cachées respectant un principe de localité. Il n'en est rien : des expériences récentes le prouvent.



L'ESSENTIEL

● En 1964, le physicien John Bell a montré comment tester la nature de l'intrication quantique, phénomène par lequel deux particules conservent un lien «fantomatique» même quand elles sont très éloignées l'une de l'autre.

● Pour Einstein, l'intrication était la preuve que la physique quantique était incomplète: des «variables cachées locales» expliqueraient le phénomène.

● Plusieurs équipes ont mis en œuvre le test de Bell. Les résultats semblaient

écarter l'hypothèse des variables cachées et confirmaient les prédictions de la physique quantique. Mais ces expériences comportaient des failles (ou «échappatoires»), qui ne permettaient pas d'éliminer complètement l'hypothèse de variables cachées agissant en coulisses.

● Finalement, en 2015, plusieurs groupes ont réalisé les premiers tests de Bell sans échappatoire, qui excluent définitivement toute explication par des variables cachées locales.

LES AUTEURS



RONALD HANSON est physicien à l'université de technologie de Delft, aux Pays-Bas.



KRISTER SHALM est physicien au NIST (Institut américain des normes et de la technologie) et à l'université du Colorado à Boulder.

C

ertaines révolutions débutent discrètement. Ce fut le cas de celle entamée en 1964, lorsque le physicien nord-irlandais John Bell, alors au Cern, expliqua comment répondre à une question profonde qui avait beaucoup préoccupé les fondateurs de la physique quantique. Il s'agissait de savoir si des particules séparées par de grandes distances conservent un lien tel que des mesures effectuées sur l'une influent instantanément sur l'autre. En physique classique, une telle influence est impossible, car aucun signal ne peut se propager plus vite que la lumière. Mais dans le cadre de la théorie quantique, cela semble être le cas. Grâce aux inégalités mathématiques qu'il a trouvées, Bell a ouvert la possibilité de sonder la nature de ce lien.

Cinquante ans plus tard, les idées de Bell ont profondément changé notre vision de la théorie quantique. Et les physiciens se sont inspirés du test de Bell pour inventer de nouvelles technologies. Pourtant, ce n'est qu'en 2015 que les scientifiques ont réussi à vérifier les prédictions du théorème de Bell de la façon la plus complète qui soit. Ces expériences marquent la fin d'une longue quête et le début d'une nouvelle ère dans le développement d'applications quantiques.

Pour comprendre ce que Bell a fait, revenons aux racines de la physique quantique, cette théorie décrivant le comportement de la lumière et de la matière aux plus petites échelles. L'une des principales différences est que les atomes, les électrons et les autres particules subatomiques existent dans des états marqués du sceau de l'incertitude. Prenez par exemple le spin d'un électron, une propriété purement quantique correspondant à un moment cinétique intrinsèque. Si un électron dont le spin est orienté horizontalement traverse un champ magnétique orienté verticalement, le spin basculera vers le haut avec une probabilité de 50%, et vers le bas avec une probabilité de 50%, le résultat étant aléatoire par nature.

Comparez cela à une pièce que l'on tire à pile ou face. Nous sommes tentés de penser que le lancer de pièce est aussi aléatoire, mais si nous connaissions précisément la masse de la pièce, la force employée pour la lancer, les détails des courants d'air qui l'atteignent... nous pourrions prédire comment la pièce va retomber. Le caractère aléatoire provient dans ce cas d'un manque d'information sur le système.

UN ALÉA FONDAMENTAL

Pour le spin de l'électron, c'est une toute autre affaire. Même si nous connaissons parfaitement toutes les propriétés de l'électron et de son spin avant qu'il ne traverse le champ magnétique, l'incertitude quantique nous empêche de prévoir de quel côté le spin basculera. Avec un spin initial horizontal, l'électron est dans une superposition à poids égaux des états de spin «haut» et «bas». Si une mesure est réalisée sur l'électron selon l'axe vertical, cette superposition cesse d'exister: elle se réduit à l'un de ses termes et l'on obtient un résultat unique; on mesure un spin orienté soit vers le haut, soit vers le bas.