

Si le projet IfQ repose sur des fondements irréalistes, font remarquer certains sceptiques, peut-il vraiment produire des résultats valables? «C'est une critique légitime», concède Netta Engelhardt. «Pourquoi nous concentrons-nous sur ce modèle simplifié? Tout cela dépend de la validité du modèle simplifié et de l'idée que, *in fine*, il est une version approchée, mais satisfaisante, de notre Univers. J'aimerais avoir la certitude que si nous comprenons le modèle simplifié, nous comprendrons la réalité.» Les participants du projet IfQ font le pari qu'en partant d'un tableau simplifié plus facile à manipuler, ils pourront à terme y greffer la complexité nécessaire pour appliquer la théorie au monde réel.

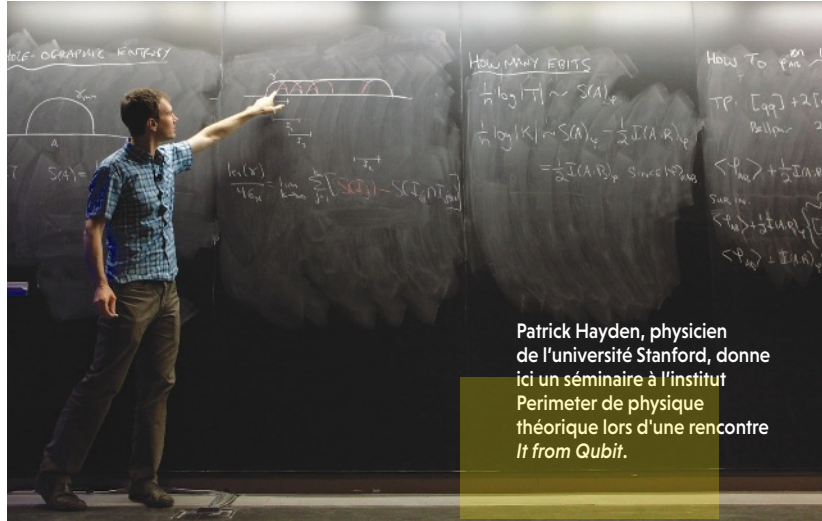
Malgré ces réserves, les physiciens affirment que l'approche vaut la peine d'être tentée. Elle a déjà ouvert de nouvelles pistes de recherche intéressantes. «Je pense depuis longtemps que la relation entre l'information quantique et la gravitation quantique est d'une importance fondamentale», confie Raphael Bousso, physicien à l'université de Californie à Berkeley. «La connexion s'est approfondie au fil des ans, et je suis ravi de voir autant de chercheurs talentueux travailler ensemble pour s'atteler à ces questions et voir où elles nous mènent.»

Théoricienne à l'université Stanford, Eva Silverstein, qui elle non plus n'est pas membre du projet, est du même avis: «Il est clairement utile de développer l'information quantique et de l'appliquer à ces problèmes. Mais pour comprendre la dynamique [de la gravitation quantique], il faut encore d'autres éléments, et il est important que la discipline ne se concentre pas trop sur une approche unique.»

UN PROJET QUI PORTERA DES FRUITS

De plus, même si le projet n'aboutit pas au développement d'une théorie quantique de la gravitation, il aura vraisemblablement des retombées fructueuses. L'application de techniques et d'idées inspirées de la théorie des cordes et de la relativité générale à des questions d'information quantique aidera, par exemple, à mieux définir les différents types d'intrication quantique, à la fois pour comprendre l'espace-temps et pour construire des ordinateurs quantiques.

«Quand vous commencez à jouer avec ces outils dans un cadre différent, il y a de bonnes chances que cela mène à de nouvelles idées qui sont intéressantes et qui pourraient être utiles dans d'autres domaines», s'enthousiasme Dorit Aharonov, spécialiste en informatique quantique à l'université hébraïque de Jérusalem et participante au projet IfQ. «Il semble que l'on soit en train de progresser sur des questions posées depuis de nombreuses années, ce



Patrick Hayden, physicien de l'université Stanford, donne ici un séminaire à l'Institut Perimeter de physique théorique lors d'une rencontre It from Qubit.

qui est passionnant.» Par exemple, des chercheurs ont trouvé qu'il serait possible de mesurer le temps à l'intérieur d'un trou de ver en le représentant comme un circuit quantique, que l'utilisation de la théorie des cordes et de l'intrication permet de définir certaines phases de la matière condensée, etc.

En outre, combiner information quantique et théorie des cordes aiderait aussi à évaluer les théories que les chercheurs proposeront. On peut se représenter n'importe quelle théorie physique comme un ordinateur, ses entrées et ses sorties étant l'équivalent d'un état initial et d'un état ultérieur, mesurable, décrits par la théorie. Lorsque les chercheurs proposeront une théorie candidate pour la gravitation quantique, ils pourront la tester avec cette analogie et se demander quelle est la puissance de calcul de la théorie. «Si cette puissance est trop grande, si notre modèle de gravitation quantique était capable de calculer des choses dont nous pensons qu'elles ne peuvent pas être calculées dans notre monde, cette théorie susciterait un doute», explique Dorit Aharonov. «C'est un moyen de dire, par une approche différente, si la théorie tient la route ou non.»

Le projet *It from Qubit* rappelle à certains physiciens une autre époque grisante où de grandes idées voyaient le jour. «J'ai commencé ma thèse en 1984, au moment de la révolution de la première théorie des cordes», dit Hiroshi Ooguri, physicien à Caltech, l'institut de technologie de Californie. «C'était une période très enthousiasmante, où la théorie des cordes émergeait en tant que principale candidate pour une théorie unifiée de toutes les forces de la nature. Je vois d'un même œil l'actuelle explosion d'intérêt autour de ces idées. C'est clairement une époque passionnante pour les jeunes de la discipline comme pour ceux d'entre nous qui ont obtenu leur thèse de doctorat il y a plusieurs décennies.» ■

BIBLIOGRAPHIE

V. BALASUBRAMANIAN ET AL., Superluminal chaos after a quantum quench, *Journal of High Energy Physics*, art. 132, 2019.

X. DONG ET AL., Flat entanglement spectra in fixed-area states of quantum gravity, *Journal of High Energy Physics*, vol. 1910, art. 240, 2019.

J. OPPENHEIM, A post-quantum theory of classical gravity?, 2018. arxiv.org/abs/1811.03116

P. BINÉTRUY, Au-delà de la relativité générale: «une théorie quantique de la gravitation est nécessaire», *Pour la Science*, n° 457, novembre 2015.

Site internet du projet *It from Qubit*: http://bit.ly/PLS475_IfQ

Le darwinisme quantique à l'heure des tests

Le darwinisme quantique est une des pistes explorées pour expliquer le passage du monde quantique à la réalité objective classique. Trois expériences récentes soutiennent le bien-fondé de cette idée.

La physique quantique dépeint un monde étrange et contre-intuitif. De fait, il ne ressemble en rien à celui dont nous faisons l'expérience au quotidien, au moins mécaniquement parlant. Jusqu'au xx^e siècle, tout le monde pensait que les lois de la physique classique formulées par Isaac Newton et d'autres s'appliquaient à toutes les échelles. Dans ce cadre, n'importe quel objet a une position et des propriétés bien définies à tous moments. Ce n'est pas le cas.

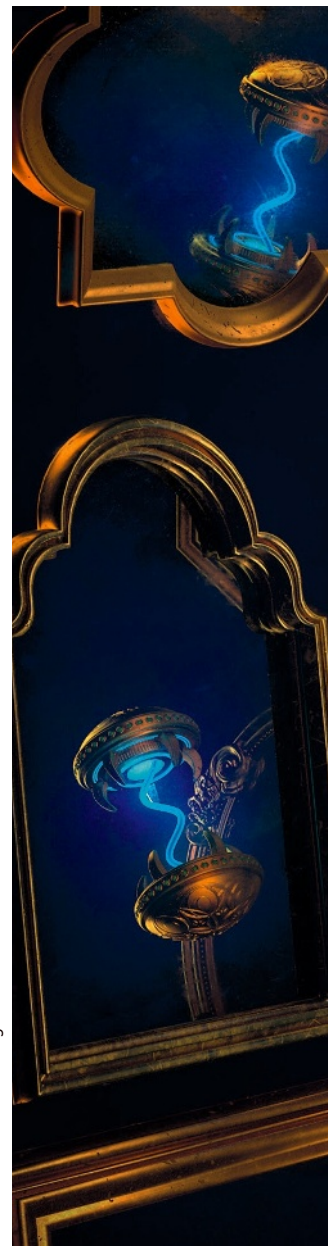
Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr et leurs contemporains ont découvert que, à l'échelle des atomes et des particules subatomiques, cette loi de bon sens disparaît, engloutie dans un océan de possibilités. On ne peut pas, par exemple, assigner une position définie à un atome: on peut à peine calculer la

probabilité de le trouver en tel endroit. La question devient alors: comment des probabilités du monde quantique peuvent-elles se métamorphoser en la réalité tangible du monde classique?

À propos de ce phénomène, les physiciens parlent de «transition quantique-classique». Toutefois, on découvre depuis peu qu'il n'y a pas de raison de penser que les règles changent selon les échelles, petite ou grande. En d'autres termes, aucune transition soudaine ne marque le passage entre les deux. Ces dernières décennies, des chercheurs ont mieux compris comment la mécanique quantique devient classique lorsqu'une particule, ou un autre système microscopique, interagit avec son environnement.

LA SURVIE DU PLUS APTE

Dans ce cadre, l'une des idées les plus intéressantes est que les propriétés classiques des objets (comme la position et la vitesse), résultent d'une sélection au sein d'un champ de possibilités quantiques selon un processus analogue à la sélection naturelle dans le monde vivant. Les propriétés qui survivent sont, en quelque sorte, les plus «adaptées». Ce sont elles qui génèrent ensuite le plus de copies d'elles-mêmes pour qu'en fin de compte de nombreux observateurs indépendants puissent mesurer un système quantique et se mettre d'accord sur le résultat. On retrouve alors une caractéristique du monde classique. ➤



© Olena Shmahalo/Quanta Magazine