

Ils ont aussi traqué des manifestations de la réduction lors d'expériences conçues pour détecter la matière noire – des particules hypothétiques dont on estime qu'elles représentent 85% de la matière dans l'Univers. Une telle expérience, installée dans les Pyrénées espagnoles, utilise des détecteurs en germanium pour chercher des signes des particules de la matière noire qui les traverseraient à toute vitesse en générant un flash de rayons X. Une fonction d'onde en pleine réduction devrait, de la même façon, créer un flash. Mais aucun n'a encore été détecté...

UNE MINI-POUTRE RÉDUITE

Ces expériences ont considérablement resserré les contraintes imposées aux modèles de réduction, mais pas au point d'en écarter le principe. En septembre 2017, Andrea Vinante, de l'université de Southampton, en Angleterre, avec Angelo Bassi et trois autres collègues, ont découvert un embryon de preuve en faveur de la localisation spontanée continue. Ils ont construit un cantilever miniature (une mini-poutre horizontale fixée à l'une de ses extrémités) d'à peine 1 demi-millimètre de longueur et de 2 micromètres d'épaisseur et doté d'un petit aimant. Les chercheurs ont soigneusement protégé l'installation contre toute vibration externe et ont refroidi le dispositif à une température proche du zéro absolu, afin d'éliminer tout mouvement d'origine thermique.

Dans ces conditions, le cantilever vibre malgré tout très légèrement à cause du mouvement thermique de ses particules. Mais l'oscillation s'est montrée plus importante que prévu. Le cantilever et son aimant ont vibré comme un plongeur sur quelques trillièmes de mètre (10^{-18}). Ces valeurs sont compatibles avec les calculs de Stephen Adler sur la réduction de paquet d'onde.

«Nous aurions pu y voir un bruit inexplicable, se rappelle Andrea Vinante, cohérent avec ce que nous attendons d'un modèle de réduction. Mais il pourrait trahir un effet que nous n'avons pas complètement compris.» Avec ses collègues, il travaille à améliorer la sensibilité de l'expérience par un facteur d'au moins 10, voire 100. «Nous devrions être capables de confirmer la présence d'une anomalie ou, au contraire, d'exclure le caractère intéressant de ce qui a été observé.» Un an ou deux seront nécessaires avant d'obtenir de nouvelles données.

Qu'advient-il si l'une de ces expériences confirme le phénomène de la réduction quantique? Les paradoxes de la théorie seront-ils résolus? «Si la réduction existe vraiment, le monde sera divisé en différentes échelles, répond Igor Pikovski, du Centre d'astrophysique Harvard-Smithsonian. Au-delà d'une

AVEC LA MÉCANIQUE QUANTIQUE, NOUS NE FAISONS FACE À AUCUNE CRISE. TOUT LE PROBLÈME EST LÀ!

BIBLIOGRAPHIE

A. VINANTE ET AL., Improved noninterferometric test of collapse models using ultracold cantilevers, *Physical Review Letters*, vol. 119, Art. 110401, 2017.

R. NORTE ET AL., Mechanical resonators for quantum optomechanics experiments at room temperature, *Physical Review Letters*, vol. 116, art. 147202, 2016.

H. C. VON BAEYER, L'étrangeté quantique, juste une impression? *Pour la Science* n° 435, 2013.

certaine échelle, la mécanique quantique cesserait d'être la bonne théorie. Mais en dessous de ce seuil, tout ce que nous savons de la mécanique quantique continuerait d'être vrai. Donc, les mêmes questions et interprétations philosophiques continueront de nous préoccuper. Il y aurait toujours de multiples mondes pour les électrons et les atomes – mais pas pour la Lune! Cela ne réglerait donc pas tous les problèmes, mais rendrait les choses plus étranges.»

Les modèles comme celui de la localisation spontanée continue ne sont que des efforts pour unifier ces deux mondes. Bien qu'ils ne soient pas encore des théories à part entière, ils pourraient aider les physiciens à développer un modèle de la réalité plus clair que celui proposé actuellement par la mécanique quantique.

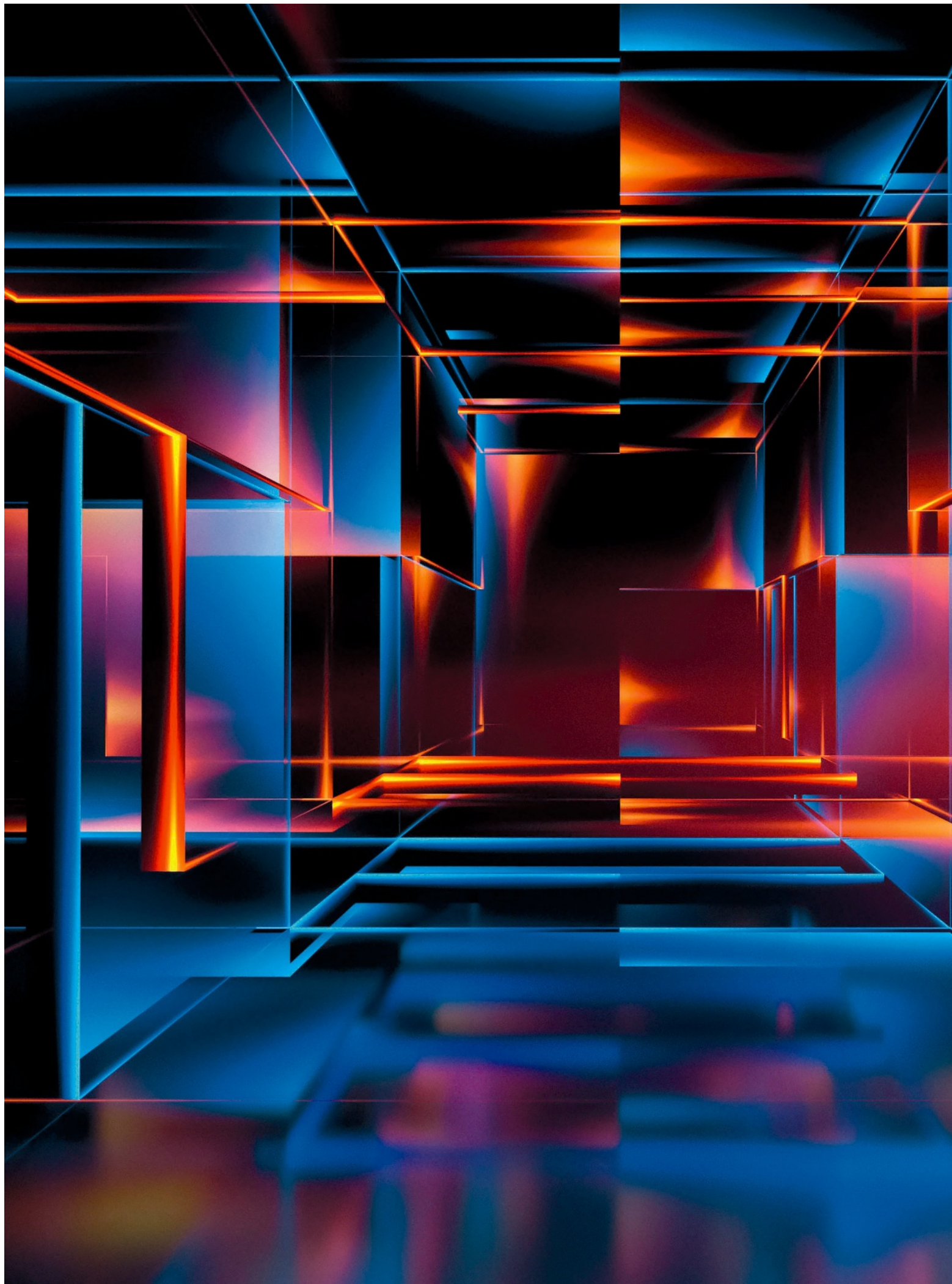
«Je pense personnellement que la mécanique quantique a besoin d'un petit lifting, avoue Stephen Adler. Je ne vois pas où est le problème d'y songer. La mécanique newtonienne est apparue correcte pendant deux cents ans, alors qu'elle ne l'est pas. La plupart des théories fonctionnent dans un domaine, mais cessent de suffire appliquées à un autre.»

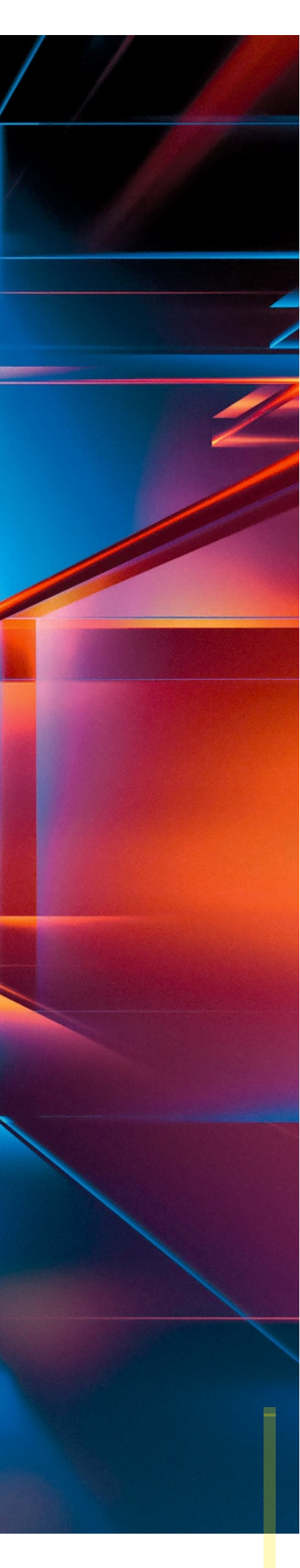
DES IDÉES DE RÉACTIONNAIRES

Mais, pour l'heure, la mécanique quantique semble répondre à tous les tests. «Non, nous ne faisons face à aucune crise. Tout le problème est là! s'exclame Steven Weinberg. Par le passé, nous n'avons cessé de progresser lorsque les théories existantes rencontraient des difficultés. Mais il n'y a rien de tel avec la mécanique quantique. Elle n'est pas en conflit avec les observations. Le problème, c'est qu'elle ne parvient pas à satisfaire les idées philosophiques préconçues et réactionnaires des gens comme moi.»

Quoi qu'il en soit, la plupart des scientifiques ne se préoccupent pas de l'étrangeté de la mécanique quantique. Ils continuent d'utiliser la théorie dans leurs dispositifs expérimentaux, collisionneurs d'atomes ou détecteurs de matière noire, et ne s'arrêtent que rarement pour réfléchir à ce que dit – ou ne dit pas – la mécanique quantique quant à la nature de la réalité.

«Je pense que la majorité des physiciens ont une attitude très saine, confie Steven Weinberg, en continuant d'utiliser la théorie, en repoussant les frontières de notre connaissance et en laissant les questions philosophiques aux générations futures.» Un certain nombre d'entre eux, toutefois, ne comptent pas attendre si longtemps. «Certains vous diront que la mécanique quantique nous a appris que le monde est étrange et que nous devons l'accepter, remarque Angelo Bassi. Je m'y refuse. Si une chose est étrange, nous devons faire en sorte de mieux la comprendre.» ■



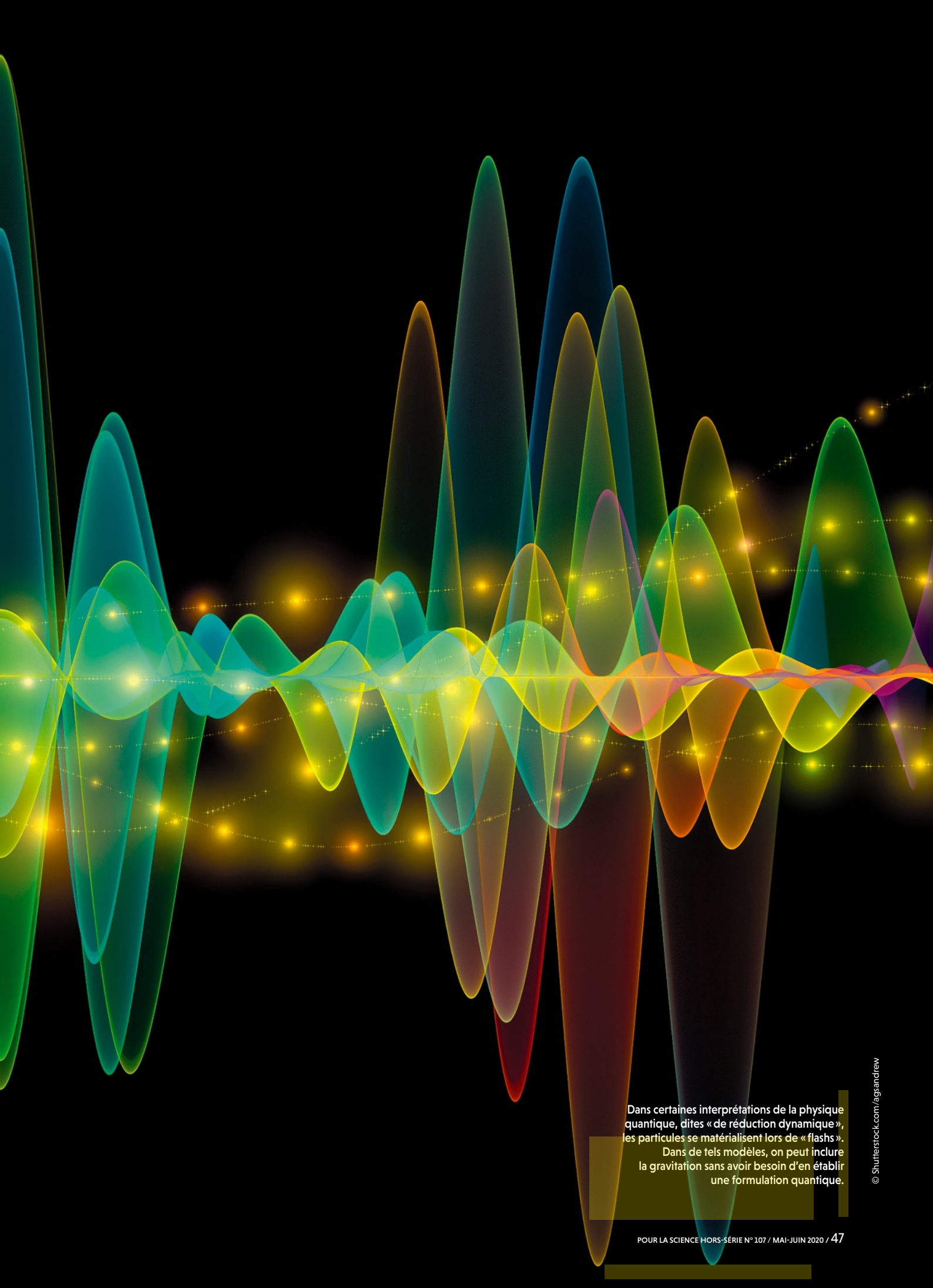


... MAIS UNE RÉALITÉ QUESTIONNÉE

Certes, la physique quantique décrit parfaitement une très grande variété de phénomènes naturels. Il n'empêche, sa nature essentiellement probabiliste, et les étranges concepts qu'elle véhicule (indéterminisme, superposition, dualité onde-corpuscule, chat de Schrödinger, principe d'incertitude, non-localité, intrication...) posent de sérieux problèmes à qui veut se pencher sur sa signification profonde. De fait, les lois de la physique quantique défient l'idée que nous avons de la réalité physique. Certains ne s'en préoccupent pas, et se satisfont de son extraordinaire efficacité, mais d'autres s'interrogent sur l'interprétation à lui donner. Les hypothèses en lice sont nombreuses, mais comment trancher ? On peut les tester par des expériences de pensée, mais aussi par de vrais montages en laboratoire.

La physique quantique sans gravité

Et si la gravité n'était pas quantique et restait de nature classique ? Cela expliquerait l'échec des tentatives d'échafauder une théorie quantique de la gravitation. Il faudrait alors repenser les fondements de la physique quantique.



Dans certaines interprétations de la physique quantique, dites « de réduction dynamique », les particules se matérialisent lors de « flashes ». Dans de tels modèles, on peut inclure la gravitation sans avoir besoin d'en établir une formulation quantique.

© Shutterstock.com/agsandrew

L'ESSENTIEL

- La plupart des physiciens pensent que la physique quantique et la relativité générale ne peuvent être conciliées que dans le contexte d'une théorie quantique de la gravitation.
- Les principales pistes que sont la théorie des cordes ou la gravitation quantique à boucles n'ont pas encore obtenu de résultats satisfaisants.

- Une autre voie est celle de la «gravitation semi-classique», où cette force resterait de nature classique. Des modèles développés récemment montrent que cette approche peut fonctionner.
- Des expériences pour tester directement la nature quantique ou classique de la gravitation pourraient voir le jour.

L'AUTEUR



ANTOINE TILLOY
physicien à l'institut
Max-Planck
d'optique quantique,
près de Munich,
en Allemagne

P

our Carlo Rovelli, du centre de physique théorique de Luminy, près de Marseille, «le problème de la gravitation quantique n'est rien de moins que le problème de trouver la nouvelle description cohérente du monde, qui amènerait enfin la révolution scientifique du xx^e siècle à sa conclusion.»

La révolution en question est celle de l'avènement de la physique quantique et de la relativité générale. Ces deux théories ont bouleversé notre vision du monde, des plus petites aux plus grandes échelles. Mais les réunir dans «une nouvelle description cohérente», est encore hors de portée. Jusqu'ici, toutes les tentatives visant à élaborer une théorie quantique de la gravitation, ou «gravité quantique», ont été décevantes. Mais cette synthèse est-elle vraiment nécessaire? Et si oui, la gravité quantique est-elle la seule façon d'y parvenir? Des physiciens explorent une autre piste qui consiste à concilier relativité générale et physique quantique sans pour autant imposer une formulation quantique de la gravitation.

Pour y parvenir, ils sont amenés à repenser les fondements de la physique quantique. Au cours de la seconde moitié du xx^e siècle, elle a conduit au développement de la théorie quantique des champs, qui intègre dans un ensemble cohérent le «modèle standard de la physique des particules», trois des quatre interactions

fondamentales: l'électromagnétisme, qui agit entre photons et particules dotées d'une charge électrique, l'interaction forte, qui assure la cohésion des protons et des neutrons dans le noyau atomique, et l'interaction faible, qui se manifeste notamment dans la radioactivité bêta.

La quatrième interaction fondamentale, la gravitation, est décrite par une autre théorie très différente, la relativité générale, introduite en 1915 par Albert Einstein. Dans cette théorie, la matière et l'espace-temps interagissent pour donner ce que l'on perçoit comme la force gravitationnelle: la matière (et l'énergie) courbe l'espace-temps et son mouvement est, en retour, déterminé par le «relief» de l'espace-temps.

La relativité générale est utile dans les situations où la gravitation domine, c'est-à-dire principalement en astrophysique et en cosmologie. La physique quantique, plus précisément le modèle standard, s'applique plutôt dans des situations où la gravitation est négligeable en comparaison des autres forces, ce qui est le cas dans les expériences menées dans les accélérateurs de particules.

DES THÉORIES INCOMPATIBLES

Ainsi, à son niveau le plus fondamental, l'Univers semble régi par deux mécaniques distinctes, deux ensembles de lois *a priori* incompatibles tant les notions et objets de ces théories sont différents. Dans leurs domaines d'application respectifs, ces deux théories sont d'une efficacité redoutable. Mais relativité générale et physique quantique ne semblent pas pouvoir être utilisées simultanément, en tout cas pas sans modification. Que se passe-t-il, par exemple, dans une situation où les effets dus à la physique quantique sont importants, mais où la force gravitationnelle domine? La réponse simple est que l'on ne sait pas. On n'a même pas de cadre théorique approprié.

Les situations où il faudrait utiliser à la fois la physique quantique et la relativité générale sont rares dans la nature. Nous n'avons donc