

Allemagne, en Suède, en France... Et selon moi, d'ici cinq ans, nous saurons si elles ont des chances d'aboutir à des machines vraiment fiables, «presse-bouton», qui pourront se confronter à de vrais problèmes.

Justement, quelle est la situation en France ?

Alain Aspect : Dès que j'en ai l'occasion, je plaide auprès des responsables politiques qui veulent bien m'écouter en leur demandant d'accompagner le mouvement. S'il débouche vraiment sur des applications utiles, ce serait dommage que la France ait raté ce train alors qu'elle a des laboratoires et des chercheurs académiques au meilleur niveau et un certain nombre de start-up en train de démarrer. Pour l'instant, nous n'accusons pas un retard important. Et un grand programme quantique est attendu, suite au rapport «Quantique, le virage technologique que la France ne ratera pas», rédigé par l'ancien PDG de Safran – Jean-Paul Herteman, la députée Paula Forteza et le chercheur Ionadis Kerenidis. Toute une communauté espère une décision rapide.

L'Europe a déjà mis de l'argent sur la table, mais chaque pays développe en plus son propre programme et c'est ce que nous attendons du gouvernement: qu'il débloque rapidement un peu d'argent pour le monde académique et lui permette de rester dans la course, à côté des filières industrielles qui investissent des sommes importantes. Les programmes nationaux apportent une agilité indispensable face aux évolutions rapides du domaine. En six mois, une voie de recherche peut se boucher et une autre, inattendue, s'ouvrir: on doit pouvoir réagir très vite.

En France, il n'est pas nouveau que l'on soit bon sur le plan académique, mais aujourd'hui, la situation est vraiment favorable à l'émergence de start-up en lien étroit avec ces groupes académiques, ce qui se fait depuis toujours aux États-Unis mais qui est relativement inédit dans notre pays. On a vraiment changé d'atmosphère. Des liens entre l'entrepreneuriat et l'université se tissent, se renforcent... et je suis certain que les technologies quantiques vont rapidement avoir des applications concrètes dans plusieurs domaines.

Lequel par exemple ?

Alain Aspect : En métrologie quantique, on peut citer la mesure des accélérations, y compris celle de la pesanteur, par interférométrie atomique avec des atomes ultrafroids. À Bordeaux, Bruno Desruelle,

un de mes anciens étudiants, a fondé la start-up μ Quans avec Arnaud Landragin et Philippe Bouyer, deux chercheurs restés dans le domaine académique, pour développer des appareils capables de mesurer la gravitation. Avec un poids inférieur à 100 kilogrammes et quelques dizaines de centimètres de longueur, ces

La découverte des codes correcteurs quantiques d'erreur fut une surprise, la plupart des spécialistes pensant que la décohérence empêcherait d'y parvenir

dispositifs ont une précision égale à celle d'appareils traditionnels pesant une tonne et mesurant un mètre cube. Ils sont donc mobiles et transportables partout où l'on souhaite connaître la structure du sous-sol (géophysique, exploration minière, génie civil...) par le biais d'une mesure locale de la gravitation.

Une telle diversité d'applications était-elle envisageable au début de votre carrière ?

Alain Aspect : Absolument pas ! Dans les années 1970, c'est par pure curiosité intellectuelle que j'ai commencé à m'intéresser à l'optique quantique, c'est-à-dire l'étude des propriétés de la lumière dans lesquelles intervient la physique quantique. Cela m'a permis de développer au début des années 1980 une expérience montrant que l'intrication quantique est aussi extraordinaire que la théorie le prévoit. Tellement extraordinaire qu'Einstein lui-même avait du mal à l'admettre.

À mes débuts, c'était un pur problème conceptuel: peut-on observer les propriétés de l'intrication qui défient tellement l'intuition ? J'étais loin de pouvoir ne serait-ce qu'imaginer cette explosion d'idées d'applications autour de l'intrication. J'en suis aujourd'hui émerveillé !

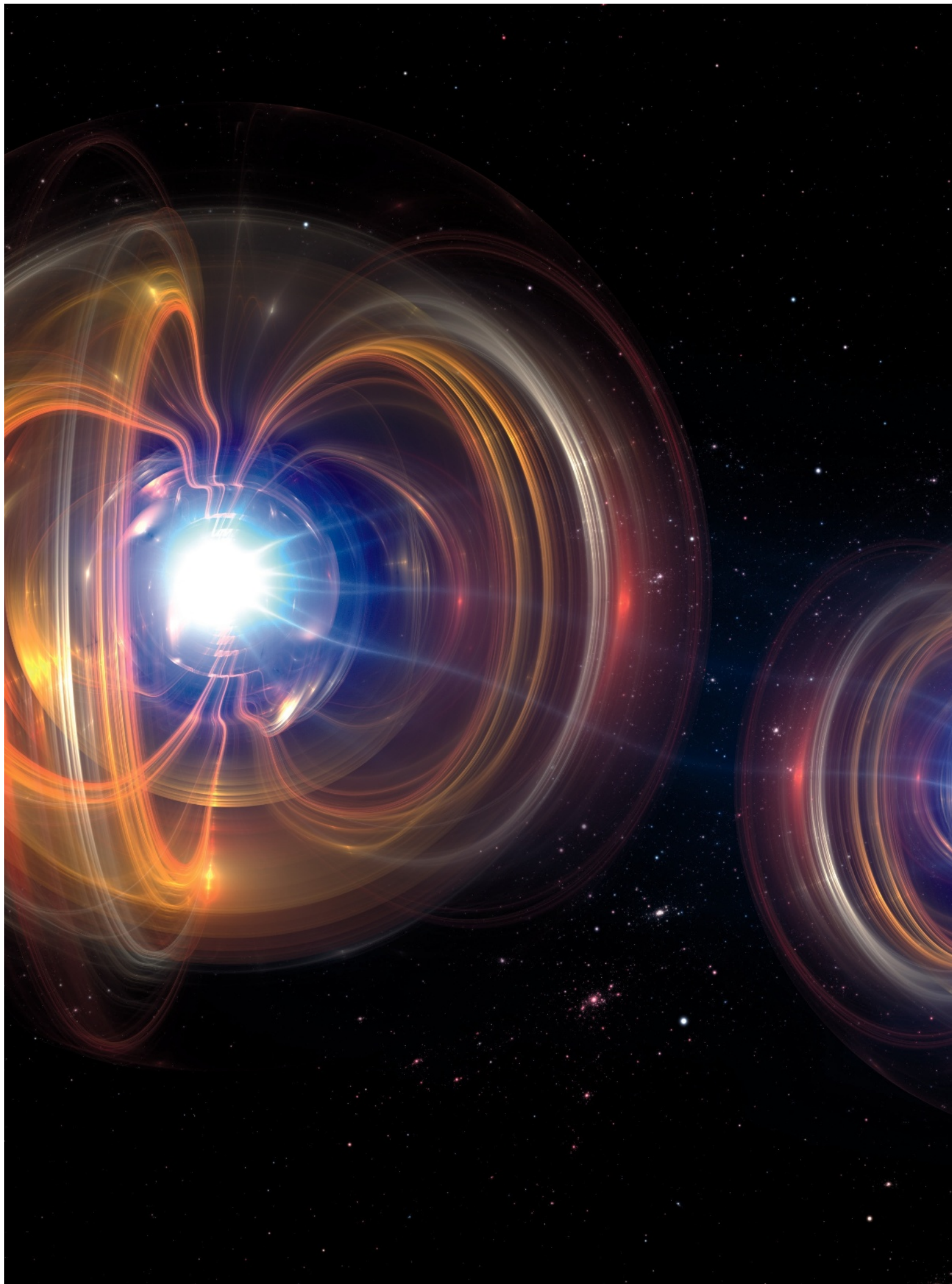
PROPOS RECUEILLIS PAR LOÏC MANGIN

BIBLIOGRAPHIE

Deux MOOC (EN Anglais).
Quantum Optics 1: Single Photons: <http://bit.ly/3cGPfNH>
Quantum Optics 1: Two photons and more: <http://bit.ly/2VTQ5p6>

Les intrigantes intrications DU monde quantique, podcast, *La Conversation scientifique*, France culture, 29 février 2020. <http://bit.ly/2vOIZTs>

Site d'Alain Aspect: <http://bit.ly/38w8S7F>





© Shutterstock.com/Jurik Peter

UN MONDE TOUJOURS PLUS QUANTIQUE...

Jamais une théorie scientifique n'a été aussi confortée par l'expérience. Centenaire, la physique quantique a maintes fois été poussée dans ses retranchements et a toujours dépassé l'épreuve. Nous vivons dans un monde résolument quantique, et les objets qui nous entourent (ordinateurs, smartphones, GPS...) en sont la preuve. Mais on peut encore aller plus loin. Même l'intrication, l'une des plus étranges propriétés prévues par la théorie quantique, par laquelle deux éléments qui ont interagi sont liés par-delà les distances, est désormais incontestablement confirmée par des expériences. Plus encore, on commence même à comprendre comment on passe du monde microscopique et quantique, où règnent les probabilités, au nôtre, classique et macroscopique, bien plus tangible.

L'ESSENTIEL

● La physique quantique a démontré son efficacité pour décrire des phénomènes et prédire les résultats d'expériences.

● Mais que dit-elle vraiment du monde? Son interprétation pose toujours des difficultés, et diverses voies sont explorées pour les résoudre.

● Un autre défi est de construire une théorie quantique de la gravitation, capable de décrire les premiers instants de l'Univers et le cœur des trous noirs.

LES AUTEURS



ÉTIENNE KLEIN est directeur du laboratoire Larsim du CEA, à Saclay, au sud de Paris.



CARLO ROVELLI est professeur à l'université de la Méditerranée, chercheur au Centre de physique théorique, à Marseille.

Une efficacité déraisonnable ?

Centenaire, la physique quantique est au cœur des technologies modernes. Mais malgré sa spectaculaire fécondité, son interprétation garde quelques zones d'ombre.

Le chat à la fois mort et vivant de Schrödinger symbolise tout le caractère contre-intuitif de la physique quantique et les progrès qui restent à faire pour comprendre les lois étranges de cette théorie.





D

ans les années 1920, le comportement des atomes et des particules déroutent les physiciens. Pour expliquer certains phénomènes, comme le rayonnement du corps noir, ils développent des concepts radicalement nouveaux qui les conduisent à penser autrement la matière et ses interactions. Une décennie d'effervescence créatrice et d'intense labeur a suffi pour qu'un petit nombre d'entre eux fondent l'une des plus belles constructions intellectuelles de tous les temps, la physique quantique. Celle-ci rencontra rapidement un vif succès, grâce à la confirmation de ses prédictions expérimentales précises. Elle est aujourd'hui omniprésente dans notre quotidien: dans nos ordinateurs, dans nos téléphones, dans nos écrans...

Pourtant, malgré son succès incontestable, la physique quantique reste énigmatique par bien des aspects, notamment parce que cet édifice théorique exige un travail d'interprétation, que les physiciens ont les pires difficultés à mener à bien. Il faut dire que la théorie quantique pose des questions à la fois inédites et vertigineuses: comment comprendre son formalisme? Est-ce un simple outil pour prévoir les résultats d'une expérience? Quel statut confère-t-elle au hasard qui intervient dans la détermination des résultats? Donne-t-elle accès à une description de la réalité du monde?

Si la physique quantique troubla tant, c'est parce qu'elle échappait au cadre d'interprétation de la physique classique. À tout système, la physique classique attache des propriétés qui appartiennent en propre au système (par exemple, tel vélo est bleu et roule à 30 kilomètres par heure), et n'attribue pas de rôle fondamental à l'opération de mesure, qui n'est que l'enregistrement neutre et passif de grandeurs existant objectivement (le vélo est bleu, qu'on le regarde ou non).

RENTREZ DANS LE RANG

La physique quantique, elle, ne semble pas partager un «engagement ontologique» aussi fort. D'abord, elle n'accorde aux particules ni position, ni trajectoire, ni forme bien déterminées. Ensuite et surtout, elle renonce à faire usage de l'idée, pourtant élémentaire, consistant à attribuer aux particules une réalité qui serait pleinement indépendante des moyens de l'observer. Était-ce le signe que le cadre d'interprétation classique devait être définitivement abandonné? Ou bien, au contraire, qu'il manquait à cette nouvelle physique des ingrédients dont la prise en compte la ferait «rentrez dans le rang»?

C'est autour de ces questions que les physiciens Niels Bohr et Albert Einstein se sont amicalement, mais fermement, opposés l'un à l'autre (voir la photo page 19). Bohr considérait que la physique quantique obligeait à bouleverser les théories rendant compte du rapport que nous avons avec ce qu'on nomme par commodité (sans en dire davantage) «la réalité». Einstein pensait, lui, qu'il était prématuré de conclure de la sorte. Le père de la relativité n'a jamais prétendu que la physique quantique fût une théorie fausse, mais, selon lui, une théorie physique ne doit pas être jugée à l'aune de sa seule efficacité opératoire: elle doit aussi dépeindre les structures intimes du réel. Or, à ses yeux, la physique quantique, malgré ses spectaculaires et incontestables succès expérimentaux, ne faisait pas cela de façon satisfaisante.

Dans le cadre de la théorie quantique, un système physique est décrit par un objet mathématique, la fonction d'onde. Celle-ci s'écrit, en général, comme la somme de plusieurs fonctions représentant chacune un état particulier, affecté d'un certain coefficient. On est alors face à une «superposition» d'états possibles, une situation sans équivalent en physique classique. La théorie stipule alors que connaissant la fonction d'onde, on ne peut en général pas déterminer le résultat d'une mesure, mais seulement calculer les probabilités d'obtenir tel ou tel résultat. Et parmi tous les résultats possibles *a priori*, un seul est sélectionné, au hasard, par l'opération de mesure. Cette dernière entraîne une «réduction des possibles» qui s'effectue d'un coup et de façon aléatoire.