

L'ESSENTIEL

- La physique quantique est bien embarrassée par le rôle à attribuer aux observateurs.
- Plusieurs expériences de pensée poussent dans leurs retranchements les différentes théories en lice.

● Elles obligent à renoncer à certaines hypothèses *a priori* raisonnables de la physique quantique: l'universalité, la cohérence et l'unicité du résultat d'une mesure.

● Des versions expérimentales de ces raisonnements existent désormais.

L'AUTEUR



SEAN BAILLY
est journaliste au magazine
Pour la Science.

L'ami de Wigner, un paradoxe mis à l'épreuve

En physique quantique, le rôle attribué à l'observateur varie de simple figurant à acteur central selon les diverses interprétations de la théorie. Comment y voir plus clair ? Grâce à une version améliorée de l'expérience de pensée « l'ami de Wigner ».

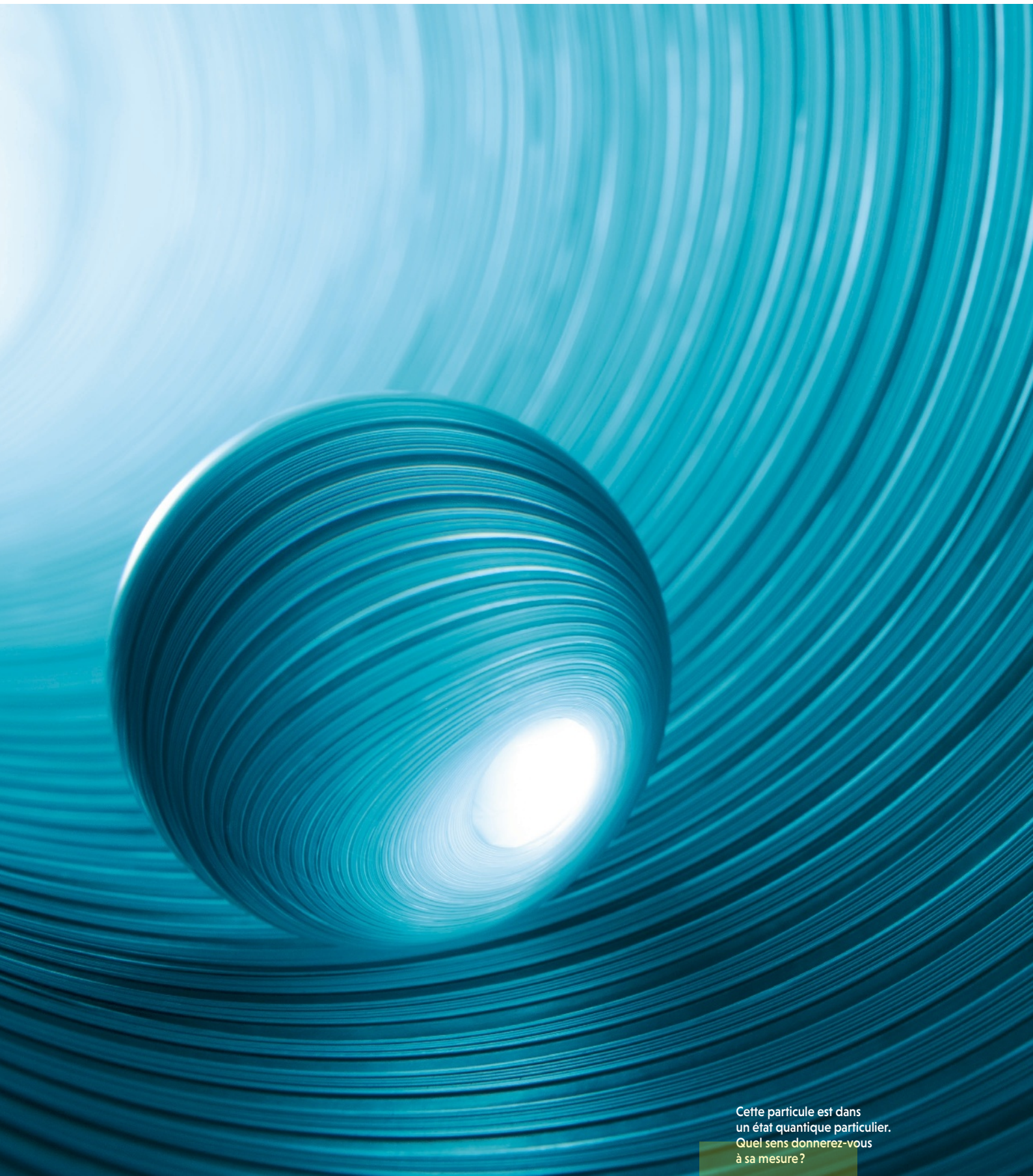
E

n 1935, Erwin Schrödinger, l'un des fondateurs de la physique quantique, imaginait sa célèbre expérience de pensée du chat dans sa boîte. Aujourd'hui, cette histoire est utilisée pour illustrer auprès du grand public certains des aspects les plus surprenants et contre-intuitifs de la physique quantique: le chat, exposé à un

dispositif mortel au déclenchement aléatoire (de nature quantique comme la désintégration d'un atome radioactif), est à la fois « vivant » et « mort » dans la boîte fermée. Mais cette expérience de pensée souligne aussi certaines des questions fondamentales de la physique quantique qui sont encore aujourd'hui sans réponses.

L'« ami de Wigner » est une sorte de version revisitée du chat de Schrödinger avec des chercheurs qui font des expériences de physique quantique dans leurs laboratoires (l'équivalent de la boîte du chat). En 2016, Daniela Frauchiger et Renato Renner, de l'école polytechnique fédérale de Zurich, ont proposé une nouvelle expérience de pensée inspirée de celle de Wigner, mais plus subtile, qui permet de sonder les fondements des diverses interprétations de la physique quantique.

Lorsque les deux physiciens ont soumis leur idée, les réactions ont été vives au sein de la communauté des chercheurs. En effet, cette



Cette particule est dans
un état quantique particulier.
Quel sens donnerez-vous
à sa mesure ?

➤ expérience mettait en évidence des contradictions dans la théorie quantique. Comment devait-on comprendre ce résultat, et quelles conséquences pouvait-il avoir sur l'interprétation de la physique quantique? Bien que conçue au départ comme une expérience de pensée, une version de cette idée a été mise en œuvre en laboratoire en 2019 sous l'impulsion de Massimiliano Proietti, de l'université Heriot-Watt, à Édimbourg, et ses collègues. Comprenons-nous alors mieux? Pas sûr...

UNE THÉORIE EFFICACE

Au vu de ces questions théoriques et presque philosophiques, la physique quantique semble être incomplète, encore à construire. En effet, son statut est étrange et peut-être unique dans l'histoire des sciences. Dès sa naissance dans les années 1920, elle s'est imposée comme la théorie rendant le mieux compte des phénomènes à l'échelle microscopique. Dans les années 1940, le physicien américain Richard Feynman et d'autres ont utilisé la physique quantique pour décrire les interactions de la matière et de la lumière. En un mot, elle est une théorie testée avec une précision inégalée et jamais mise en défaut par l'expérience. Aujourd'hui encore, elle s'impose et est omniprésente dans les technologies des objets de notre quotidien: ordinateurs, téléphones, fibres optiques, etc.

Pourtant, cette théorie, si efficace, reste muette sur de nombreuses questions concernant sa nature profonde. Elle repose en effet

sur des axiomes et des définitions dont l'origine ou les justifications ne sont pas toujours très claires.

Pour avancer sur ces questions et mieux comprendre les fondements de la physique quantique, les chercheurs se sont parfois appuyés sur des expériences de pensée, notamment pour tenter d'y trouver des failles, c'est en particulier le cas d'Erwin Schrödinger et de son chat ou encore d'Albert Einstein et son paradoxe EPR (du nom de ses inventeurs en 1935: Einstein, Nathan Rosen et Boris Podolsky) sur l'intrication quantique (voir *Pas d'échappatoire pour l'intrication*, par R. Hanson, page 26).

UN FLOU QUANTIQUE

Pour comprendre l'enjeu de ces différentes expériences de pensée, il faut revenir à la question de la mesure en physique quantique et au rôle de l'observateur. Concrètement, un système quantique est décrit par un objet mathématique nommé «fonction d'onde». Souvent, on considère que celle-ci n'indique pas quel est l'état du système à un moment donné, mais permet de calculer les probabilités d'obtenir un résultat donné lors d'une mesure. Ainsi, si l'on s'intéresse à la position d'une particule, et parce que la fonction d'onde est spatialement étendue, on aura une certaine chance de trouver la particule à tel endroit ou à tel autre. Avant la mesure, la particule n'a pas de position définie, on a une sorte de «flou quantique» et seule la mesure «matérialise» cette position.

De façon plus générale, une fonction d'onde regroupe tous les états accessibles au système. Celui-ci est dit dans une «superposition d'états». Par exemple, prenons un électron dont le spin (une propriété purement quantique) peut être orienté vers le haut ou vers le bas. Alors l'électron peut être dans une superposition de l'état «haut» et de l'état «bas». Si on veut maintenant mesurer le spin de la particule, cette opération a un impact radical sur le système: la fonction d'onde «s'effondre», c'est-à-dire que l'observateur ne constate qu'un seul de ces deux états. L'électron reste dans l'état mesuré soit «haut» soit «bas».

Par rapport à notre expérience de tous les jours, le phénomène de superposition quantique est difficile à comprendre. On pourrait avoir l'impression que le fait de lancer un dé dans une boîte fermée conduirait à une superposition des états «le dé est égal à 1», «le dé est égal à 2»... Si on ouvre la boîte avec le dé, on révèle un état préexistant. Ce n'est cependant pas la même chose que la superposition quantique, car il est possible de réaliser certaines mesures (la physique quantique permet de mesurer l'intérieur de



Eugene Wigner, physicien théoricien américain d'origine hongroise, a été l'un des fondateurs de la théorie quantique. Il a reçu le prix Nobel de physique en 1963.