

INFORMATION QUANTIQUE. L'interprétation de la théorie quantique à l'aide de la notion d'information conduit à lever le paradoxe du chat en montrant que l'indétermination objective est une conséquence du manque fondamental d'information.

La dissolution du paradoxe



PHOTOS D. R.

ANTON ZEILINGER. A Vienne (Autriche), ce directeur de l'Institut de Physique expérimentale de l'Université est aussi codirecteur de l'Institut pour l'Information et l'Optique quantiques (IQOQI) de l'Académie des Sciences anton.zeilinger@univie.ac.at



JOHANNES KOFLER est chercheur assistant à l'IQOQI (Vienne, Autriche) johannes.kofler@univie.ac.at

Pendant les premières décennies du xx^e siècle, la physique a connu des changements paradigmatiques au sens où les notions fondamentales que chérissaient les physiciens ont dû être modifiées. Une des nouvelles descriptions de la nature, à savoir la mécanique quantique, fait toujours l'objet de débats. Si Richard Feynman pensait « *pouvoir dire sans risque que personne ne comprend la mécanique quantique* », le succès extraordinaire de la physique quantique entraîne souvent le rejet de telles assertions par les physiciens. Max Tegmark et John Archibald Wheeler ont ainsi démontré qu'un tiers environ du produit national brut des Etats-Unis est directement basé sur la mécanique quantique. Si l'on considère que la compréhension du laser ou des semi-conducteurs, par exemple, est impossible sans la physique quantique, leur estimation semble bien insuffisante. De plus, étant donné l'excellent accord entre les prédictions de la théorie et l'observation expérimentale, il est hautement improbable que la théorie ait besoin de modification.

Alors, où est le problème ? La remarque de Richard Feynman est renforcée par le fait qu'une pléthore d'interprétations de la physique quantique continuent de ré-

gner au sein de la communauté scientifique. La raison principale en est que la mécanique quantique manque encore de principes fondateurs clairs. Les théories d'Albert Einstein sur la relativité restreinte et généralisée, les autres descriptions révolutionnaires de la nature au début du xx^e siècle exploitent le principe fondamental selon lequel les lois de la nature devraient être de la même forme dans tous les référentiels, quels que soient leur mouvement ou leur accélération. Intuitivement très attirantes, ces idées sont opérationnelles essentiellement dans le sens où, sans repère extérieur, il ne devrait y avoir aucun moyen de savoir si l'on se meut ou reste immobile, ou bien si l'on est accéléré ou dans un champ de gravité homogène. Les changements que nécessitent ces idées dans nos conceptions de l'espace et du temps sont facilement acceptables dès lors qu'on définit des quantités physiques de manière purement opérationnelle – ainsi, l'espace est mesuré par des règles graduées en mètres et le temps par des horloges. La théorie quantique, elle, se fonde sur des termes très abstraits et purement mathématiques.

La question de savoir si les lois de la mécanique quantique, établies à l'origine pour décrire la nature au niveau microscopique des atomes, sont aussi valides dans le domaine

macroscopique de nos expériences quotidiennes est un autre problème non résolu aujourd'hui. Elle faisait déjà partie des premiers débats à propos de la mécanique quantique. Niels Bohr n'a cessé d'insister sur le fait que la distinction entre quantique et classique n'est pas identique à la distinction entre microscopique et macroscopique. Il est d'ailleurs parvenu à réfuter certaines attaques d'Einstein au sujet de la nouvelle théorie en posant l'hypothèse que les lois quantiques s'appliquent également aux systèmes expérimentaux de grande taille. En 1935, Erwin Schrödinger propose une expérience de pensée où la *superposition quantique microscopique* d'un atome radioactif désintégré ou non désintégré est transformée en une *superposition quantique macroscopique* d'un chat mort ou vivant – un paradoxe qui va à l'encontre de toute intuition physique classique (lire, page 57, « *le Chat et l'interprétation de Copenhague* »). Montrer que les lois quantiques sont aussi valides dans le domaine macroscopique reste un défi pour les physiciens expérimentateurs du monde entier.

La superposition quantique est au cœur des problèmes conceptuels que pose la mécanique quantique. Alors qu'elle est souvent débattue en termes d'expériences de pensée, les progrès technologiques ►►



ILLUSTRATION VON BASSEWITZ (WWW.CONTOURS-ART.DE) POUR SCIENCES ET AVENIR HORS-SÉRIE

La dissolution du paradoxe

►► permettent aujourd'hui de se reporter à des expériences qui ont déjà été réalisées. Considérons par exemple un faisceau de molécules C_{60} – les célèbres Buckminsterfullerènes (voir ci-dessous) qui ressemblent à un ballon de football – tombant sur une grille (voir, ci-contre, l'illustration « Interférence quantique avec des molécules C_{60} »). Mesurée à une certaine distance – disons à 1 mètre –, la distribution des molécules est très similaire au schéma d'interférence bien connu de la lumière passant à travers deux fentes dans l'expérience originaire des fentes de Young. Particulièrement intéressants, les minimums de la distribution s'expliquent par l'interférence destructive des ondes – dans le cas des expériences à base de fullerènes, il s'agit d'ondes de De Broglie – passant à travers les différentes fentes. Dans notre expérience, l'intensité du faisceau de fullerènes est si faible qu'en général les molécules passent la grille individuellement. L'observation du schéma d'interférence indique alors que l'onde est associée à chaque molécule. Chaque molécule « sait » donc qu'elle doit éviter les minimums du schéma d'interférence.

La théorie quantique dit qu'après avoir traversé la grille les macromolécules sont dans une *superposition de plusieurs états* où chaque état correspond à un chemin particulier à travers la grille. L'état total fournit alors la probabilité de trouver une molécule à tel ou tel endroit. Il faut avoir à l'esprit les deux images suivantes : la distribution de probabilité classique (cas

INTERFÉRENCE QUANTIQUE AVEC DES MOLÉCULES C_{60} .
a) Des molécules C_{60} quittent un four, passent à travers un sélecteur de vitesse, deux collimateurs et une grille, puis sont détectées par ionisation laser. Après la grille, les molécules C_{60} sont dans une superposition de multiples états, chacun correspondant à un chemin particulier à travers la grille. **b)** Ces chemins interfèrent et produisent une figure où les maximums et les minimums s'expliquent par des interférences respectivement constructives et destructives.

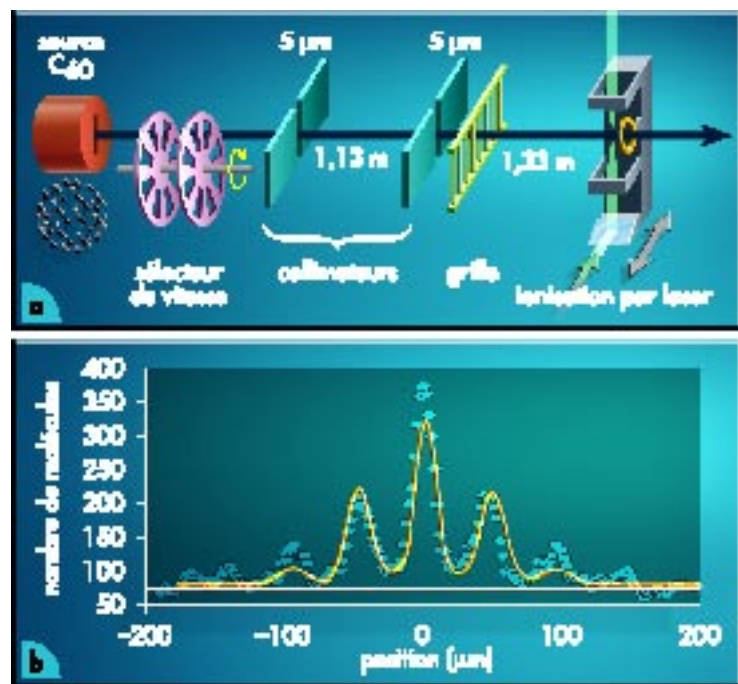


ILLUSTRATION SYLVIE DESSERT

de simples ballons de football passant à travers la grille) et la distribution correspondant aux franges d'interférence et qui présente la structure d'une succession de minimums et de maximums (voir, page ci-contre, l'illustration « Billes classiques et billes quantiques »). Dans le cas classique, chaque molécule passe à travers une fente spécifique et la distribution finale est la somme des distributions correspondant à chaque fente. Alors, à quelles conditions les franges d'interférence apparaissent-elles ? Il est intéressant de noter que, dans l'expérience quantique, toute tentative visant à déterminer le trajet de chaque molécule C_{60} détruit le schéma d'interférence. Une expérience conduite en 2004 sur des molécules C_{70} par Lucia Hacker Müller et son équipe – et rapportée dans « Nature », 427, 711 – l'a confirmé. Portées à une température de 3 000 degrés Kelvin par exposition à un puissant rayonnement laser, des molécules émettent une lumière éclatante. Plus elles sont chauffées, plus elles émettent de lumière. Cela est accompagné d'une disparition progressive du phénomène d'interférence. Les pics de la courbe deviennent alors de plus en plus bas et les vallées se remplissent de plus en plus, jusqu'à la disparition de l'interférence à une

certaine température. Comment expliquer ce phénomène ?

Imaginons qu'un expérimentateur observe les molécules à travers un microscope très puissant quand elles traversent le dispositif expérimental. Plus éclatante est la lumière émise et plus courte est la longueur d'onde, plus l'observateur est en mesure de déterminer le chemin emprunté par la molécule. Il se trouve que c'est exactement le critère d'apparition et de disparition des franges. S'il n'y a aucune *information* sur le chemin que prend la molécule, on observe une interférence complète. Au contraire, dans le cas d'une information complète sur le chemin, aucune interférence ne se produit. Il existe une transition progressive entre ces deux états *complémentaires*. Que l'observateur exploite ou non l'information importe peu. Le simple fait qu'il soit possible de l'obtenir suffit à détruire l'interférence. On voit par là combien la notion d'information est importante pour comprendre un phénomène quantique fondamental.

Un des objets quantiques le plus simples est l'électron. Cette particule possède une propriété intrinsèque appelée « spin » en raison de similitudes avec le concept classique d'un objet en rotation (en anglais, *to spin* signifie « tourner »). Dans un dispositif du type de Stern-

Gerlach (lire, page 58, « L'Information dans l'expérience de Stern-Gerlach »), le spin peut être mesuré suivant n'importe quelle direction, le long de laquelle il ne prend qu'une valeur parmi deux possibles, à savoir « up » (haut) ou « down » (bas). Si l'on mesure ensuite le spin de l'électron suivant une direction différente, le résultat est à un certain degré aléatoire. Il est complètement aléatoire si la mesure est pratiquée suivant des directions perpendiculaires à la direction initiale. De telles mesures sont dites *complémentaires*. De plus, un spin mesuré suivant n'importe quelle direction peut toujours être considéré comme la superposition haut-bas suivant n'importe quelle autre direction choisie.

L'interprétation *primus inter pares* de la physique quantique est l'interprétation de Copenhague, élaborée par Niels Bohr et Werner Heisenberg vers 1927, aux premiers temps de la mécanique quantique. Selon la vision de Copenhague, la *fonction d'onde*, ou *état*, d'un système physique est un *catalogue de connaissances* complet, qui permet de calculer les *probabilités de résultats de futures mesures*. Les résultats individuels peuvent être *objectivement aléatoires*. Ils se produisent sans aucune raison causale, contrairement au caractère aléatoire classique ou subjectif d'un lancer de dé, dû seulement à notre ignorance des conditions initiales exactes. De plus, les propriétés individuelles peuvent être *complémentaires*, ce qui signifie que la connaissance de l'une exclut la connaissance de l'autre. Cela est indiqué par le célèbre principe d'incertitude de Heisenberg, selon lequel la position et la quantité de mouvement d'une particule ne peuvent avoir de valeur

A L'ÉCOLE DU POSITIVISME

Le chat et l'interprétation de Copenhague

En 1935, Erwin Schrödinger met au point une expérience de pensée, qu'il qualifie lui-même de « burlesque », où un chat est enfermé dans une « machine infernale » en compagnie d'un atome radioactif. Après une heure, l'atome peut s'être désintégré ou non avec la même probabilité. La désintégration de l'atome provoque la destruction d'une petite fiole contenant de l'acide cyanhydrique, ce qui entraîne la mort du chat. La physique quantique dit qu'au bout d'une

heure l'état du système est dans une *superposition* de deux possibilités : l'atome s'est ou ne s'est pas désintégré et a ou n'a pas tué le chat. Si, comme le propose Schrödinger, la physique quantique s'applique à toutes les pièces macroscopiques de l'appareil associé au chat malchanceux, la superposition inclut aussi les états « mort » et « vivant » du chat. Pourtant, quand on ouvre la boîte après une heure, on ne trouve pas de superposition, mais plutôt le chat soit vivant, soit mort

avec une probabilité égale. Selon l'interprétation de Copenhague de la mécanique quantique, tant qu'on n'a fait aucune mesure – directe ou indirecte – de l'état du chat, on ne peut pas dire si le chat est mort ou vivant. Seul le processus de mesure crée cette réalité. Celle des deux possibilités qui devient factuelle est *objectivement aléatoire* et n'a pas de raison causale. Ce fossé entre la potentialité et la réalisation est appelé *problème de la mesure* en mécanique quantique. **A. Z et J. K.**

précise simultanément. Enfin et surtout, les objets quantiques peuvent être *intriqués*, perdant ainsi leur individualité mais ayant des propriétés conjointement définies.

L'interprétation de Copenhague évite toute définition de la réalité, sauf pour les dispositifs expérimentaux classiques. Les résultats des mesures sont juste des caractéristiques spécifiques du dispositif classique utilisé. L'austérité qui découle de cette interprétation a conduit de nombreux physiciens à chercher une alternative capable de sauver la réalité. Pourtant, une telle situation délivre peut-être un message plus profond.

C'est en ce sens qu'Anton Zeilinger a avancé en 1999 une idée qui met en relation le concept d'*information* avec la notion de *systèmes élémentaires*. Remarquons d'abord que la description du monde physique se fait au moyen de propositions. On peut décrire tout objet physique par un ensemble de propositions vraies. Ensuite,

BILLES CLASSIQUES ET BILLES QUANTIQUES.

a) Une machine lance des billes vers un mur percé de deux fentes 1 et 2. Le nombre de billes arrivant dans une boîte particulière est la somme de celles qui sont entrées par 1 et de celles qui sont passées par 2 : la probabilité $P_{1,2}$ s'exprime comme une simple somme ($P_1 + P_2$). **b)** La même expérience avec des électrons ou avec des fullerènes donne un résultat différent : la distribution de probabilité présente un profil d'interférence. (D'après « Petit Voyage dans le monde des quanta », d'Etienne Klein.)

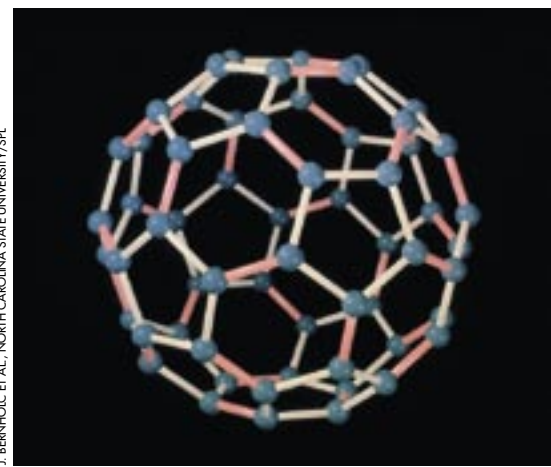


ILLUSTRATION SYLVIE DESSERT

seule l'observation donne accès à la connaissance d'un objet ou à l'information sur celui-ci. Parler de la réalité sans parler de l'information qui y est associée n'a aucun sens.

Tout objet complexe représenté par de nombreuses propositions peut être divisé en composants définis par un nombre inférieur de propositions. Le processus de division atteint ses limites quand les sous-systèmes individuels sont représentés par une seule proposition. On parle alors de *système élémentaire*. Cette notion est très étroitement liée à l'alternative binaire de Carl Friedrich von Weizsäcker, appelée « Ur », et au qubit de la physique quantique moderne. La valeur de vérité d'une proposition unique associée à un système élémentaire peut être représentée par un bit d'information, « vrai » correspondant à 1 et « faux » à 0. Il est alors suggéré de faire l'hypothèse d'un principe de discrétisation de l'information : un système élémentaire correspond à un bit d'information.

Si l'on néglige sa masse, sa charge, sa position et sa quantité de mouvement, le spin d'un électron est un tel système élémentaire. Si le spin est préparé « haut suivant z », on a utilisé l'unique bit et une mesure selon n'importe quelle autre direction doit *nécessairement* contenir un élément aléatoire. Cette indétermination doit être objective et irréductible. Elle ne peut pas être réduite à l'existence de ►►



J. BERNHOLC ET AL., NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY/SPL

QUAND LA MESURE CRÉE DE L'INFO

L'information dans l'expérience de Stern-Gerlach

En 1922, Otto Stern et Walther Gerlach ont réalisé une expérience de physique révolutionnaire montrant la discrétisation du spin des objets quantiques. Sorte de moment angulaire intrinsèque ou de rotation d'une particule, le spin est représenté par un vecteur caractérisant sa taille et sa direction dans l'espace. Soit un électron dont le spin est dirigé suivant x qui arrive dans l'appareil (voir ci-contre, en haut). D'après la physique classique, l'électron n'a pas de composante de son spin suivant z ; il devrait donc se propager le long de la ligne en pointillé. La mécanique quantique, elle, prédit – ce que confirme l'expérience – qu'il déclenche un détecteur indiquant spin « haut » ou spin « bas » suivant z . La raison en est qu'un électron au spin orienté suivant x

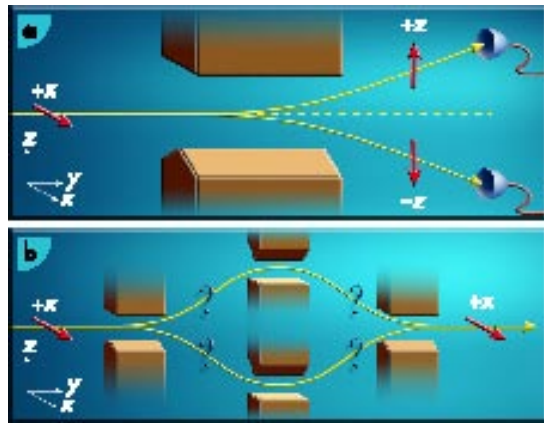


ILLUSTRATION SYLVIE DESSERT

est en état de superposition de $+z$ et $-z$. Alors, lequel des deux détecteurs l'électron va-t-il déclencher ? Cela est objectivement aléatoire. La mécanique quantique ne prédit que des probabilités.

UNE VARIANTE DE L'EXPÉRIENCE DE STERN-GERLACH. a) Un faisceau d'électrons dont les spins sont orientés suivant x passent (suivant y) à travers un champ magnétique orienté suivant z . Classiquement, les électrons ne devraient pas être déviés. Or ils le sont, le faisceau se séparant en deux, suivant $+z$ et $-z$. b) En recombinant les faisceaux, les électrons retrouvent leur spin initial x si aucune information n'est acquise sur le chemin suivi.

MOT-CLÉ DISCRÉTISATION
 SOUVENT UTILISÉ COMME SYNONYME DE « QUANTIFICATION », LE TERME SERT À CARACTÉRISER UNE GRANDEUR DISCRÈTE, PAR OPPOSITION À CONTINUE, À L'INSTAR DES QUANTITÉS INTERVENANT DANS LA MÉCANIQUE QUANTIQUE, QUI NE PEUVENT PRENDRE QU'UNE SÉRIE DISCRÈTE DE VALEURS PARTICULIÈRES.

Dans le cas d'un grand nombre d'électrons, ils déclencheront pour moitié environ le détecteur spin « haut » et pour moitié environ le détecteur spin « bas ». En outre, cela signifie-t-il que les électrons ont en réalité un spin « haut » ou un spin « bas » après avoir quitté l'aimant et avant d'être détectés ? On peut le vérifier en recombinant les deux faisceaux (voir ci-contre, en bas). Émerge alors un électron dont le spin est de nouveau orienté suivant x . On a là la signature de la superposition quantique. Cela ne se produit que s'il n'existe aucune possibilité de déterminer quel chemin l'électron a pris, autrement dit quel spin suivant z il a eu. Si entre-temps on avait mesuré le spin suivant z , le faisceau émergent aurait juste été un mélange classique de spins $+z$ et $-z$. **A. Z et J. K.**

catalogue de connaissances – notre vision philosophique du monde : la discrétisation de la nature est la conséquence de la discrétisation de l'information. De surcroît, réalité et information sont comme les deux côtés d'une même pièce. Parler de la réalité sans la notion d'information qui y est associée n'a pas plus de sens que parler d'information en dehors de quelque chose auquel elle se réfère. Ce qui peut être dit à propos de la réalité définit ce qui peut exister.

Revenons pour conclure au chat de Schrödinger, qui est une superposition macroscopique des états « mort » et « vivant ». On pourrait en effet considérer que le chat est constitué d'une multitude de systèmes élémentaires, chacun représentant un bit d'information. L'état du chat de Schrödinger, cependant, ne comporte aucune information pour répondre de manière catégorique à la question « Es-tu vivant ou mort ? »

Si cette question triviale est posée, ce que l'on fait en général en ouvrant la « machine infernale » et en regardant le chat, l'information à propos de la vie ou de la mort du chat doit être créée spontanément de manière objectivement aléatoire. ■ (Traduit de l'anglais par Catherine Lodovici-David.)

►► certaines propriétés cachées, car alors le système contiendrait plus d'un bit d'information. Puisque le nombre de questions expérimentales possibles est supérieur à celui des réponses qu'il peut fournir assurément, le système doit « devenir ». L'indétermination objective est la conséquence du manque fondamental d'information.

Dans le cas extrême où la direction de mesure du spin est orthogonale à la direction de sa préparation – suivant z par exemple, alors que le spin a été préparé « haut suivant x » –, le système ne comporte pas la moindre information à propos du résultat de la mesure. En raison de cette complémentarité parfaite, le résultat est complètement aléatoire. Après la mesure, cependant, le système se trouve dans un des états « haut suivant z »

POUR EN SAVOIR PLUS

■ « A Foundational Principle for Quantum Mechanics », d'Anton Zeilinger (in « Foundations of Physics »:29, 4, 631, 1999). • « In the Beginning Was the Bit », de Hans Christian von Baeyer (in « New Scientist »:169, 26, 2001). • « Quantum Interference Experiments With Large Molecules », d'Olaf Nairz, Markus Arndt et Anton Zeilinger (in « American Journal of Physics »:71, 4, 2003). • « Information and Fundamental Elements of the Structure of Quantum Theory », de Caslav Brukner et Anton Zeilinger (in « Time, Quantum and Information », sous la direction de Lutz Castell et Otfried Ischebeck, Springer, 2003).

ou « bas suivant z ». Cette nouvelle information a été créée spontanément par le processus de mesure, tandis que l'ancienne information a été perdue. Il est facile de comprendre l'intrication de cette manière. Il s'agit de l'étrange caractéristique correspondant au fait que la mesure d'un système transforme immédiatement l'état quantique des systèmes semblables avec lesquels il est intriqué. Cette « action à distance fantomatique », selon les termes d'Einstein, est d'une compréhension aisée si l'on pose l'hypothèse que les N bits d'information disponibles pour décrire les N systèmes élémentaires intriqués sont entièrement utilisés pour définir les propriétés conjointes des systèmes élémentaires.

En s'appuyant sur le principe fondateur de la finitude de l'information représentée par les systèmes élémentaires, l'interprétation de la mécanique quantique à l'aide de la notion d'information fournit une nouvelle façon de comprendre l'indétermination objective, la complémentarité et l'intrication. En plus de cet avantage conceptuel par rapport à l'interprétation de Copenhague, l'approche qui se fonde sur la notion d'information fait avancer – sans modifier la signification de l'état comme un

Alice au pays du chat d'Erwin

En logique quantique, on traduit l'état bizarre du chat en disant que celui-ci a une propriété particulière « vivant-ou-mort », qui n'équivaut pas au chat étant vivant ou mort.

Selon le sens commun, avant d'ouvrir la boîte le malheureux chat de Schrödinger est soit vivant, soit mort ; de même, le chat n'est pas à la fois mort et vivant. Selon la mécanique quantique, lorsqu'on enferme le chat dans la boîte avec la substance radioactive, le système complet devient une superposition des deux états « chat vivant » et « chat mort ». Or superpositions et sens commun ne font pas bon ménage. Supposons qu'un électron se trouve dans la superposition d'états « ici » et « là-bas ». Selon l'approche standard des systèmes quantiques, il est faux de dire que l'électron est ici et faux de dire qu'il est là-bas ; de même, il est faux de dire qu'il est à la fois ici et là-bas. À l'observation, on le trouvera dans un endroit ou dans l'autre, mais pas dans les deux, bien qu'il n'existe pas de moyen de prédire lequel ce sera. Le paradoxe du chat de Schrödinger montre à quel point la théorie quantique entre en conflit avec la vision habituelle du monde. Toutefois, le système de pensée appelé « logique quantique » pourrait entretenir l'espoir d'une compréhension du chat fidèle au sens commun.

Si la logique quantique prend sa source dans les profondeurs des mathématiques quantiques, la connexion avec la notion de superposition n'est pas difficile à expliquer. Selon la logique quantique, quand un système quantique est dans une superposition de deux états ou plus – « électron ici » et « électron là-bas », etc. –, on peut relier les différentes possibilités avec un « ou ». Le logicien quantique dirait en particulier : le chat est ou vivant, ou mort. Cela semble prometteur : une autre approche de la superposition est possible, qui permettrait de dire que le chat n'est pas suspendu entre la vie et la mort. Il s'agit maintenant de savoir si cette impression va durer si l'on précise le caractère « quantique » de la logique quantique. En logique classique, « X ou Y » est vrai tant qu'au moins une des deux propositions est vraie. Par exemple, « Einstein était allemand ou français » est vrai parce qu'il était allemand. « Einstein était un physicien ou un joueur de violon » est aussi vrai parce qu'il était les deux. Or

en logique classique « ou » suit une règle simple appelée loi de distributivité. Einstein était un physicien (P), et aussi allemand (A) ou français (F), ce qui s'écrit : P et $(A$ ou $F)$. Selon la loi de distributivité, il s'ensuit que soit Einstein était un physicien et était allemand, soit il était un physicien et était français : $(P$ et $A)$ ou $(P$ et $F)$. C'est au niveau de la loi de distributivité que la logique quantique et la logique classique diffèrent. La logique quantique affirme que ladite loi ne peut pas s'appliquer pour les superpositions. Si



HUMOUR QUANTIQUE. « Peut-être avons-nous, ou peut-être n'avons-nous pas, cloné le chat de Schrödinger. »

l'électron est dans l'état de superposition « ici » (I) et « là-bas » (L), on peut résumer simplement par la lettre E l'énoncé de l'information sur l'électron que contient la superposition. Cet énoncé contient un bon nombre d'informations – principalement quant aux probabilités de résultats de différentes expériences. Le fait que l'électron est dans l'état de superposition « ici » et « là-bas » va avec le fait que, selon la logique quantique, E et (I ou L) est vrai, mais (E et I) ou (E et L) n'est pas vrai. Pourquoi la logique quantique rejette-t-elle la loi de distributivité ? La réponse se trouve, là encore, au plus profond du formalisme quantique. Cela est lié en partie à la mesure. Un électron ayant une position bien définie est dans une superposition d'états de vitesse, et il n'est pas possible de mesurer

simultanément la position et la vitesse. Cependant, quelles qu'en soient les raisons, la faillite de la loi de distributivité pour les superpositions est la marque de la logique quantique. Où en est-on alors avec le chat ? D'une part, il semble que l'on soit capable de dire que le chat est soit vivant (V), soit mort (M). Comme pour l'électron, la superposition exige son propre énoncé, que nous noterons C. La logique quantique dit que C et (V ou M) est vrai, mais aussi que (C et V) ou (C et M) n'est pas vrai. Et là réside le problème. Quand le logicien quantique dit que le chat est vivant ou mort, qu'est-ce que cela signifie réellement ? Pour satisfaire le sens commun, cela signifie nécessairement que le chat est, de façon non équivoque, vivant ou mort. Mais s'il en est ainsi, alors il est difficile de voir les raisons exactes de la faillite de la loi de distributivité. Avant l'observation, l'énoncé de superposition C est vrai. Si le chat est vivant ou mort dans le sens usuel, on devrait être capable de dire que C est vrai et le chat vivant, ou que C est vrai et le chat mort. Or c'est exactement ce que la faillite de la loi de distributivité ne nous autorise pas à dire. L'énoncé de logique quantique « V ou M » ne veut pas dire ce qu'il semble dire.

Appliqué au chat, il signifie que le chat a une propriété particulière « vivant-ou-mort » qui n'est pas équivalente au chat étant simplement vivant ou mort. La logique quantique a pour objectif de rester fidèle à la superposition. Or si la logique quantique est la logique de la superposition, alors elle hérite de toutes les bizarreries de la superposition. Plutôt que de résoudre le paradoxe du chat, la logique quantique fournit simplement une voie inhabituelle de l'énoncer, mais laisse entière notre perplexité face à l'étrangeté quantique. **ALLEN STAIRS**, PROFESSEUR DE PHILOSOPHIE À L'UNIVERSITÉ DU MARYLAND (COLLEGE PARK) (Traduit de l'américain par Catherine Lodovici-David.) **A lire :** « The Logic of Quantum Mechanics », de Hilary Putnam (in « Mathematics, Matter and Method », « Philosophical Papers », vol. 1, pp. 174-197, Cambridge University Press, Cambridge, Mass., 1985).