

ou «vers la droite», que nous connaissons, apparaissent, mais jamais d'autres? La réponse découle de la théorie de la décohérence : les calculs montrent que ces états classiques sont précisément ceux qui «résistent» à la décohérence, c'est-à-dire que les interactions avec l'environnement laissent la carte sur l'une ou sur l'autre des deux faces, mais amènent un état de superposition vers l'un ou l'autre des états classiques (vers la gauche ou vers la droite).

Décohérence et cerveau

Les physiciens ont pour habitude de diviser l'Univers en deux parties : le système étudié et le reste. En thermodynamique, par exemple, on distingue le corps matériel et son environnement, qui impose les conditions de température et de pression. De même, en physique quantique, le système étudié est séparé du dispositif de mesure, considéré d'un point de vue classique. Cependant, si l'on admet l'évolution unitaire de l'Univers et la décohérence, on doit alors diviser l'Univers en trois parties, chacune d'elles étant décrite par un état quantique : le système étudié, son environnement et l'observateur.

La décohérence, qui résulte des interactions de l'objet étudié avec son environnement, nous empêche de percevoir les superpositions quantiques d'états mentaux. Nos cerveaux sont si intimement liés à leur environnement que, même si nos neurones pouvaient percevoir de telles superpositions, leur décohérence serait inévitable, quasi instantanée. D. Zeh a remarqué que cela justifie *a posteriori* le postulat de la réduction du paquet d'ondes des textes fondateurs de la mécanique quantique, c'est-à-dire que l'on peut faire tous les calculs de probabilité que l'on veut à partir du moment où l'on admet que la fonction d'onde est réduite dès que l'objet est observé. Même si, dans la théorie d'Everett, les fonctions d'ondes ne sont jamais réduites, les physiciens s'accordent à dire qu'en pratique l'effet de la décohérence ressemble étrangement à une réduction du paquet d'ondes.

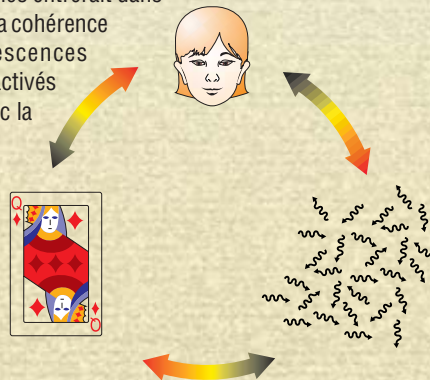
La découverte du phénomène de décohérence, ainsi que la multiplication des démonstrations expérimentales des étranges phénomènes quantiques ont fait considérablement

Scinder la réalité

On peut partager l'Univers en trois parties : l'objet étudié, son environnement et l'observateur dans son état quantique, que l'on nomme le sujet. L'équation de Schrödinger – qui s'applique à l'Univers dans son ensemble – peut être divisée en une somme de termes qui décrivent la dynamique interne de chacun de ces trois sous-systèmes, et de termes qui décrivent leurs interactions. Chacun de ces termes a un effet différent.

Le terme qui décrit la dynamique de l'objet étudié est en général le plus important ; aussi, quand il veut anticiper l'évolution d'un objet, les théoriciens commencent par ignorer les autres termes. Par exemple, on prévoit que la carte quantique sera dans un état de superposition, c'est-à-dire qu'elle tombera à la fois vers la droite et vers la gauche. Dès qu'une observatrice regarde la carte, l'interaction sujet-objet étend la superposition à son état mental, produisant la superposition d'un état de satisfaction parce qu'elle a gagné et d'un état de déception parce qu'elle a aussi perdu. Toutefois, elle ne perçoit jamais la superposition, car l'interaction entre l'objet et son environnement (les molécules d'air et les photons qui rebondissent à la surface de la carte) provoque une décohérence rapide qui fait disparaître la superposition.

Notons que, même si l'observatrice isolait complètement la carte de l'environnement (en faisant l'expérience dans un caisson sous vide, sombre et au zéro absolu), rien ne changerait. Sans doute qu'au moment même où elle regarderait la carte, l'un au moins de ses neurones entrerait dans un état de superposition et perdrait sa cohérence en 10^{-20} secondes. Si les arborescences complexes des neurones qui sont activés dans le cerveau ont quelque lien avec la façon dont s'élaborent nos pensées et nos perceptions – notre conscience –, alors le phénomène de décohérence empêche à coup sûr nos neurones de percevoir des états quantiques superposés. Nos cerveaux mêlent le sujet et l'environnement, et nous empêchent d'échapper à la décohérence.



évoluer la perception que les physiciens ont de la mécanique quantique. À l'origine, le postulat de la réduction du paquet d'ondes fut introduit pour expliquer pourquoi les expériences produisent des résultats déterminés et non d'étranges superpositions de résultats. Cette motivation initiale a pratiquement disparu. Qui plus est, personne n'a encore élaboré l'équation qui déterminerait exactement à quel moment cette mystérieuse réduction du paquet d'ondes est censée se produire.

Un petit sondage réalisé en juillet 1999 auprès des participants à un congrès sur l'informatique quantique, à Cambridge, a révélé que l'attitude des physiciens vis-à-vis de la réduction du paquet d'ondes est en train de changer. Parmi les 90 physiciens interrogés, seuls huit déclaraient croire à une réduction explicite des fonctions d'ondes. Une trentaine optè-

rent pour l'interprétation des «univers parallèles» ou pour sa variante des «histoires cohérentes», qui ne font pas appel à la réduction du paquet d'ondes (avec les «histoires cohérentes», on analyse des séquences de mesure et l'on assemble les résultats partiels pour former des «histoires» logiquement cohérentes pour un observateur).

Toutefois, plus de la moitié des physiciens interrogés ont choisi «aucune des réponses» ou «ne sait pas». Une difficulté linguistique explique sans doute en partie ce chiffre élevé. Il est fréquent que deux physiciens adhèrent à l'interprétation de Copenhague sans y accorder le même sens.

Cela dit, le sondage indique clairement qu'il serait temps de réviser les livres de physique quantique. Même si ces ouvrages précisent immanquablement que le principe de réduction du paquet d'ondes est un

**PRIX
«INTERBREW-
BAILLET LATOUR
DE LA SANTÉ» 2002**

**Domaine
d'application :**

L'influenza.

Montant du Prix :

Le Prix s'élèvera à
six millions de francs belges
(6 000 000 BEF –
150 000 EUR).

Le Prix est décerné à une personnalité dont les activités sont axées sur la recherche scientifique et/ou sur les applications pratiques de celle-ci. Le Prix est destiné à reconnaître les mérites du lauréat et à promouvoir la poursuite de ses travaux.

Les candidats peuvent être de nationalité belge ou étrangère.

Les candidatures doivent parvenir à la Secrétaire générale du Fonds National de la Recherche Scientifique, rue d'Egmont 5 à B – 1000 Bruxelles (Belgique) avant le **14 septembre 2001**. La personnalité qui introduit la candidature doit joindre à celle-ci un mémoire sur les mérites du candidat, mémoire rédigé en anglais et comprenant au moins trois pages.

Règlement :

Le règlement est à votre disposition au secrétariat du Fonds National de la Recherche Scientifique, rue d'Egmont 5 à B – 1000 Bruxelles,
Tél. : 02.504.92.11
fax : 02.504.92.92
e-mail : mjsimoen@fnrs.be

postulat fondamental, les physiciens y croient de moins en moins, tout particulièrement ceux qui travaillent sur les ordinateurs quantiques. Cette méthode reste une «recette de calcul» utile, mais on devrait indiquer dans tous les ouvrages destinés aux étudiants que la réduction de la fonction d'onde ne viole probablement pas l'équation de Schrödinger.

**L'avenir
de la théorie quantique**

Après 100 ans d'idées quantiques, de quoi l'avenir sera-t-il fait? Quels mystères subsistent? Même si les discussions sur l'interprétation de la mécanique quantique et sur la nature profonde de la réalité se poursuivent, cette théorie n'est probablement qu'un élément d'une théorie plus globale. Les différentes théories de la physique peuvent être classées sur une sorte d'arbre généalogique où chacune «descend» d'une théorie «fondatrice» plus fondamentale. La théorie quantique des champs et la relativité générale formeraient le tronc fondateur de l'arbre. Les premières branches comprennent la mécanique quantique et la relativité restreinte, qui se ramifient en électromagnétisme, en mécanique classique ou encore en physique atomique. L'informatique, la psychologie ou encore la médecine sont plus loin encore, sur les branches élevées.

Toutes ces théories présentent deux aspects : un ensemble cohérent d'équations mathématiques et des explications qui relient ces équations et les résultats expérimentaux. La mécanique quantique telle qu'on la présente d'ordinaire se présente aussi comme des équations et quelques postulats explicites. Progressivement de nouveaux concepts sont introduits (les protons, les atomes, les cellules, les organismes...) parce qu'ils améliorent la compré-

hension des phénomènes en jeu, sans que l'on doive recourir à des théories plus fondamentales. Ainsi, le rapport du nombre d'équations au nombre de mots nécessaires pour les expliquer diminue à mesure que l'on s'élève dans l'arbre des théories et tend vers zéro dans les domaines appliqués, tels que la médecine ou la sociologie. Au contraire, les concepts proches de la souche de l'arbre évolutif des théories sont essentiellement mathématiques.

Le but ultime des physiciens est de découvrir ce que l'on qualifie en plaisantant de «théorie de tout», une théorie dont toutes les autres se déduiraient. Si une telle théorie existe, elle constituera la racine profonde de l'arbre des théories, la source de la relativité générale et de la théorie quantique. Les physiciens savent notamment qu'il leur manque la «théorie-mère» de la théorie de la gravitation et de la physique quantique.

La théorie du tout ne contient probablement aucun concept, sinon on devrait chercher à l'expliquer d'après une théorie encore plus fondamentale... jusqu'à obtenir la doctrine ultime. Cette dernière serait donc purement mathématique, sans explications ni postulats. Un mathématicien infiniment intelligent en déduirait l'arbre entier des théories d'après les seules équations, avec les propriétés de l'Univers qu'elles décrivent, les caractéristiques de ses habitants et leur perception du monde.

Les 100 premières années de la mécanique quantique nous ont donné de puissantes techniques et ont résolu de nombreux problèmes. Toutefois, les physiciens ont soulevé de nouvelles questions, tout aussi importantes que celles qui restaient ouvertes à l'époque où Maxwell inaugurerait son cours magistral à Cambridge, par exemple la nature de la gravitation et celle de la réalité.

Max TEGMARK est professeur de physique à l'Université de Pennsylvanie. John Archibald Wheeler est professeur de physique émérite à l'Institut des études avancées de Princeton. En 1934-1935, il a travaillé dans le groupe de Niels Bohr, à Copenhague. Il a eu comme étudiants Richard Feynman et Hugh Everett.

Daniel KLEPPNER et Roman JACKIW, *One Hundred Years of Quantum Physics*, Science, vol. 289, pp. 893-898, août 2000.

PLANCK, *Une conscience déchirée*, Editions Belin, 1998.

BEAM LINE, *Special quantum century issue*, vol. 30, n° 2.

Ce numéro du magazine BEAM LINE du laboratoire américain SLAC peut être téléchargé à l'adresse :

www.slac.stanford.edu/pubs/beam-line/pdf/00ii.pdf

A. ZIHLINGER, *The Quantum Centennial*, in *Nature*, vol. 408, pp. 639-641, 7 décembre 2000.

