

N'IMPORTE QUELLE MESURE PARTICULIÈRE NE CAPTURE QU'UN FRAGMENT DU MONDE QUANTIQUE

> Un tour de passe-passe permet de s'extirper du problème de la mesure : il consiste à présumer que le phénomène de réduction n'a pas lieu. Au début des années 1970, Heinz-Dieter Zeh, aujourd'hui professeur émérite à l'université de Heidelberg, en Allemagne, a proposé un processus qui donne l'apparence de la réduction tout en préservant la multiplicité quantique de la fonction d'onde.

Il fait valoir que, dans le monde réel, la fonction d'onde de n'importe quelle particule observée s'enchevêtre avec celle de tout ce qui se trouve dans son environnement, rendant impossible le suivi des innombrables interactions quantiques qui se produisent autour de nous. En termes quantiques, les fonctions d'onde deviennent intriquées (*voir Pas d'échappatoire pour l'intrication, par R. Hanson, page 26*). Un observateur ne peut qu'espérer voir une petite fraction de ce vaste système enchevêtré. En conséquence une mesure particulière ne capture qu'un fragment du monde quantique.

Ce processus, que Heinz-Dieter Zeh nomme la décohérence, a vite été adopté par les physiciens pour expliquer pourquoi nous ne percevons pas de phénomènes quantiques au niveau macroscopique. Il décrit l'effondrement d'une fonction d'onde intacte

(qui comprend tous les états physiques possibles qu'une particule peut avoir) lorsqu'elle interagit avec celles d'autres systèmes quantiques voisins. Si ce modèle est juste, nous vivons au milieu de cette toile quantique intriquée dont nous ne voyons qu'une partie.

La décohérence ne résout pas le problème de la mesure pour tous les physiciens. Par exemple, elle n'explique pas pourquoi nous voyons un fil de la toile quantique et pas les autres. «Il faut encore invoquer la réduction, selon laquelle un des états intriqués doit être sélectionné», explique Miles Blencowe, du Dartmouth College, aux États-Unis.

Pour lui et d'autres, ce processus ne capture pas notre expérience des choses, notamment son aspect temporel. «Comment, ajoute-t-il, passe-t-on d'un état intriqué à une perception du monde qui évolue avec le temps selon un unique chemin?» De nombreux spécialistes estiment qu'il faut passer par une réduction pour rétablir cette unité du monde à mesure qu'il évolue plutôt que cette toile

intriquée qui ne cesse de s'élargir. Stephen Adler se montre un peu plus direct à propos de la décohérence : «Elle ne fournit aucun mécanisme [pour la réduction]. Elle ne résout pas le problème, point final.»

Il y a soixante ans, un étudiant de l'université de Princeton proposa une solution encore plus radicale au problème de la réduction. Dans sa thèse de 1957, Hugh Everett expliquait que la fonction d'onde ne se réduit ni ne subit une décohérence. Au contraire, tous ses composants sont physiquement réels, et constituent des parties d'une panoplie d'univers aux ramifications infinies. Cette «théorie des univers multiples» est devenue populaire parmi les cosmologistes, qui ont d'autres raisons de penser que nous habitons un multivers. Mais personne n'est jamais parvenu à tester expérimentalement cette idée des mondes multiples et à la distinguer de la théorie quantique standard.

Il en va de même pour d'autres interprétations de la mécanique quantique. Le physicien français Louis de Broglie, l'un des fondateurs de la théorie quantique, cherchait à supprimer la nécessité de la réduction du paquet d'ondes en introduisant la notion «d'ondes pilotes» qui guident les trajectoires des électrons et de toutes les autres particules.

Dans cette version de la théorie quantique, que le physicien américain David Bohm a davantage développée dans les années 1950, il n'y a pas de réduction mystérieuse ; les mesures montrent simplement les interactions d'ondes pilotes et de leurs particules associées. Mais, encore une fois, personne n'a pu le prouver expérimentalement. La théorie de l'onde pilote de Louis de Broglie et David Bohm, la théorie des mondes multiples d'Everett et les dizaines d'autres approches de la mécanique quantique sont au même stade.

Finalement, les physiciens choisissent leur description de la réalité préférée d'après un critère esthétique. «J'en reviens au fait que nous avons un seul monde qui évolue, insiste Miles Blencowe. Pour cela, on a vraiment besoin d'une sorte de réduction, qui serait plus qu'une simple règle pour les résultats expérimentaux, un processus bien réel.»

LA VILLE INTRIKUÉE

La ville de Delft pourrait être qualifiée de système quantique intriqué. Ses canaux placides et ses bâtiments médiévaux de briques se superposent dans l'espace et dans le temps avec des voitures, des cyclistes, des magasins de téléphones portables et des étudiants qui arpentent les mêmes rues étroites qu'a explorées le peintre Johannes Vermeer. Le laboratoire de Simon Gröblacher est à environ 2 kilomètres au sud du centre historique et... à des centaines d'années dans le futur!

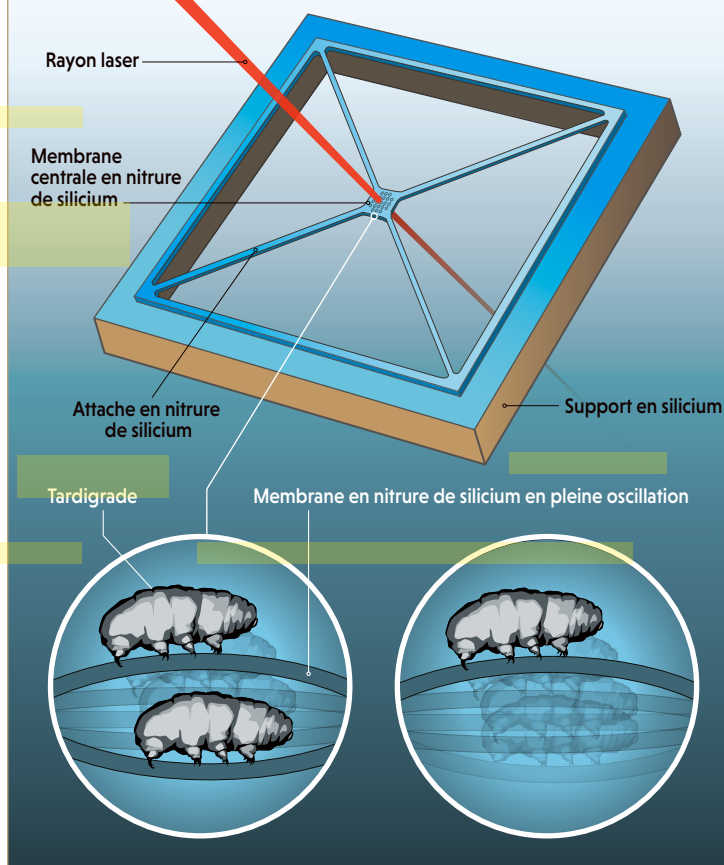
Par un matin chaud de printemps, il montre à un visiteur l'une des «grandes, très

grandes» créations dont il est, avec ses collègues, l'auteur: une membrane de l'ordre du millimètre, attachée à une puce de silicium, à peine visible à l'œil nu.

Vue de près (ou largement agrandie sur un poster dans le couloir), la membrane ressemble à un trampoline minuscule. Elle est composée de nitrure de silicium, un matériau céramique

TARDIGRADE SUR TRAMPOLINE

Des objets macroscopiques peuvent-ils se comporter de manière quantique ? L'une des expériences prévues pour y répondre met en jeu une membrane de taille millimétrique qui ressemble à un minuscule trampoline. Attachée à une puce en silicium, la membrane peut vibrer pendant de longues minutes. Les scientifiques comptent utiliser un laser pour placer la membrane dans un état de superposition quantique: la membrane pourrait vibrer à deux amplitudes différentes en même temps. Les chercheurs veulent suivre la possible réduction du paquet d'onde du système (la membrane adopte une seule amplitude). Lors de futurs tests, le dispositif embarquerait un passager vivant – un tardigrade – placé sur la membrane et mis en état quantique.



utilisé dans le moteur des navettes spatiales, et comprend en son centre un miroir hautement réfléchissant. Une seule secousse de l'un des composants peut faire vibrer la membrane pendant plusieurs minutes. De telles membranes sont «d'excellents oscillateurs, explique le physicien. Ce serait comme pousser une fois quelqu'un sur une balançoire pour qu'elle oscille d'avant en arrière pendant dix ans.» Malgré ses dimensions lilliputiennes, la membrane est extraordinairement résistante. «Nous la soumettons à une tension très importante – de l'ordre de 6 gigapascals, précise Richard Norte, l'un des collaborateurs de Simon Gröblacher. C'est environ dix mille fois la pression dans un pneu de vélo, dans quelque chose à peine huit fois plus large qu'un brin d'ADN.»

Cette résistance rend la membrane idéale pour étudier des phénomènes quantiques: elle vibre de façon fiable à température ambiante et sans se briser. Simon Gröblacher et Richard Norte comptent un jour utiliser un laser pour pousser la membrane dans un état de superposition (la membrane oscillerait simultanément à deux amplitudes différentes). La capacité de la membrane à vibrer pendant plusieurs minutes devrait, en principe, permettre à ces états quantiques de persister suffisamment longtemps pour que nous puissions voir ce qui se passe quand – ou si – la membrane se réduit à un seul état classique.

«C'est exactement ce qu'il faut pour créer un système qui garde ses spécificités quantiques, explique Simon Gröblacher. Il est très bien isolé et n'interagit pas avec son environnement, au risque d'induire, supposément, la décohérence. Une fois dans un état quantique, vous contrôlez sa décohérence, avec le laser. Nous espérons bientôt créer une superposition des oscillations du système.»

DES TARDIGRADES QUANTIQUES

Simon Gröblacher et ses collègues ne comptent pas s'arrêter en si bon chemin. *In fine*, ils espèrent placer un organisme vivant sur la membrane pour ensuite mettre celle-ci, et donc son passager, dans un état de superposition quantique. Les candidats principaux pour cette expédition dans l'espace quantique sont les tardigrades, des microorganismes à huit pattes parfois surnommés «oursons d'eau». «Ce sont des créatures fascinantes, s'enthousiasme Simon Gröblacher. Elles survivent à un refroidissement intense, à des températures élevées, à un vide poussé...» Mais avant d'obtenir un tardigrade quantique, la première étape consiste d'abord à mettre le dispositif sans voyageur dans un état de superposition.

Avec ou sans tardigrades, une telle expérience offrirait aux physiciens l'opportunité de tester si la nature censure, d'une manière ou d'une autre, les effets quantiques au-delà d'une