

Pour Shakespeare, «le monde entier est un théâtre». Les physiciens partagent cette définition, mais pour eux, le théâtre est plus précisément l'espace. Celui-ci serait la scène sur laquelle entrent en action les forces et les particules qui l'occupent. L'espace, tel qu'on le conçoit généralement, n'est constitué de rien de matériel.

Cependant, les chercheurs commencent à mettre en doute cette vision. L'espace (ou plutôt l'espace-temps dans le contexte de la théorie de la relativité générale) pourrait être composé de minuscules bouts d'information. Selon cette approche, ces petits éléments, en interagissant, créent l'espace-temps et font émerger ses propriétés, telles que la courbure – dont découle la gravité.

Cette idée, si elle est correcte, n'expliquerait pas seulement l'origine de l'espace-temps. Elle aiderait aussi les physiciens à formuler la théorie quantique de la gravitation qui se fait attendre depuis si longtemps. En effet, les physiciens ont développé au XX^e siècle deux théories irréconciliables, la relativité générale, qui décrit la dynamique de l'espace-temps, et la physique quantique, qui régit le monde des particules et de leurs interactions.

Le projet *It from Qubit* réunit plusieurs fois par an une centaine de physiciens pour réfléchir à ces nouvelles idées. Le nom de ce projet résume l'hypothèse qui anime ces chercheurs : le *it* est ici l'espace-temps et le *qubit* représente la plus petite quantité d'information – la version quantique du bit informatique.

L'idée que l'Univers serait construit à partir d'informations a été popularisée dans les années 1990 par le physicien américain John Wheeler et son expression «*It from Bit*». Pour lui, toute la physique serait décrite au niveau le plus fondamental à partir d'information. Un quart de siècle plus tard, avec les progrès en physique quantique, le *bit* est devenu *qubit* et l'idée s'est modernisée.

La réunion *It from Qubit* (IfQ) qui s'est tenue en juillet 2016 à l'institut Perimeter de physique théorique, au Canada, illustre l'engouement autour de cet axe de recherche. Les organisateurs attendaient environ 90 personnes, mais ils ont reçu tellement de demandes qu'ils ont finalement accueilli 200 participants et ont animé, en simultané, six sessions parallèles dans d'autres universités. «Je pense que c'est l'une des voies les plus prometteuses, si

L'ESSENTIEL

■ L'espace-temps pourrait être constitué de minuscules éléments d'information liés par le phénomène d'intrication quantique.

■ Des physiciens explorent cette idée dans le cadre d'un programme de recherche intitulé *It from Qubit*, qui réunit des spécialistes de l'informatique quantique et des physiciens de la relativité générale et de la théorie des cordes.

■ L'objectif, à terme, est d'obtenir une théorie quantique de la gravitation, compatible avec la physique quantique et avec la relativité générale.

ce n'est la voie, pour parvenir à la gravité quantique», confie Netta Engelhardt, postdoctorante à l'université Princeton et qui a assisté à plusieurs de ces réunions. «C'est vraiment en train de décoller.»

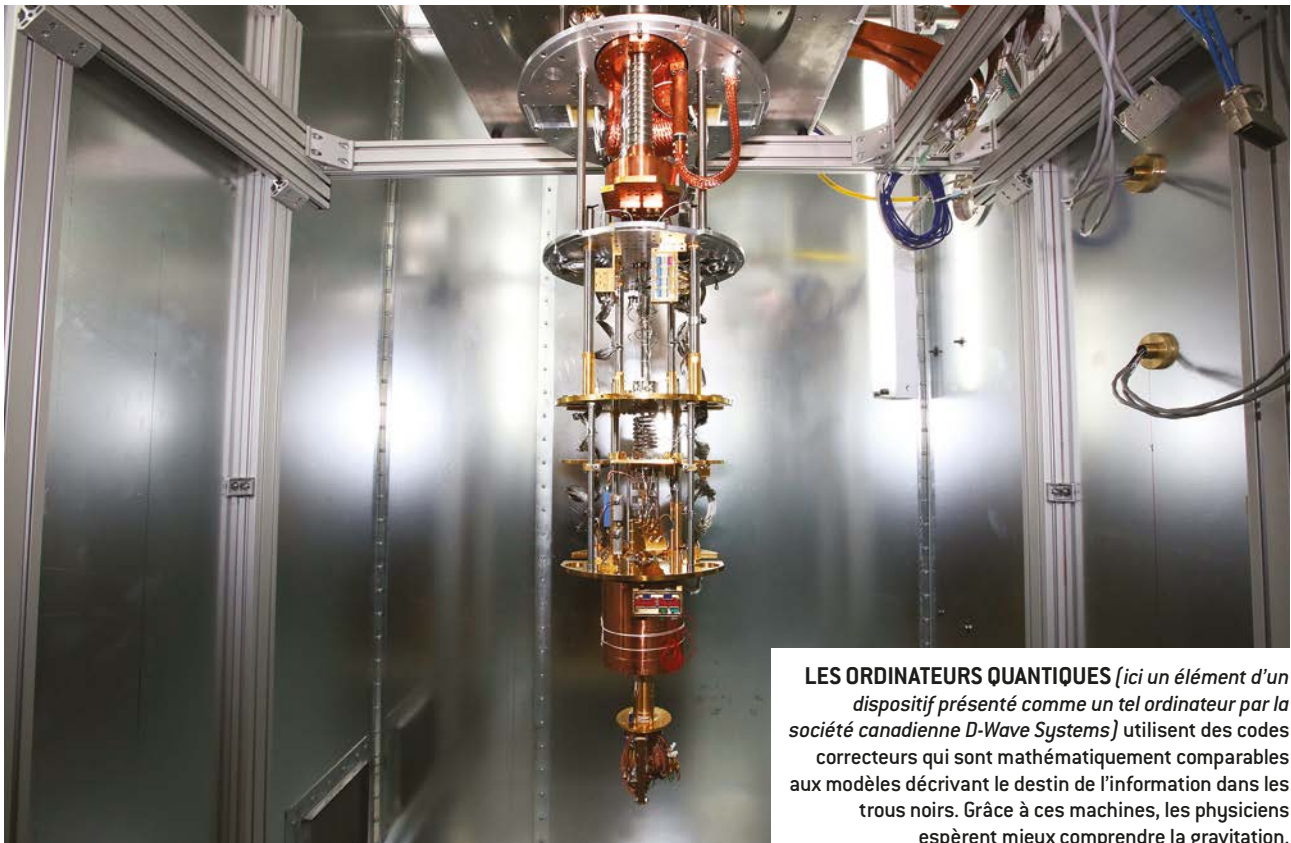
Un pont entre plusieurs disciplines

Parce que le projet concerne à la fois la science des ordinateurs quantiques, l'étude de l'espace-temps dans le cadre de la relativité générale, la physique des particules et la théorie des cordes, il réunit des chercheurs de communautés qui n'ont pas l'habitude de collaborer. Il y a plus d'un an, la fondation Simons, un organisme privé qui soutient la recherche scientifique, a décidé d'allouer un budget pour lancer le projet collaboratif *It from Qubit* et financer les recherches et les rencontres des physiciens sur ce sujet. Depuis, l'excitation n'a cessé de croître, et les rencontres successives ont attiré de plus en plus de chercheurs, parmi lesquels des membres de la collaboration financée par la fondation Simons mais aussi de nombreuses autres personnes simplement intéressées par le sujet.

L'intérêt pour le projet IfQ s'étend bien au-delà du cercle de chercheurs qui y participent. Par exemple, Brian Greene, théoricien des cordes à l'université Columbia et extérieur à IfQ, souligne que «si le lien avec la théorie de l'information quantique est aussi fructueux que certains l'anticipent, tout cela pourrait bien déboucher sur la prochaine révolution de notre compréhension de l'espace et du temps. C'est un projet important et tout à fait passionnant.»

L'idée selon laquelle l'espace-temps n'est pas fondamental, mais émerge de bits d'information et est «constitué» de quelque chose, marque une rupture par rapport au tableau dépeint par la relativité générale. De quoi exactement ces bits sont-ils faits et quel type d'information contiennent-ils ? Les chercheurs l'ignorent. Mais curieusement, cela ne semble pas les déranger. «Ce qui compte, ce sont les relations [entre les bits plus que les bits eux-mêmes]», explique Brian Swingle, postdoctorant à l'université Stanford. «Toute la richesse vient de ces relations collectives. Ici, l'élément crucial, ce n'est pas les constituants, mais la manière dont ils s'organisent.»

La clé de cette organisation pourrait être l'étrange phénomène que l'on



LES ORDINATEURS QUANTIQUES (ici un élément d'un dispositif présenté comme un tel ordinateur par la société canadienne D-Wave Systems) utilisent des codes correcteurs qui sont mathématiquement comparables aux modèles décrivant le destin de l'information dans les trous noirs. Grâce à ces machines, les physiciens espèrent mieux comprendre la gravitation.

■ L'AUTEURE



Clara MOSKOWITZ est rédactrice pour la revue *Scientific American* où elle couvre l'astrophysique, la cosmologie et la physique.

nomme intrication quantique : une corrélation bizarre qui peut exister entre deux particules, et grâce à laquelle des mesures réalisées sur l'une des particules ont un effet instantané sur l'autre, même quand une grande distance les sépare. « Selon une idée fascinante proposée récemment, l'étoffe de l'espace-temps serait tissée par l'intrication quantique des éléments sous-jacents d'espace-temps, quelle qu'en soit la nature », explique Vijay Balasubramanian, physicien à l'université de Pennsylvanie et l'un des principaux collaborateurs d'IfQ.

Le raisonnement qui sous-tend cette idée est le produit d'une série de découvertes réalisées par des physiciens, notamment par Shinsei Ryu, maintenant à l'université de l'Illinois à Urbana-Champaign, aux États-Unis, et Tadashi Takayanagi, maintenant à l'université de Kyoto, au Japon. En 2006, ces deux chercheurs ont mis en évidence une connexion entre l'intrication quantique et la géométrie de l'espace-temps. En 2013, en s'appuyant sur ces travaux, Juan Maldacena, de l'Institut d'études avancées de Princeton, et Leonard Susskind, à l'université Stanford, ont montré que si deux trous noirs étaient intriqués, ils créeraient un trou de ver, un raccourci

dans l'espace-temps prédit par la relativité générale (voir l'article de Juan Maldacena, pages 28 à 35). Cette idée a été surnommée ER=EPR, d'après les noms des physiciens qui ont suggéré ces phénomènes : Albert Einstein et Nathan Rosen pour les trous de ver, Einstein, Rosen et Boris Podolsky pour l'intrication quantique. Cette découverte, et d'autres comparables, suggèrent que, curieusement, l'intrication quantique (dont on pensait qu'elle ne faisait intervenir aucun lien physique) peut façonner l'espace-temps.

Afin de comprendre comment l'intrication pourrait donner lieu à l'espace-temps, les physiciens doivent d'abord mieux comprendre comment l'intrication fonctionne.

Ce phénomène nous paraît « fantomatique », pour reprendre les mots d'Einstein, lorsque lui et ses collaborateurs l'ont prédit en 1935, parce qu'il implique une connexion instantanée entre particules même très éloignées. Une situation qui semble défier la relativité restreinte qui stipule que rien ne peut voyager plus vite que la lumière. L'intrication quantique a cependant été confirmée par de nombreuses expériences, sans pour autant violer les principes de la relativité restreinte.