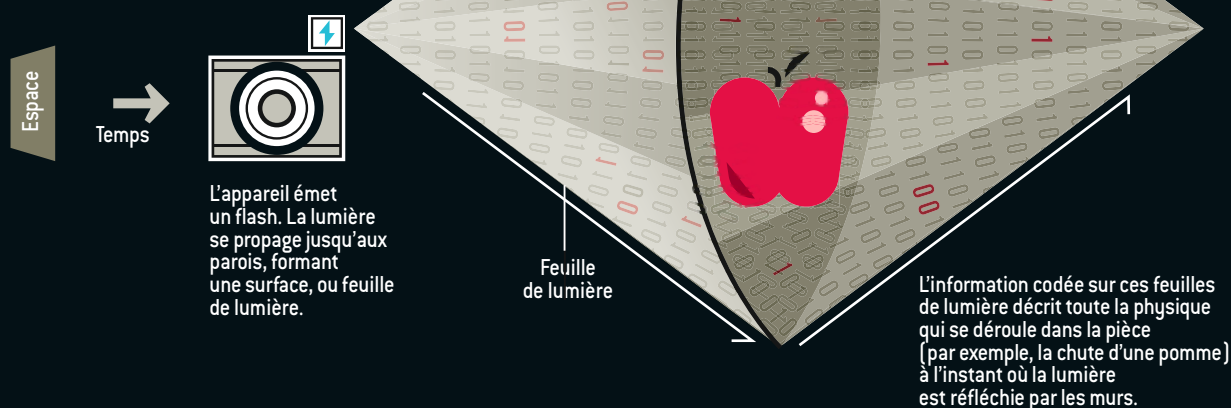


LE PRINCIPE HOLOGRAPHIQUE

D'après le principe holographique, le monde tridimensionnel émerge de l'information contenue sur des surfaces bidimensionnelles. Raphael Bousso a proposé en 1999 une interprétation en termes de « feuille de lumière ». Imaginons une pomme qui tombe dans une pièce. Des surfaces qui se propagent vers l'intérieur d'un volume à la vitesse de la lumière contiennent toute l'information sur les objets présents dans ce volume et les processus physiques qui s'y déroulent. On peut visualiser ces feuilles de lumière comme le flash lumineux d'un appareil photo qui fait « apparaître » un objet en train de tomber dans une pièce.



Leandro Castédo

L'AUTEUR

Michael MOYER est rédacteur au magazine *Scientific American*.

l'information qu'elle porte est, d'une façon ou d'une autre, sauvegardée à la surface du trou noir – plus précisément à l'horizon des événements, la surface virtuelle de non-retour, en deçà de laquelle la lumière ne peut plus revenir. Ainsi, l'horizon des événements se double d'un grand livre d'archives. L'information n'est pas perdue.

Des bits d'information à la surface des trous noirs

Dans les années 1980, Raphael Sorkin, de l'Université de Syracuse, a montré que l'entropie fondamentale d'un trou noir vaut un quart de la surface de son horizon mesurée en unités égales à l'aire de Planck. En d'autres termes, sur l'horizon du trou noir, chaque petit carré dont le côté mesure deux longueurs de Planck contient un bit d'information. Ainsi, un trou noir de un centimètre de diamètre – ou plutôt, sa surface – renferme 10^{66} bits d'information. Il s'agit de l'entropie fondamentale, qui mesure les états microscopiques de l'espace à l'échelle la plus fondamentale. La

nature de ces bits d'information, ou degrés de liberté, reste cependant inconnue à ce jour faute d'une théorie complète de la gravitation quantique.

Cette conception selon laquelle l'information comprise dans une région d'espace dépend de sa surface et non de son volume est plus qu'une astuce pour résoudre le paradoxe de l'information des trous noirs. L. Susskind et G. 't Hooft ont étendu l'idée à l'Univers entier en 1993. Selon le principe holographique, à l'instar d'un hologramme qui enregistre une image en trois dimensions sur une pellicule à deux dimensions, toute l'information sur l'univers tridimensionnel qui nous entoure serait encodée sur des surfaces bidimensionnelles (qui restent à déterminer).

Depuis, il a été montré que ce principe est valable pour certains modèles d'espace-temps. Le physicien argentin Juan Maldacena a par exemple établi en 1997 qu'une théorie des supercordes dans un espace-temps dit anti-de Sitter à cinq dimensions est équivalente à une théorie quantique des champs sur la frontière de cet espace-temps.

En 1999 et 2000, Raphael Bousso, maintenant à l'Université de Californie à Ber-

keley, a proposé une interprétation du principe holographique qui permet de l'étendre à un grand nombre de situations. Imaginez une surface concave, comme la face interne d'une sphère, tapissée d'une infinité de flashes. Ceux-ci se déclenchent tous en même temps, formant un front d'onde lumineux qui se propage vers le centre. C'est sur cette surface à deux dimensions, la « feuille de lumière », que toute l'information concernant les objets situés à l'intérieur de la sphère et rencontrés par le front d'onde est stockée (voir l'encadré page ci-contre).

L'espace-temps est un sous-produit des quanta d'information

Cette feuille de lumière, d'après le principe holographique, contient l'information sur la position des particules et des forces s'exerçant sur elles à l'intérieur de la sphère. Mais il ne s'agit pas d'une simple pellicule qui enregistre ce qui se passe dans la région tridimensionnelle d'univers. Au contraire, la feuille de lumière vient en premier. Elle projette sur le monde l'information contenue à sa surface, faisant apparaître tout l'univers tridimensionnel que nous voyons. L'espace-temps, ainsi que la matière et les forces qui s'exercent sur elle, est un sous-produit de la surface holographique encodant des bits d'information.

Ainsi, le principe holographique laisse entrevoir une connexion profonde entre l'information, l'espace-temps, la matière et la gravité. Il pourrait en ce sens révéler la direction à suivre pour développer la théorie quantique complète de la gravitation, qui engloberait la relativité et la physique quantique.

Même si le principe holographique est correct, des questions subsistent. Sous quelle forme l'information est-elle codée ? Comment est-elle traitée pour faire émerger l'Univers que nous observons ? Pour certains physiciens, l'Univers est un ordinateur qui traite l'information pour faire apparaître ce que nous percevons comme la réalité physique. Mais cet ordinateur est pour le moment une boîte noire.

C. Hogan ne cherche pas à résoudre ces questions complexes. Il propose seulement de déterminer si, au niveau fondamental, l'espace se décompose en unités d'information. Dans la plupart des inter-

prétations, l'espace-temps qui émerge de la description holographique de l'Univers est intrinsèquement quantique, c'est-à-dire qu'il est discret et fluctuant.

Plus précisément, dans cet espace-temps quantique émergent, la position d'un objet n'est pas précisément définie. Il ne s'agit pas d'une incertitude quantique usuelle, selon laquelle on ne peut connaître simultanément la position et la vitesse exactes d'une particule, mais d'une incertitude intrinsèque : la notion classique de point, avec des coordonnées bien définies, n'a pas de sens.

À la place, en se fondant sur la « géométrie non commutative » du mathématicien français Alain Connes, C. Hogan a proposé un nouveau concept de position. Selon cette idée, la position d'un objet est mesurée par des opérateurs qui ne commutent pas ; en d'autres termes, une mesure de la position selon une direction x , puis selon une direction y , donne un résultat différent d'une mesure effectuée selon la direction y , puis selon la direction x . Il existerait ainsi une incertitude fondamentale, de nature géométrique, sur les positions dans l'espace-temps qui émerge de la description holographique du monde.

Ainsi, à l'échelle de Planck, l'espace-temps est agité d'un sautillerment permanent, la position précise d'un objet fluctuant sans cesse. L'Univers n'est pas similaire à l'éther classique, transparent, cristallin : sa texture est mouvante.

Mais comment descendre au niveau de cette texture et la mettre en évidence ? L'échelle de Planck est si petite que l'atteindre dans un accélérateur de particules – en concentrant une énergie colossale dans un volume infinitésimal – est tout simplement impossible à l'échelle terrestre. L'holomètre de C. Hogan a pour objectif d'attaquer par le flanc la longueur de Planck.

L'interféromètre de Michelson et Morley tentait de mesurer une minuscule variation de la vitesse de la lumière due au mouvement de la Terre autour du Soleil en comparant deux faisceaux lumineux ayant parcouru une distance raisonnablement grande. En effet, le retard dû à une hypothétique variation de la vitesse de propagation se cumule avec la distance et devient mesurable.

Il en est de même avec l'incertitude quantique sur la position proposée par C. Hogan. Elle induit une erreur à l'échelle



UNE COLLECTION D'ENTRETIENS AUDIO ORIGINAUX À TÉLÉCHARGER

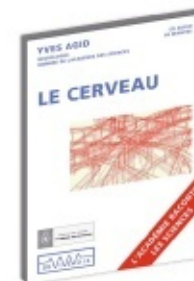


EINSTEIN ET LES RÉVOLUTIONS QUANTIQUES

La révolution quantique du début du XXe siècle se prolonge de nos jours avec une deuxième révolution qui repose sur le concept étrange d'intrication.

Alain Aspect, Professeur à l'Institut d'Optique et membre de l'Académie des sciences

MP3 - 75 minutes 9,90€



LE CERVEAU

Une exploration détaillée et fascinante de l'organe le plus complexe du corps humain par un des plus grands neurologues français.

Yves Agid, Neurologue, membre de l'Académie des sciences

MP3 - 57 minutes 9,90€

TÉLÉCHARGEZ LES NOUVEAUTÉS DE LA FABRIQUE SCIENCES SUR DEVIVEVOIX.FR

SCIENCES & MUSIQUES D'AVANT-GARDE



QUADRIVUM RADIO

Découvrez le programme de podcasts de la webradio Quadrivium en partenariat avec le magazine Pour la Science. Pénétrez dans les plus grands laboratoires pour écouter la parole des chercheurs.

Biologie

Nicolas Gompel

Institut de biologie du développement de Marseille Luminy

L'expression des gènes dans le cadre de l'évolution

Physique

Stéphane Mazouffre

Laboratoire Icar à Orléans

Au cœur d'un propulseur à plasma

A VOIR

Physique

Simone Speziale

Centre de physique théorique de Luminy

Gravité quantique

A VOIR

Biologie

Jonathan Ewbank

Centre d'immunologie de Marseille-Luminy

Immunologie

www.quadriviumradio.com