

Dès le prochain numéro, retrouvez la nouvelle formule de Pour la Science

- ◆ Davantage d'actualités
- ◆ De nouvelles rubriques
- ◆ Un graphisme plus contemporain



ASTROPHYSIQUE

L'ESSENTIEL

- « Un milliardaire de la Silicon Valley finance un projet audacieux : envoyer une sonde vers une des plus proches roches extraterrestres du Soleil. »
- « La mission, baptisée Breakthrough Starshot, vise à envoyer une sonde minuscule vers la première étoile habitable que l'homme a jamais vue. »

L'AUTEUR

ANN FINKELSTEIN
est astronome scientifique.

En route vers Alpha du Centaure

LE RÊVE D'ATTEINDRE LES ÉTOILES VA-T-IL SE RÉALISER ? UN MILLIARDAIRE FINANCE LE PROJET DE SONDE STARSHOT QUI, TEL UN VOILIER DE L'ESPACE, ATTEINDRA DES VITESSES EXCEPTIONNELLES POUR RENDRE VISITE À L'UNE DES ÉTOILES LES PLUS PROCHES DU SYSTÈME SOLAIRE.

Au printemps 2016, je me suis retrouvé à une réception en compagnie de brillants physiciens et mathématiciens Freeman Dyson, alors âgé de 93 ans et professeur émérite à l'Institut d'études avancées de Princeton, dans le New Jersey. Il est connu pour ne jamais dire ce qu'il en attend de lui, et je lui ai donc demandé : « Quoi de neuf ? » Il a souri de son sourire ambigu, et a répondu : « Apparemment, nous allons rendre visite à Alpha du Centaure ». Cette étoile est l'une des plus proches voisines de notre Soleil, et un milliardaire de la Silicon Valley avait récemment annoncé qu'il finançait un projet baptisé Breakthrough Starshot pour y envoyer un vaisseau spatial d'un type nouveau. « C'est une bonne idée ? », ai-je demandé. La réponse de Dyson n'est élogieuse : « Non, c'est idiot. Mais la vision est intéressante ». Le principe du vaisseau est effectivement intéressant, au lieu de l'habitacle fusée pro-

publié par des réactions chimiques et suffisamment grande pour transporter des humains ou des instruments lourds, Starshot est un vaisseau minuscule poussé électriquement multidirectionnel appelé StarChip, muni de chaque côté d'une « voile solaire ». La voile serait tellement légère que quand elle serait frappée par un faisceau laser, elle accélérerait jusqu'à 20 pour cent de la vitesse de la lumière. Alpha du Centaure étant située à 4,37 années lumière de nous, la plus rapide des fusées pourrait mettre mille ans pour aller rendre visite à Alpha du Centaure. À l'antenne : une puce StarChip pourrait faire le voyage en vingt années. À l'arrivée, les puce ne s'arrêteront pas, mais elles renverront à tout allure le système formé par Titane et toutes ses éventuelles planètes, en quelques minutes seulement, envoyant au passage des images qui mettront 4,37 années à revenir jusqu'à nous.

L'aspect « idiot » de la mission Starshot, c'est que son intérêt scientifique est très limité. Les choses que les astronomes souhaitent ap-



- ◆ Et toujours des articles rédigés par les meilleurs spécialistes du domaine pour un plaisir de lecture renouvelé



Rendez-vous le 24 mai 2017
chez votre marchand de journaux

Disponible également sur pourlascience.fr



L'intrication quantique est-elle un trou de ver ?

Juan Maldacena

Réconcilier enfin relativité générale et physique quantique ? Un rêve de physiciens qui prendrait corps avec une nouvelle théorie : l'intrication quantique de deux trous noirs correspondrait à la formation d'un trou de ver reliant les deux astres.

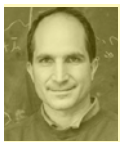
La physique théorique regorge de notions étonnantes, mais deux des plus étranges sont certainement l'intrication quantique et les trous de ver. La première est un phénomène purement quantique, dans lequel deux objets (en général des particules subatomiques) ont des propriétés directement corrélées même si de grandes distances les séparent et qu'aucun lien physique ne semble exister entre eux. Quant aux trous de ver, prédits par la théorie de la relativité générale, ce sont des raccourcis qui connecteraient des régions éloignées de l'espace-temps, par exemple deux trous noirs distants. Ces dernières années, avec plusieurs autres physiciens, j'ai suggéré que ces deux concepts *a priori* si différents sont peut-être liés. À partir de calculs portant sur des trous noirs, nous nous sommes rendu compte que l'intrication de la physique quantique et les trous de ver de la relativité générale pourraient constituer deux facettes d'un même phénomène. Et nous pensons que cette similitude s'étend à des situations qui ne se limitent pas aux trous noirs.

Nous n'en sommes qu'aux prémices de cette idée, mais si elle se confirme, elle aura des conséquences profondes sur notre compréhension du monde. En effet, elle suggère par exemple que l'espace-temps lui-même émergerait de l'intrication de constituants microscopiques plus fondamentaux. Elle laisse aussi penser que la relation entre objets intriqués (et qui ont longtemps été considérés comme n'ayant pas de lien physique entre eux) serait moins « magique » qu'elle n'apparaît.

DEUX TROUS NOIRS, situés à grande distance l'un de l'autre, pourraient être reliés par un trou de ver, d'après les équations de la relativité générale. En s'inspirant de certains résultats de la théorie des cordes, des physiciens pensent que les trous de ver et l'intrication quantique sont deux aspects d'un même phénomène.

Malcolm Gordon, Moontower Design

L'AUTEUR



Juan MALDACENA est physicien théoricien à l'Institut d'études avancées de Princeton, aux États-Unis. Il est connu pour ses contributions à l'étude de la gravitation quantique et de la théorie des cordes.

Une compréhension approfondie de cette relation entre intrication et trous de ver aboutira peut-être à une piste pour unifier la physique quantique et la relativité générale et ainsi pour développer une théorie quantique de la gravitation. En effet, à ce jour, la physique quantique, qui décrit notamment les interactions subatomiques, et la relativité générale, qui rend compte de la dynamique de l'espace-temps et de la gravitation, sont incompatibles. Or une théorie quantique de la gravitation est nécessaire pour explorer les instants les plus reculés de l'histoire de l'Univers et l'intérieur des trous noirs.

De façon étonnante, les idées d'intrication quantique et de trous de ver remontent toutes deux à des articles écrits en 1935 par Albert Einstein et ses collaborateurs. Ces articles traitent de phénomènes très différents, et Einstein n'a probablement jamais imaginé qu'il pourrait y avoir entre eux un rapport. Et ce d'autant plus que, pour le célèbre physicien, l'intrication quantique traduisait l'existence de problèmes fondamentaux au cœur de la théorie quantique. L'ironie est grande: ce phénomène pourrait aujourd'hui ouvrir une voie pour concilier la théorie de la relativité générale, développée par Einstein en 1915, et la physique quantique.

Des trous noirs aux trous de ver

Afin d'expliquer pourquoi l'intrication quantique et les trous de ver pourraient être apparentés, penchons-nous d'abord sur certaines propriétés des trous noirs. Ces objets de l'extrême sont décrits dans le cadre de la théorie de la relativité générale. Celle-ci montre comment la matière et l'énergie déforment l'espace-temps et que la force gravitationnelle est une manifestation de la courbure de ce dernier.

Dans la plupart des situations, la courbure de l'espace-temps est très faible. Mais elle devient extrême dans les trous noirs. On distingue alors deux régions: l'intérieur du trou noir, d'où même des objets se déplaçant à la vitesse de la lumière dans le vide (environ 300 000 kilomètres par seconde) ne peuvent s'échapper, et son extérieur, où l'espace-temps est courbé mais d'où les objets et l'information peuvent encore s'échapper. On nomme «horizon des événements» la frontière séparant ces deux régions. D'après la relativité générale, cet horizon n'est qu'une surface immatérielle: un astronaute qui le traverserait ne ressentirait

rien de particulier. Mais une fois qu'il l'aura franchi, le voyageur de l'espace ne pourra plus s'échapper. Il sera condamné à atteindre la région du trou noir où la courbure devient infinie selon la physique non quantique, nommée la singularité interne.

En 1916, soit un an seulement après l'introduction de la relativité générale par Einstein, le physicien allemand Karl Schwarzschild trouva la solution la plus simple des équations d'Einstein décrivant ce qu'on nommera plus tard un trou noir. Cependant, la géométrie de l'espace-temps correspondant à la solution de Schwarzschild – et à la plupart des autres solutions aux équations d'Einstein – était difficile à interpréter jusque dans ses plus subtiles conséquences. En effet, les physiciens maîtrisaient peu à l'époque les mathématiques associées à la géométrie différentielle et à l'invariance sous les changements de coordonnées, qui sont nécessaires pour décrire ce qui se passe au voisinage d'un trou noir.

En 1935, Einstein et son collègue Nathan Rosen, alors à l'Institut d'études avancées de Princeton, aux États-Unis, découvraient la possibilité qu'existent des trous de ver – on parle aussi de ponts d'Einstein-Rosen (ou ponts ER). Les deux physiciens n'en saisissaient pas toute la géométrie. Il fallut attendre les années 1960 pour que les chercheurs commencent à comprendre le sens de la solution de Schwarzschild et comment un trou de ver y relie en quelque sorte deux trous noirs. Vus de l'extérieur, les deux astres se présentent comme des entités distinctes situées dans des régions différentes de l'espace-temps, mais, d'après les équations, les trous noirs partagent le même intérieur.

Le trou de ver de la solution de Schwarzschild diffère *a priori* des trous noirs qui se forment dans le cosmos suite à l'effondrement d'étoiles massives en cela qu'il ne contient pas de matière, mais uniquement de l'espace-temps courbe. En outre, un trou noir né d'une étoile n'a qu'un seul extérieur, alors que ce trou de ver en a deux. La plupart des chercheurs considèrent la solution de Schwarzschild présentant deux extérieurs comme une curiosité mathématique sans pertinence pour le monde réel. Les physiciens théoriciens se sont néanmoins interrogés sur son interprétation physique.

En 1962, les physiciens américains John Wheeler et Robert Fuller ont montré que le trou de ver reliant les extérieurs des deux trous noirs est instable. Il s'allonge et s'affine à mesure que le temps passe, comme de la

L'ESSENTIEL

■ La physique quantique permet l'intrication d'objets éloignés, les mesures réalisées sur l'un affectant celles sur l'autre, même s'il n'y a pas de lien physique entre eux.

■ Les équations de la relativité générale, qui décrivent la géométrie de l'espace-temps, autorisent l'existence de trous de ver, des raccourcis entre des régions éloignées.

■ Les deux phénomènes pourraient être équivalents. Cette équivalence fournirait une piste pour élaborer une description quantique de l'espace-temps.