

l'expérience les contredit ou les confirme. La théorie précède l'expérience.

Si ce schéma existe, c'est pour une bonne raison : les expériences de physique des particules coûtent horriblement cher. Le LHC, ou Grand collisionneur de hadrons du CERN, près de Genève, a coûté des milliards d'euros et son exploitation occupe des milliers de physiciens du monde entier. C'est la machine la plus complexe jamais construite. Les scientifiques se demandent si la prochaine génération de collisionneurs de particules (avec des énergies, des dimensions et des coûts plus élevés) ne sera pas simplement trop coûteuse pour l'humanité.

Au Fermilab, l'équipe rassemblée par C. Hogan comprend une vingtaine de membres, dont des conseillers qui ne participent pas aux travaux au jour le jour sur le site. C. Hogan est à l'origine un physicien théoricien, peu habitué aux caprices des pompes à vide et des lasers à solides. C'est pourquoi il a nommé coresponsable Aaron Chou, un expérimentateur du Fermilab. En 2011, le projet a

reçu un financement de deux millions de dollars, à peine le prix d'un seul des aimants supraconducteurs du LHC !

Une version moderne de l'expérience de Michelson et Morley

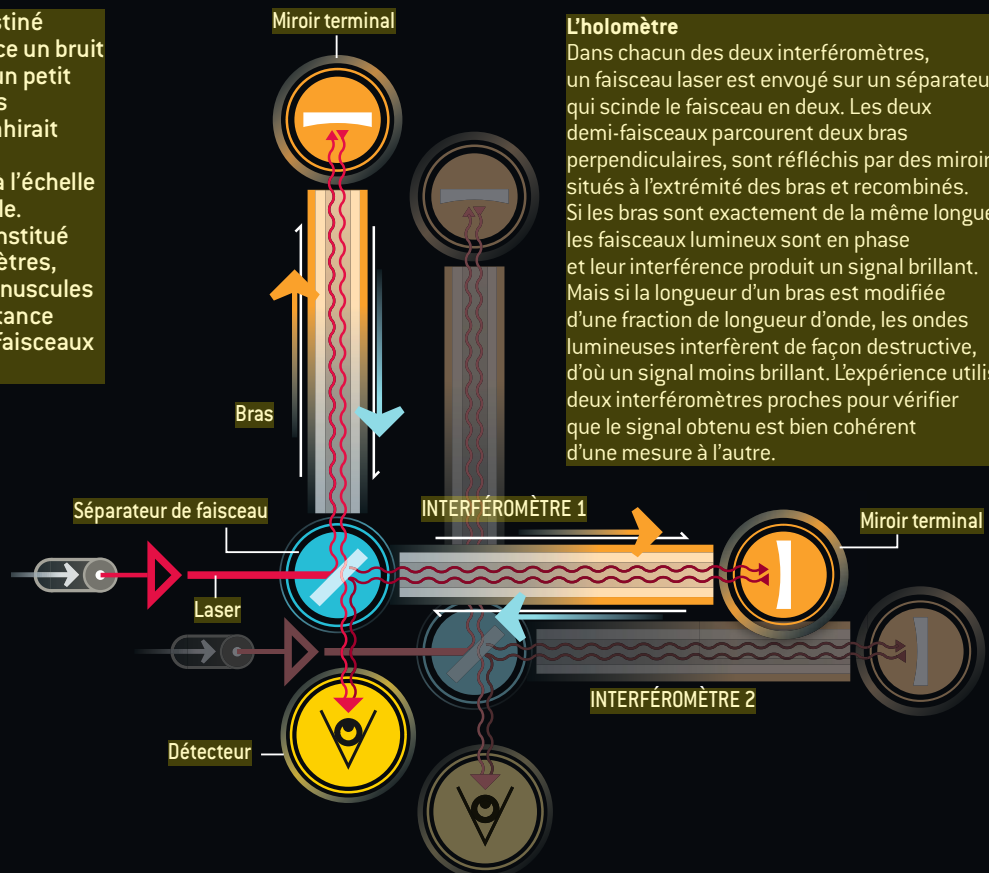
Si l'holomètre est si bon marché, c'est que, pour l'essentiel, il s'agit d'une version moderne de la célèbre expérience de Michelson et Morley, qui a détruit la vision qu'on avait de l'espace et du temps à la fin du XIX^e siècle. Les physiciens savaient alors que la lumière se comporte comme une onde. Or, depuis les vaguelettes à la surface d'une mare jusqu'au son qui se propage dans l'air, toutes les ondes semblaient partager certaines caractéristiques. En particulier, elles avaient toujours besoin d'un substrat physique pour assurer leur propagation. La lumière étant une onde, il devait exister un milieu de propagation, une substance invisible qui baignait l'Univers : les scientifiques l'appelaient l'éther.

En 1887, Albert Michelson et Edward Morley mettent au point une expérience destinée à mettre en évidence l'éther. La lumière d'une source se propage sur toute la longueur de deux bras perpendiculaires, est réfléchi par des miroirs placés à leurs extrémités, et se recombine au point de départ. Si le temps de parcours diffère d'un bras à l'autre, ne serait-ce que d'une fraction de microseconde, des interférences destructives se produisent et la lumière recombinaison est moins brillante. Michelson et Morley ont scruté les interférences lumineuses de leur dispositif durant plusieurs mois. Selon la direction du mouvement de la Terre autour du Soleil, le mouvement relatif par rapport à l'éther devait modifier le temps de trajet de la lumière dans l'un ou l'autre bras.

Mais l'expérience n'a rien mesuré de tel et imposa la conclusion que la lumière se propage à la même vitesse, quelle que soit la direction et quel que soit le mouvement de la source ou de l'observateur. Quelques années plus tard, Einstein s'empara de cette idée fondamentale pour

UN MICROSCOPE POUR ACCÉDER À LA LONGUEUR DE PLANCK

L'holomètre est destiné à mettre en évidence un bruit dit holographique, un petit tressaillement dans les positions qui trahirait la nature discrète de l'espace-temps à l'échelle la plus fondamentale. Le dispositif est constitué de deux interféromètres, qui détectent de minuscules variations de la distance parcourue par des faisceaux laser.



L'holomètre

Dans chacun des deux interféromètres, un faisceau laser est envoyé sur un séparateur, qui scinde le faisceau en deux. Les deux demi-faisceaux parcourent deux bras perpendiculaires, sont réfléchis par des miroirs situés à l'extrémité des bras et recombinaison. Si les bras sont exactement de la même longueur, les faisceaux lumineux sont en phase et leur interférence produit un signal brillant. Mais si la longueur d'un bras est modifiée d'une fraction de longueur d'onde, les ondes lumineuses interfèrent de façon destructive, d'où un signal moins brillant. L'expérience utilise deux interféromètres proches pour vérifier que le signal obtenu est bien cohérent d'une mesure à l'autre.

développer la théorie de la relativité restreinte, puis générale.

L'expérience de C. Hogan s'appuie elle aussi sur des interféromètres, plus élaborés, pour tenter de mettre en évidence une hypothétique toile de fond invisible de l'espace-temps, qui rappelle l'idée de l'éther. En utilisant deux interféromètres placés l'un à côté de l'autre, il compte sonder l'échelle de Planck, la plus petite échelle de l'Univers, celle où l'information existe sous forme de bits.

Sonder l'échelle de Planck

La longueur de Planck n'est pas simplement petite, c'est la plus petite. Une masse regroupée dans un volume plus petit correspondrait à moins d'un quantum d'énergie, ce qui est impossible.

L'échelle de Planck est plus que celle où la théorie de la relativité générale et la théorie quantique achoppent. Depuis quelques dizaines d'années, un débat sur la nature des trous noirs a fait émerger

une compréhension nouvelle de l'échelle de Planck. L'essence de l'Univers serait l'information, dont les bits constitutifs seraient encodés dans la trame de l'espace-temps à l'échelle de Planck.

Selon un principe fondamental de la physique, l'information ne disparaît jamais. Elle peut changer de forme, être brouillée, mélangée, mais elle subsiste à un niveau fondamental. Même lorsque ce magazine aura été réduit en pâte à l'usine de recyclage, l'information qui y est imprimée sera réorganisée sous une autre forme, mais pas effacée. En théorie, ce processus peut être inversé – les mots et les images peuvent être reconstitués à partir de la pâte à papier – même si, en pratique, cela semble impossible. Les physiciens traduisent cela par le fait que l'entropie, quantité qui mesure le nombre de configurations microscopiques compatibles avec l'état macroscopique d'un système, ne peut que croître avec le temps.

Tous les physiciens sont d'accord sur ce principe, sauf dans un cas particulier : qu'advient-il de l'information engloutie

par un trou noir ? En effet, rien, pas même la lumière, ne peut émerger d'un trou noir. Pire, Stephen Hawking a montré en 1975 que les trous noirs ne sont pas immuables : ils perdent de l'énergie en émettant un rayonnement thermique, « s'évaporant » ainsi lentement jusqu'à disparaître. L'information qu'ils renferment est alors perdue à jamais (le rayonnement de Hawking est dépourvu de structure et ne peut restituer l'information contenue dans le trou noir) ! En résumé, selon S. Hawking, l'information qui pénètre dans un trou noir y est irrémédiablement piégée.

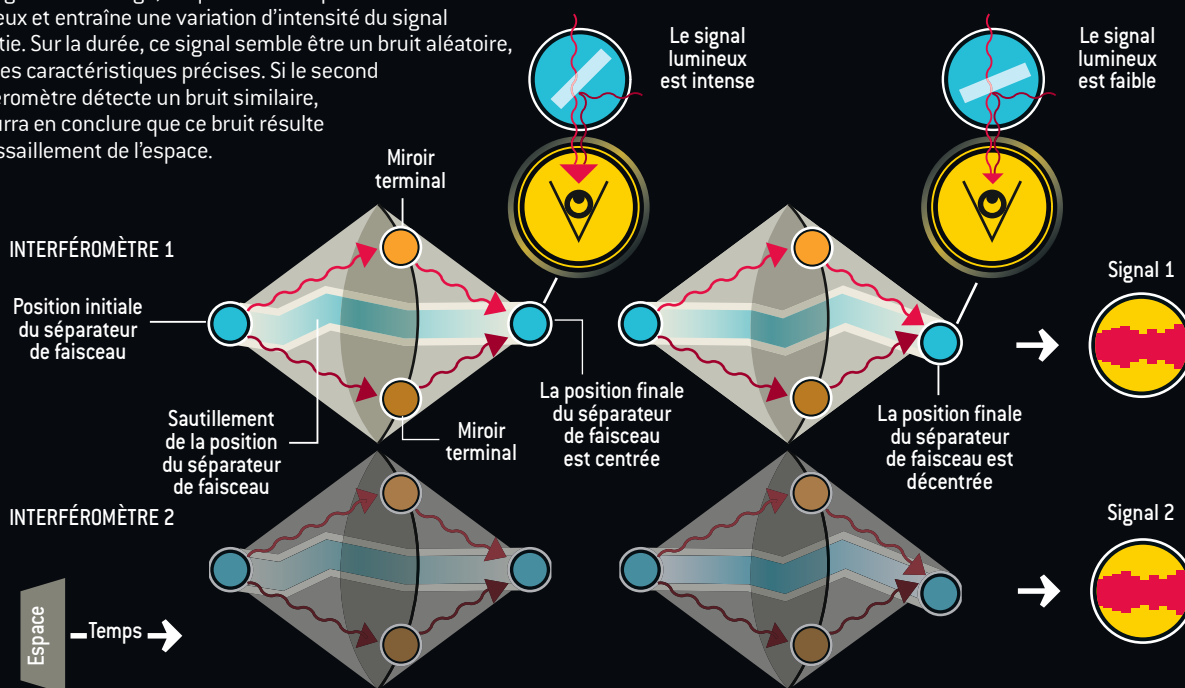
Pour Leonard Susskind, de l'Université Stanford, et Gerard 't Hooft, de l'Université d'Utrecht aux Pays-Bas, ce paradoxe de la disparition de l'information soulevé par S. Hawking était tout simplement inacceptable.

Dans les décennies suivantes, ce désaccord a conduit les physiciens à développer une théorie aujourd'hui nommée principe holographique. Selon ce principe, quand un objet tombe dans un trou noir, la matière est définitivement perdue, mais

Le tressaillement de l'espace

Si l'espace est discret à l'échelle de Planck, cela devrait se manifester à l'échelle macroscopique par un infime et rapide sautilllement de la position des objets à l'échelle macroscopique.

En particulier, le séparateur de faisceau devrait vibrer de façon aléatoire. Ainsi, durant le temps que met la lumière pour parcourir les bras et revenir, le séparateur de faisceau aura légèrement bougé, ce qui décale les phases des faisceaux lumineux et entraîne une variation d'intensité du signal de sortie. Sur la durée, ce signal semble être un bruit aléatoire, avec des caractéristiques précises. Si le second interféromètre détecte un bruit similaire, on pourra en conclure que ce bruit résulte du tressaillement de l'espace.



Leonardo Casalegno