

Depuis que l'auteur britannique Herbert George Wells a écrit son célèbre roman *La Machine à explorer le temps* en 1895, le voyage dans le temps est un thème de science-fiction très populaire. Mais est-il vraiment possible ? Peut-on construire une machine qui transporterait un être humain dans le passé ou le futur ?

Pendant des décennies, le voyage dans le temps était hors de portée de la science. Cependant, ces dernières années, le sujet est devenu une activité ludique des physiciens théoriciens : ils s'y livrent notamment par jeu, car il est amusant de réfléchir au voyage dans le temps. Mais ce travail

l'autre. Dans la vie quotidienne, on ne remarque pas ces distorsions du temps, car elles deviennent importantes seulement quand le mouvement se fait à une vitesse proche de celle de la lumière. Même à la vitesse des avions, la dilatation temporelle pendant un voyage classique se limite à quelques nanosecondes ! Néanmoins, les horloges atomiques sont assez précises pour enregistrer le décalage et confirmer que le temps s'étire vraiment sous l'effet du mouvement. Ainsi, le voyage dans le futur est une réalité avérée, même si pour l'instant, cela n'a jamais été très impressionnant (voir la figure 2)...

Si l'on arrivait à fabriquer une sorte de « porte des étoiles », on voyagerait dans le temps.

Les nouveaux accélérateurs de particules en seraient presque capables, à l'échelle subatomique.

reste tout de même sérieux : comprendre la relation entre la cause et l'effet est une composante clef des tentatives de construction d'une théorie unifiée de la physique. Si le voyage dans le temps, sans aucune limitation, était possible, même en principe, la nature d'une théorie unifiée serait remise en cause.

Avant les théories de la relativité d'Albert Einstein, on pensait souvent que le temps était absolu et universel, c'est-à-dire le même pour tous quelles que soient les circonstances. Dans sa théorie de la relativité restreinte, Einstein propose que l'intervalle mesuré entre deux événements dépende de la façon dont l'observateur évolue. Ainsi, deux observateurs dont les vitesses diffèrent ne ressentent pas les mêmes durées entre deux événements.

On décrit en général cet effet avec le paradoxe des jumeaux. Supposez que Sam et Sally soient jumeaux. Sally embarque dans une fusée et voyage à très grande vitesse jusqu'à une étoile proche, fait demi-tour et revient sur Terre, tandis que Sam reste à la maison. Pour Sally, le voyage a duré un an. Mais quand elle revient, son frère a neuf ans de plus qu'elle. Sally et Sam n'ont plus le même âge, bien qu'ils soient nés le même jour : en fait, Sally a fait un bond de neuf années dans le futur de la Terre.

Cet effet, nommé dilatation des durées, se produit quand deux observateurs se déplacent l'un par rapport à

Pour observer des failles temporelles, il faut sortir du domaine de l'expérience ordinaire. Les particules subatomiques peuvent être propulsées à des vitesses proches de celle de la lumière dans les grands accélérateurs. Certaines de ces particules, tels les muons, ont une horloge intégrée, car elles se désintègrent avec une demi-vie connue ; en accord avec la théorie d'Einstein, on observe que la désintégration des muons est ralentie dans les accélérateurs.

Tordre l'espace-temps

En outre, certains rayons cosmiques subissent des distorsions temporelles spectaculaires. Ces particules se déplacent à une vitesse si proche de celle de la lumière que, de leur point de vue, elles traversent la galaxie en quelques minutes, même si dans le référentiel terrestre, elles semblent mettre plusieurs dizaines de milliers d'années. S'il n'y avait pas de dilatation du temps, certaines de ces particules (celles qui sont instables) n'arriveraient jamais sur Terre, car elles se désintégreraient bien avant.

La vitesse est une façon de faire un bond en avant dans le temps. La gravité en est une autre. Dans sa théorie de la relativité générale, Einstein prédit que la gravité ralentit le temps. Les pendules avancent plus vite dans l'espace qu'au sol. Cet effet est à nouveau minuscule, mais il a été mesuré directement grâce à des horloges

L'ESSENTIEL

✓ Voyager vers le futur est conceptuellement assez simple. Si l'on s'approche de la vitesse de la lumière ou si l'on se trouve dans un fort champ gravitationnel, on ressent le temps plus lentement qu'autrui : autrement dit, on voyage dans son futur.

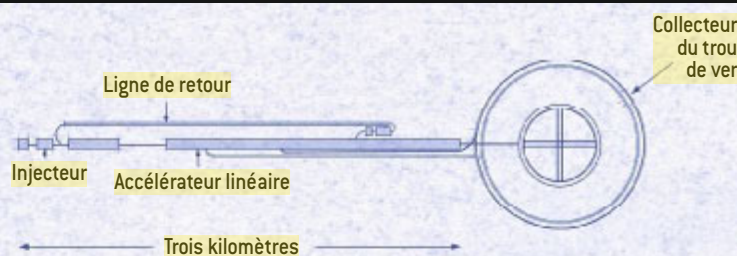
✓ Mais remonter dans le passé est plus difficile. La théorie de la relativité permet dans certaines configurations de l'espace-temps, tel le trou de ver, c'est-à-dire un tunnel à travers l'espace et le temps – une « porte des étoiles ».

✓ Voyager dans le passé soulève quelques paradoxes causaux ; il serait pourtant possible de prendre part au passé.

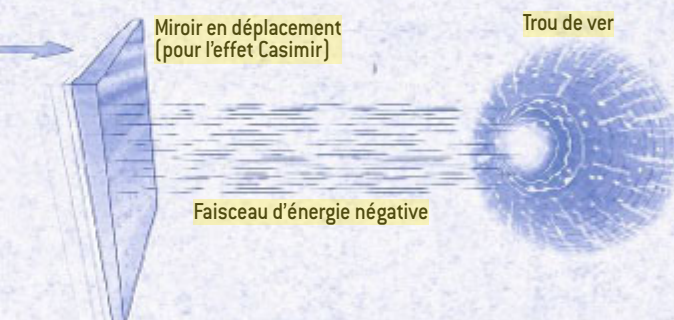
Peter Dinkler

VOYAGER AVEC LES TROUS DE VER EN TROIS ÉTAPES

1 TROUVER OÙ FABRIQUER UN TROU DE VER, c'est-à-dire un tunnel reliant deux endroits de l'espace. Il pourrait exister de gros trous de ver dans l'espace profond, qui seraient des reliques du Big Bang. Sinon, on pourrait se contenter de trous de ver de taille subatomique, soit naturels (dont on pense qu'ils apparaîtraient dans l'espace pour disparaître aussitôt), soit artificiels (produits par des accélérateurs de particules, voir le dessin ci-contre). Ces petits trous de ver devraient alors être agrandis pour devenir utilisables, peut-être avec des champs d'énergie semblables à ceux qui ont entraîné l'inflation de l'Univers après le Big Bang.



2 STABILISER LE TROU DE VER. L'énergie négative, produite par exemple par effet Casimir – dû aux fluctuations quantiques du vide –, permettrait à un signal ou à un objet de traverser en toute sécurité le trou de ver. L'énergie négative s'oppose à la tendance du trou de ver à rétrécir en un point de densité infinie ou quasi infinie. En d'autres termes, elle empêche que le trou de ver ne se transforme en un trou noir.



3 REMORQUER LE TROU DE VER. Un vaisseau spatial séparerait les entrées du trou de ver. Une des entrées serait située près de la surface d'une étoile à neutrons, une étoile extrêmement dense dotée d'un fort champ gravitationnel. Une telle gravité ralentit le temps. Puisque le temps s'écoule plus rapidement à l'autre entrée du trou de ver, les deux entrées seraient séparées non seulement dans l'espace, mais aussi dans le temps.



Philip Howe

ultraprecises (voir l'article de Christophe Salomon). D'ailleurs, on a pris en compte ce phénomène de distorsion du temps dans le système de géolocalisation GPS. Sans cela, les marins et les conducteurs de taxis par exemple se dirigeraient à des kilomètres de leur destination...

À la surface d'une étoile à neutrons – un astre composé surtout de neutrons et issu de l'effondrement gravitationnel du cœur d'une étoile massive –, la gravité est si forte que le temps est ralenti d'environ 30 pour cent par rapport au temps terrestre. Vus d'une telle étoile, les événements sur Terre ressembleraient à une vidéo légèrement accélérée. Le trou noir – un objet massif dont le champ gravitationnel est si intense qu'il empêche toute forme de matière ou de rayonnement de s'en échapper – représente le summum de la distorsion du temps ; proche de sa surface, le temps est presque figé par

rapport à celui de la Terre. L'intérieur du trou noir est au-delà de la fin des temps, pour l'univers extérieur au trou noir. Si un astronaute pouvait passer très vite près d'un trou noir et revenir sain et sauf (ce qui n'est guère plausible !), il ferait un grand saut dans le futur.

Retour dans le passé

Le voyage dans le futur semble donc possible. Qu'en est-il du retour en arrière ? Il est bien plus problématique. En 1948, Kurt Gödel, de l'Institut d'études avancées de Princeton, dans le New Jersey, a obtenu une solution aux équations du champ gravitationnel d'Einstein, qui décrivait un univers en rotation. Dans cet univers, un astronaute pourrait voyager dans l'espace pour atteindre son passé. Cela découle de la façon dont la gravité modifie la lumière. La rotation de l'univers

entraînerait la lumière (et par conséquent les relations causales entre objets), permettant à un objet de voyager en une boucle fermée dans l'espace qui soit aussi une boucle fermée dans le temps, sans dépasser la vitesse de la lumière dans le voisinage immédiat de la particule.

Bien qu'aucune observation ne montre que l'Univers dans son ensemble soit en rotation, la solution de Gödel prouve que le retour dans le passé n'est pas interdit par la théorie de la relativité. Et Einstein lui-même admit l'idée que sa théorie permettrait le voyage dans le passé dans certaines circonstances.

Puis on a trouvé d'autres scénarios permettant le voyage dans le passé. Par exemple, en 1974, Frank Tipler, de l'Université Tulane en Louisiane, a calculé qu'un cylindre massif infiniment long tournant sur son axe à une vitesse proche de celle de la lumière permettrait aux astronautes