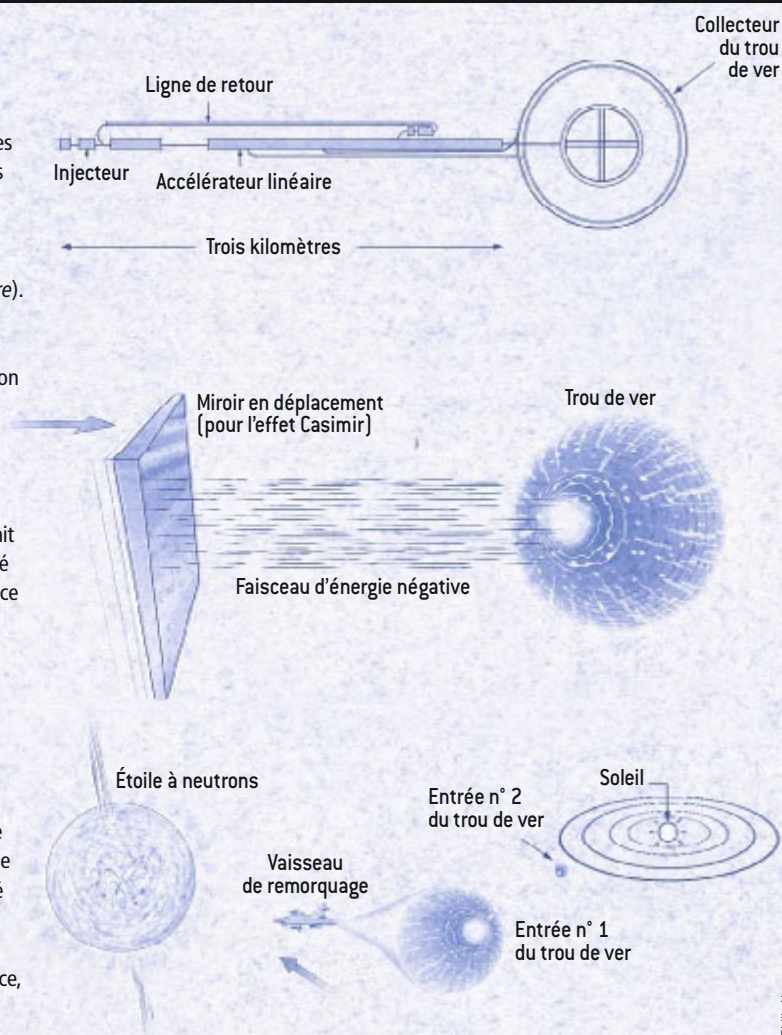


VOYAGER AVEC LES TROUS DE VER EN TROIS ÉTAPES

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 Hawe

ultraprécises (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

de visiter leur passé, là encore en entraînant la lumière autour du cylindre en une boucle. En 1991, Richard Gott, de l'Université de Princeton, a prédit que les cordes cosmiques – des structures dont les cosmologistes pensent que certaines auraient pu être créées aux premiers stades du Big Bang – produiraient des résultats similaires. Mais c'est au milieu des années 1980 que le scénario le plus réaliste de machine à remonter le temps a émergé : il est fondé sur le concept de trou de ver.

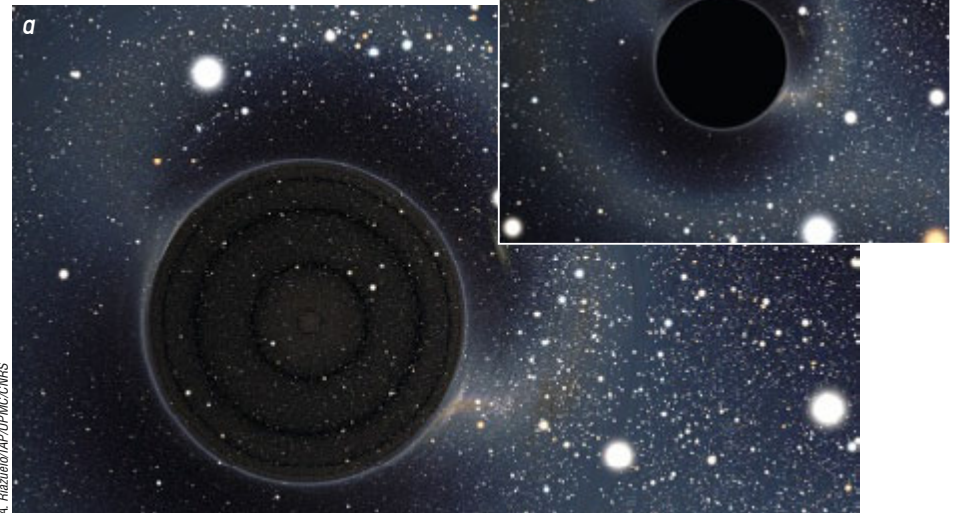
La « porte des étoiles »

En science-fiction, les trous de ver sont nommés « portes des étoiles » ; ils forment un raccourci entre deux points de l'espace-temps très éloignés. En sautant dans un hypothétique trou de ver, on ressortirait quelques instants plus tard à l'autre bout de la galaxie. Les trous de ver s'insèrent dans la théorie de la relativité générale, selon laquelle la gravité ne courbe pas seulement le temps, mais aussi l'espace. La théorie suggère que deux points de l'espace peuvent être reliés par des itinéraires alternatifs semblables à des routes et des tunnels. De même qu'un tunnel passant à travers une colline peut être plus court qu'une route construite à sa surface, un trou de ver peut être plus court que l'itinéraire classique dans l'espace ordinaire. Beaucoup plus court même.

En 1985, l'astronome américain Carl Sagan utilise le trou de ver comme dispositif de fiction dans son roman *Contact*. Inspirés par ce scénario, Kip Thorne et ses collègues, de l'Institut de technologie de Californie, ont entrepris de déterminer si les trous de vers étaient compatibles avec les lois de la physique. Leur point de départ était qu'un trou de ver ressemblerait à un trou noir en cela que ce serait un objet ayant une énorme gravité. Mais contrairement au trou noir, qui offre un aller simple vers nulle part, un trou de ver disposerait d'une entrée et d'une sortie.

Pour que le trou de ver soit traversable, il doit contenir ce que K. Thorne appelle de la matière exotique, laquelle s'oppose à la tendance naturelle qu'a un système massif d'imploser en un trou noir sous l'effet de son poids. L'antigravité, ou répulsion gravitationnelle, pourrait être produite par une hypothétique énergie ou pression négatives.

Or certains pensent que les états d'énergie négative existent dans certains systèmes



2. UN TROU DE VER (a) expulse la matière qu'il a pu engloutir, à cause de la présence de masse ou d'énergie négatives en son sein. Même un rayon lumineux capturé par un trou de ver en ressort. Pour cette raison, la silhouette d'un trou de ver – contrairement à celle d'un trou noir (b) – n'est pas totalement sombre. Elle révèle la région de l'Univers d'où sont issus les rayons lumineux qui l'ont traversée. Cette région apparaît cependant distordue du fait du champ gravitationnel extrêmement intense qui règne dans un tel objet.

quantiques, ce qui suggère que la matière exotique de K. Thorne n'est pas exclue par les lois de la physique. Toutefois, il n'est pas certain que l'on puisse rassembler suffisamment de matière antigravitationnelle pour stabiliser un trou de ver.

C'est alors que K. Thorne et ses collègues ont compris que si un trou de ver stable était créé, il pourrait être transformé facilement en machine à remonter le temps. Un astronaute qui en traverserait un ressortirait non seulement ailleurs dans l'Univers, mais aussi à un autre moment, dans le futur ou dans le passé.

Pour adapter le trou de ver au voyage dans le temps, une de ses entrées serait placée près de la surface d'une étoile à neutrons. La gravité de l'étoile ralentirait le

temps près de cette entrée, si bien qu'une différence de temps s'accumulerait progressivement entre les extrémités du trou de ver. Si celles-ci étaient installées dans des endroits adéquats de l'Univers, cette différence de temps serait fixée (voir l'encadré page ci-contre).

Supposez que la différence soit de dix ans. Un astronaute passant au travers du trou de ver dans une direction ferait un saut de dix années dans le futur, tandis qu'un astronaute passant dans l'autre sens sauterait dix ans en arrière. En retournant à son point de départ à grande vitesse dans l'espace ordinaire, le deuxième astronaute rentrerait à la maison avant même d'être parti. En d'autres termes, une boucle fermée dans l'espace deviendrait une boucle fermée du

VÉHICULE	CARACTÉRISTIQUES	DÉCALAGE TEMPOREL CUMULÉ
Avion de ligne	920 kilomètres par heure pendant huit heures	10 nanosecondes (par rapport au référentiel lié au sol)
Sous-marin nucléaire	300 mètres de profondeur pendant six mois	500 nanosecondes (par rapport au niveau de la mer)
Étoile à neutrons	Décalage vers le rouge	Les intervalles de temps augmentent de 30 pour cent (par rapport à la Terre)
Neutron de rayon cosmique	10^{18} électronvolts	Durée de vie moyenne rallongée de 15 minutes à 30 000 ans

3. IL EST AUJOURD'HUI POSSIBLE DE VOYAGER DANS LE FUTUR : en voici quelques exemples ! Dans la vie quotidienne, on ne remarque pas les distorsions du temps – qui se produisent quand deux observateurs se déplacent l'un par rapport à l'autre –, car elles deviennent importantes seulement quand le mouvement se fait à une vitesse proche de celle de la lumière.