



Paul DAVIES est physicien théoricien au Centre australien d'astrobiologie de l'Université Macquarie, à Sydney.

temps. La seule limitation est que l'astronave ne pourrait pas revenir à une époque antérieure à la construction du trou de ver.

Mais un problème empêche la construction d'une machine à voyager dans le temps : la création du trou de ver. De telles structures se fauillent peut-être déjà dans l'espace, en tant que reliques du Big Bang. En outre, les trous de ver pourraient naturellement apparaître à des échelles minuscules, de l'ordre de la longueur de Planck, c'est-à-dire 20 ordres de grandeur plus petits qu'un noyau atomique. En principe, un trou de ver si minuscule pourrait être stabilisé par une impulsion d'énergie, puis d'une façon ou d'une autre dilaté jusqu'à atteindre des dimensions utilisables.

Paradoxes temporels

Si tous les problèmes techniques étaient surmontés, la production d'une machine à voyager dans le temps ouvrirait la boîte de Pandore des paradoxes causaux. Par exemple, imaginez qu'un voyageur tem-

porel visite le passé et tue sa mère encore enfant. Cela a-t-il un sens ? Si la fille meurt, elle ne peut pas devenir la mère du voyageur. Et si le voyageur n'est jamais né, il n'a pas pu retourner dans le passé et assassiner sa mère...

Les paradoxes de ce type surgissent quand le voyageur essaie de modifier le passé, ce qui est impossible, car si le passé change, l'existence même du voyageur est compromise : il ne peut donc pas avoir fait ce voyage. À moins d'imaginer que quelqu'un prenne part au passé pour assurer que le passé se déroule comme il l'a réellement fait (voir l'encadré page ci-contre). Ainsi, la boucle causale reste cohérente et ne présente plus de paradoxe. La cohérence causale imposerait des limitations sur ce que le voyageur peut faire, mais elle n'interdit pas pour autant le voyage dans le temps.

Le retour dans le passé, s'il n'est pas paradoxal, n'en reste pas moins bizarre. Considérez le voyageur temporel qui saute d'un an en avant et lit un article sur un nouveau théorème mathématique. Il en

LE VOYAGE VERS LE FUTUR EST-IL VRAIMENT POSSIBLE ?

Sans cesse, nous voyageons vers le futur. C'est ce que nous nommons « l'écoulement du temps ». Mieux vaudrait dire que « nous nous écoupons dans le temps ». Le tragique de nos existences vient de l'absence de tout contrôle sur ce voyage temporel permanent vers le futur.

Mais les lois qui régissent ce voyage ne sont pas conformes à l'intuition, comme la théorie de la relativité l'exprime : la notion intuitive de durée séparant deux événements n'existe pas. Chaque « observateur » peut définir pour lui une durée propre, mais les durées propres des uns et des autres n'ont rien à voir, tout comme les durées de leur voyage vers le futur, qui ne se correspondent pas. Alors comment définir le « voyage vers le futur » ?

Soit il existe une notion que l'on peut qualifier de « temps » (c'est le cas en physique newtonienne), et le voyage temporel est impossible. Soit le temps n'existe pas (je veux dire par là un temps absolu) et l'on peut envisager des processus que l'on nommerait voyages vers le futur. C'est le cas en relativité générale qui autorise des « boucles de temps fermées ».

Imaginons une particule élémentaire qui décrit une telle boucle de temps fermée. Et considérons un événement A qui la concerne. Cet événement se situe à la fois dans son futur et son passé. À partir de cet événement A, le temps propre de la particule « s'écoule » vers ce qui représente pour elle son futur. Après une certaine durée de ce temps propre T (égale à

la « longueur » de la boucle fermée dans l'espace-temps), la particule « vit » l'événement A. On aurait envie de dire « revit ». Mais en fait, l'événement n'est vécu qu'une seule fois, et donc de façon unique. On peut dire qu'une durée T du temps propre de la particule s'est écoulée entre l'événement A et... l'événement A. Tandis que pour moi (par exemple), aucune durée de mon temps propre ne s'est écoulée entre cet événement et lui-même.

Une telle situation est *a priori* possible selon la relativité générale. Qu'elle puisse se réaliser dans la pratique reste une question débattue. Une telle situation n'engendre pas de paradoxe. L'événement A (comme chaque autre événement de la boucle de temps fermée) n'est vécu qu'une seule fois. Même si l'on a l'impression que la particule « vit » l'événement A plusieurs fois, elle se retrouve « à chaque passage » dans la même situation. En particulier, elle ne conserve aucune mémoire de son passé (ni de son futur), car une particule reste de toute façon identique à elle-même.

Ainsi, du point de vue d'une particule élémentaire, l'écoulement de son temps propre n'a guère de pertinence. Il est déjà acquis que le « temps » a disparu (voir l'article de M. Lachièze-Rey). Mais cela suggère que même la notion de « temps propre » est superflue et qu'une théorie plus complète pourrait s'en passer. En d'autres termes, une particule (isolée) ne dispose d'aucune horloge qui lui permet-

trait de suivre l'écoulement de son temps propre (si c'était le cas, elle constituerait avec cette horloge un système composite, ce qui correspond au cas ci-après).

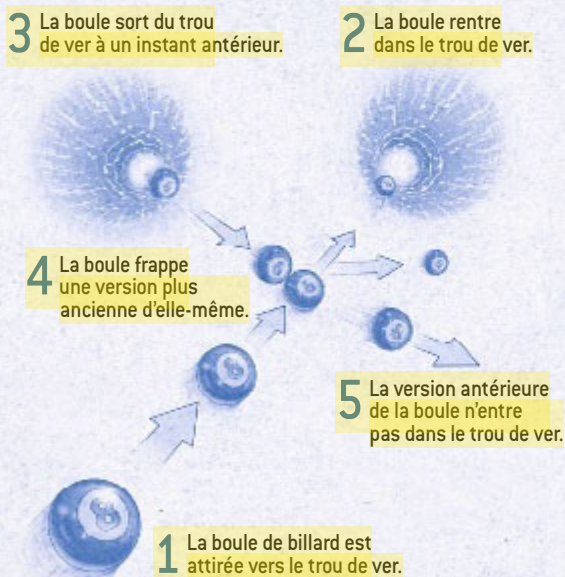
Mais peut-on imaginer qu'un système plus complexe, voire un observateur (un cosmonaute), suive une boucle de temps fermée et appartienne à son propre futur ou passé ? Les choses se compliquent. Pour que le cosmonaute décrive une boucle de temps fermée, chacune des milliards de milliards de particules qui le compose devrait suivre cette boucle, et elles devraient conserver la cohésion qui fait qu'elles forment un cosmonaute. Or nous avons toutes raisons de penser que cela est impossible. Déjà, au voisinage d'un trou noir de dimensions convenables (par exemple fabriqué par l'homme), situation pourtant bien moins « extrême », un cosmonaute serait dissocié par des forces de marée.

Ainsi, un système complexe, tel un cosmonaute, ne peut pas décrire une boucle de temps fermée. Or tous les paradoxes évoqués à propos des voyages dans le temps reposent sur le fait qu'un cosmonaute a une mémoire (voire une intentionnalité). Vraisemblablement, cette mémoire ne serait pas préservée dans un voyage temporel (tant pis pour les auteurs de science-fiction).

Marc Lachièze-Rey,
Astroparticule et cosmologie (UMR 7164),
Université Paris 7-Denis Diderot

MODIFIER LE PASSÉ EST SOURCE DE PARADOXES TEMPORELS

LE « PARADOXE ULTIME » apparaît quand des personnes ou des objets peuvent remonter le temps et modifier le passé. Une version simplifiée met en jeu des boules de billard. Une boule de billard passe dans un trou de ver faisant office de machine à remonter le temps. En émergeant, elle frappe la version antérieure d'elle-même, ce qui l'empêche de rentrer dans le trou de ver.



LA RÉOLUTION DE CE PARADOXE repose sur un fait simple : la boule de billard doit respecter la logique et les lois de la physique. Elle ne peut pas traverser le trou de ver d'une façon qui l'empêchera de le traverser (à nouveau). Mais elle peut le faire d'une infinité d'autres façons.



Philip Howe

note les détails, revient à son année de départ et enseigne le théorème à un étudiant, qui le rédige alors. L'article est, évidemment, celui-là même que le voyageur a lu. Une question se pose alors : d'où est venue l'idée du théorème ? Pas du voyageur temporel, puisqu'il a lu le théorème, mais pas non plus de l'étudiant, qui l'a appris du voyageur temporel. L'idée aurait surgi de nulle part, sans raison.

Protéger la chronologie

Ces conséquences insolites du voyage dans le temps ont conduit certains scientifiques à en rejeter la notion. Stephen Hawking, de l'Université de Cambridge, a proposé une « conjecture de protection de la chronologie », qui interdirait les boucles causales... et les voyages dans le temps. Comme la théorie de la relativité autorise les boucles causales, la protection de la chronologie nécessiterait l'intervention d'un autre facteur pour empêcher le retour dans le passé. Quel serait ce facteur ?

Les processus quantiques pourraient offrir une solution. L'existence d'une machine à voyager dans le temps permettrait aux particules de revenir par boucle

dans leur passé. Les calculs suggèrent que les perturbations qui suivraient s'auto-renforceraient, créant une vague d'énergie incontrôlable détruisant le trou de ver.

La protection de la chronologie n'est pour le moment qu'une conjecture, et le voyage dans le temps reste une possibilité. Pour résoudre la question, il faudrait réussir à unifier la mécanique quantique et la gravitation, peut-être avec une théorie telle celle des cordes ou ses extensions. Il est même envisageable d'obtenir une preuve expérimentale des voyages temporels dans les années à venir ; le nouvel accélérateur de particules de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN), le LHC (*Large Hadron Collider*), serait capable de créer des trous de ver microscopiques, si certaines nouvelles théories sur la gravitation sont avérées. Même si ces trous de vers disparaissaient aussi vite qu'ils sont apparus, ils survivraient suffisamment longtemps pour que les particules exécutent d'éphémères boucles causales. On serait encore loin de la machine à voyager dans le temps de H. G. Wells, mais cela modifierait à jamais notre représentation de la réalité physique. ■

✓ BIBLIOGRAPHIE

P. Davies, *Comment construire une machine à explorer le temps ?*, EDP Sciences, 2007.

J. R. Gott III, *Time travel in Einstein's universe : the physical possibilities of travel through time*, Houghton Mifflin, 2001.

K. S. Thorne, *Trous noirs et distorsions du temps : L'héritage sulfureux d'Einstein*, Flammarion, 2001.

L. Ford et T. Roman, *L'énergie négative*, *Pour la Science* n° 271, mai 2000.

P. J. Nahin, *Time machines : time travel in physics, metaphysics, and science fiction*, American Institute of Physics, 1993.