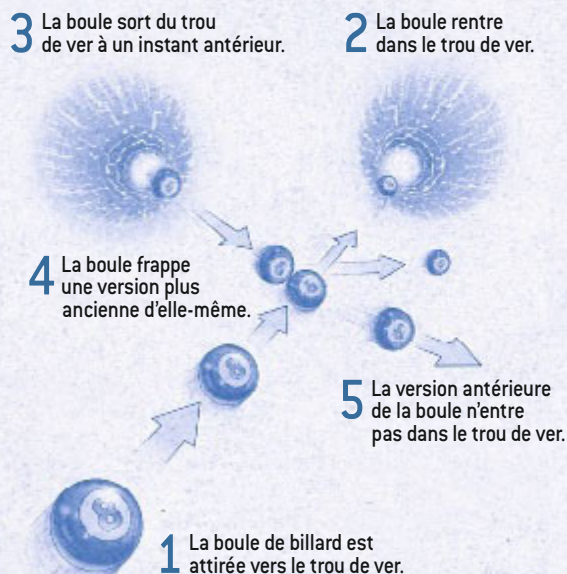


MODIFIER LE PASSÉ EST SOURCE DE PARADOXES TEMPORELS

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 Hawe

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 ver 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.

L'Univers aux limites de

Alain Riazuelo

ESO/ Mario Nollino, Piero Rosati and the ESO GOODS Team

L'ESSENTIEL

✓ L'expansion cosmique dilue le contenu de l'Univers. Mais que va-t-il advenir à long terme des objets qui le peuplent ?

✓ Les étoiles et les planètes s'effaceront d'abord, avant que les galaxies ne se dispersent. Plus tard, les trous noirs eux-mêmes s'évaporeront.

✓ À très long terme, la matière pourrait se désintégrer entièrement.

✓ Autre possibilité : sur des échelles de temps incommensurables, seuls de petits agrégats de fer stables subsisteraient.

A première vue, l'histoire de l'Univers est bien connue. Les observations actuelles nous révèlent que l'Univers est en expansion, et qu'il était plus dense et plus chaud par le passé. Il est issu d'une phase extraordinairement dense et chaude, il y a environ 13,7 milliards d'années : le Big Bang. Les différentes observations astronomiques permettent de détailler la plupart des étapes de ce scénario avec une remarquable précision.

Moins d'une seconde après le Big Bang, l'antimatière avait disparu. Dans les trois minutes suivantes furent synthétisés les premiers noyaux atomiques qui, 380 000 ans plus tard, capturèrent les électrons pour former les premiers atomes. Quelques dizaines de millions d'années plus tard, les premières étoiles s'allumèrent. Puis ce fut le tour de notre Galaxie, qui s'est formée il y a environ dix milliards d'années, suivie par le Soleil il y a 4,5 milliards d'années. La vie unicellulaire apparut 700 millions d'années plus tard, puis la vie évoluée, les dinosaures, les mammifères, et enfin l'homme.

Fin de l'histoire ? Pas vraiment. Car l'Univers a encore de beaux jours – ou plutôt une longue nuit – devant lui. L'une des grandes questions de la cosmologie est celle du devenir de l'expansion de l'Univers. Selon les propriétés de son contenu matériel, les modèles indiquent que l'expansion cosmique se poursuivra indéfiniment ou au contraire s'arrêtera et cédera la place à une phase de contraction aboutissant à un « Big Crunch », sorte de Big Bang à l'envers.

Les observations actuelles indiquent que l'Univers est majoritairement rempli d'une forme mystérieuse de matière, l'énergie sombre, qui provoque une accélération de l'expansion cosmique. Ainsi, tout porte à croire que l'expansion se poursuivra indéfiniment, si tant est que les propriétés de l'énergie sombre ne changent pas dans le futur. C'est dans ce cadre que nous allons passer en revue ce que pourraient être les événements marquants de l'histoire de l'Univers à très long terme.

Quelques dizaines ou centaines de millions d'années après le Big Bang, les premières étoiles ont illuminé le cosmos.