

L'univers a une histoire

Mais a-t-il un début ?

●●● **Etienne Klein**, Paris

Physicien, directeur de recherches
au Commissariat à l'énergie atomique

Y a-t-il toujours eu du temps et y en aura-t-il toujours ? Ou bien y a-t-il eu un instant zéro, par nous concevable ? Autrement dit, les scientifiques sont-ils en mesure de décrire un tel instant zéro, de le penser, d'expliquer sa provenance ? Certes oui, du moins jusqu'à un certain point...

Sur nos courbes, graphiques ou diagrammes, la ligne du temps est toujours représentée par une droite dont la direction est marquée par une petite flèche. Par définition, une droite est infinie, mais celle du temps l'est-elle ? Autrement dit, la ligne du temps est-elle infinie dans le passé aussi bien que dans le futur ? Ne serait-elle pas plutôt une demi-droite, avec une origine ou un premier point, un premier instant ?

On sait aujourd'hui que l'univers n'est pas statique, qu'il peut même se lire comme un grand récit. Et cette vérité est l'aboutissement d'une aventure extraordinaire dans le champ des idées, qui a duré des siècles mais qui a brusquement gagné une signification neuve, et surtout une portée inédite, au début des années 30.

L'univers, une idée

L'univers a donc une histoire, mais avant de parler d'une possible origine, il faut s'entendre sur ce qu'on nomme « l'univers », et pour cela garder trois choses à l'esprit.

Premièrement, le sens du mot n'a cessé d'évoluer au cours des âges, au gré des représentations qu'on pouvait s'en

faire ou des extrapolations de l'imagination. Aujourd'hui, l'univers n'est plus assis sur un empilement de tortues ou de baleines, comme l'affirment certaines cosmogonies. Il ne se réduit pas au système solaire, il n'est pas non plus le « cosmos » des Anciens, ni une vague enveloppe contenant tout ce qui est. L'idée d'« univers », au sens scientifique, est une invention tout à fait tardive, que l'on doit à Galilée : constitué par une seule « matière », l'univers est régi par des lois « universelles », exprimées en langage mathématique, qui sont les mêmes partout et à tout instant.

Deuxièmement, le pari qui consiste à considérer l'univers *en tant que tel* comme un possible objet de science, caractérisé par des paramètres qui lui appartiennent en propre et sont mesurables, est encore plus récent : il date tout juste d'un siècle. L'idée scientifique de l'univers, formulée par Galilée et reprise par Newton, qui élaborait la première théorie « universelle » (celle de la gravitation), n'avait pas suffi à en faire

1 • Du titre de l'ouvrage de vulgarisation que vient de publier **Etienne Klein**, *Y a-t-il eu un instant zéro ?*, Paris, Gallimard 2015, 80 p.

un objet de science (presque) comme les autres (car il ne va pas de soi que le contenant de tous les objets physiques en soit lui-même un). Pour effectuer ce dernier saut, il a fallu une nouvelle théorie, proprement révolutionnaire - la relativité générale d'Einstein, en 1915 -, capable d'agripper l'univers dans sa globalité et pas seulement par le biais des objets physiques dont il est le vaste réceptacle.

Troisièmement, dire que les objets du monde ont une histoire, que le monde en a une ou qu'il y a des histoires *dans* le monde, ce n'est pas dire que l'objet univers en a lui-même une. L'idée que des histoires ont pu se dérouler au sein du cosmos est sans doute aussi ancienne que les toutes premières « histoires du monde ». Que serait d'ailleurs une histoire du monde qui ne raconterait pas d'histoires dans le monde ? Mais celles-ci ne concernent jamais que ce qui se passe dans l'univers, et non pas l'univers en tant que tel. De fait, ce n'est qu'au cours des années 30 que des physiciens ont pu établir que l'univers était en expansion et qu'il avait donc, lui aussi, une histoire propre...

Une chose describable

C'est sous la double poussée de la science et de la technique que s'est faite cette captation de l'univers en tant que tel et que son expansion a pu être mise en évidence. Jacques Merleau-Ponty l'a résumée de façon lumineuse : à quelques années d'intervalle, « un physicien de génie et un télescope gigantesque, manié par un astronome à sa mesure, apportèrent à la philosophie de la Nature, l'un une idée, l'autre une vision de l'univers dont on ne sait laquelle était plus surprenante et plus exaltante. »

Le « physicien de génie », c'est bien sûr Einstein, qui formula en 1915 une nouvelle théorie de la gravitation, la théorie de la relativité générale. Newton concevait la gravitation comme une force instantanée et attractive s'exerçant à distance entre deux objets massifs. Einstein comprend les choses tout à fait autrement. Selon lui, la gravitation n'est pas une force qui s'exerce au travers de l'espace, mais l'effet de la déformation que la matière imprime à l'espace-temps. Loin d'être statique et rigide, ce dernier apparaît au contraire souple et dynamique : il peut par exemple se courber, se dilater ou se contracter.

Pour mieux comprendre la théorie d'Einstein, imaginons un drap tendu au centre duquel on place une boule de pétanque. Si on secoue doucement ce drap, des creux et des bosses apparaissent à sa surface, et ces déformations obligent la boule à se déplacer. Trajectoire qu'elle va suivre à une vitesse rapide dans les pentes, plus lente dans les montées. C'est donc la forme que prend la surface du drap, sa « géométrie », qui dicte à la boule son parcours. Mais la boule n'est pas un objet purement passif, puisque son poids et son mouvement modifient, eux aussi, la forme du drap. Sa seule présence perturberait, par exemple, la trajectoire d'une balle de ping-pong lancée en ligne droite, au même titre que lorsqu'un secouant le drap.

Que se passerait-il si le drap était invisible et immobile ? On pourrait penser qu'une force mystérieuse s'exercerait instantanément, qui attirerait à distance la balle de ping-pong vers le centre de la boule de pétanque. On reconnaît là l'interprétation de Newton. Einstein, lui, attribue la courbe décrite par la balle de ping-pong à la seule déformation du

drap invisible, dont tout changement de géométrie, induit par les mouvements d'autres corps présents sur le drap, se manifesterait avec un certain retard. En clair, selon la théorie d'Einstein, la gravitation agissant sur un corps n'est qu'un effet de la déformation de la géométrie à l'endroit où se trouve ce corps : la courbure de l'espace-temps le fait bouger et lui, en retour, déforme la géométrie de l'espace-temps.

En fournissant les outils conceptuels permettant de décrire les propriétés globales de l'univers (et pas seulement celles de ses constituants, telles les étoiles ou les galaxies), la théorie de la relativité générale en a fait un authentique objet physique, précisément défini par sa structure spatio-temporelle et sa composition en matière, en rayonnements et en toute autre forme d'énergie. L'univers n'est plus seulement une idée : il devient une chose prosaïquement descriptible, un être dépoétisé qu'on peut mettre en équations.

Quant à l'astronome doté d'un instrument gigantesque, cité par Jacques Merleau-Ponty, c'est Edwin Hubble, qui découvrit en 1929, grâce à un télescope placé sur le mont Wilson, la loi qui porte son nom : les galaxies semblent s'éloigner les unes des autres à une vitesse d'autant plus élevée que leur distance est grande. En réalité, ce ne sont pas les galaxies qui se déplacent dans l'espace en se fuyant les unes les autres, mais l'espace lui-même qui s'étend, emportant avec lui les galaxies. L'univers n'est donc pas statique, mais globalement en expansion.

Une science bien assise...

Sachant cela, imaginons que nous puissions dérouler à l'envers le film cosmique. On verrait alors que, dans son passé lointain, l'univers était bien plus petit et bien plus dense qu'aujourd'hui. Etant plus comprimé, il était aussi plus chaud. Et si, grâce aux équations d'Einstein, on extrapole cette situation aussi loin que possible dans le passé, on aboutit à un univers de taille nulle, à un point d'origine, à un « big bang » caractérisé par une température et une densité infinies.

Einstein et Hubble ont donc été les deux pionniers d'une nouvelle science, la cosmologie scientifique.

Les conséquences proprement physiques de l'expansion de l'univers découverte par Hubble, à savoir que le contenu de l'univers devait évoluer lui aussi, ne furent pas admises immédiatement. Ce n'est qu'en 1964, grâce à la découverte d'un rayonnement très particulier, le « fonds diffus cosmologique », que la communauté scientifique y vit enfin la preuve que l'univers était bel et bien en expansion et que sa température avait nécessairement baissé au cours du temps. L'existence même de ce rayonnement fossile indiquait que l'univers avait nécessairement connu une phase beaucoup plus dense et beaucoup plus chaude. Qu'est-ce à dire ?

Pendant les 380 000 ans qui ont suivi le big bang, la lumière était partout présente dans l'univers, mais elle ne pouvait pas circuler librement dans l'espace. Les petits grains de lumière qui la constituaient, qu'on appelle des photons, ne pouvaient faire le moindre pas sans entrer aussitôt en collision avec d'autres particules, par exemple des électrons ou des protons. La matière

entravait ainsi la propagation de la lumière. Mais à mesure que l'univers gagnait en taille, sa température, elle, diminuait. Quand sa valeur ne fut plus que de 3000 kelvins, les électrons purent s'associer aux noyaux pour former des atomes. Comme les photons interagissent peu avec les atomes, ils se propagèrent enfin librement dans l'univers. C'est la lumière qu'ils forment aujourd'hui, cette lumière qui s'est soudainement libérée de la matière après 380 000 ans d'emprisonnement, qui constitue le fonds diffus cosmologique. Celui-ci est, en quelque sorte, la trace laissée dans l'univers actuel par la phase très chaude qu'il a connue dans son passé lointain, quand il était encore tout jeune.

Aujourd'hui, la cosmologie est une science bien assise. Grâce à ses instruments qui n'ont cessé de se perfectionner, les physiciens connaissent de mieux en mieux les propriétés de l'univers. Ils ont pu notamment obtenir des informations précises sur sa forme, sa structure à grande échelle et son évolution.

... avec ses limites

Puisque nous savons désormais avec certitude que l'univers n'est pas une entité stationnaire, qu'il a eu et qu'il continue à avoir une histoire, nous avons tendance à croire que cette histoire a nécessairement eu un commencement. Mais avons-nous raison ?

En toute rigueur, le big bang désigne l'époque très dense et très chaude que l'univers a connue il y a 13,7 milliards d'années. Mais on l'utilise en général dans un sens tout à fait différent : celui de l'explosion originelle qui aurait créé tout ce qui existe, autrement dit l'instant zéro marquant le surgissement

simultané de l'espace, du temps, de la matière et de l'énergie. Dans le langage courant, il en est donc venu à désigner la création même du monde, un équivalent physique du *fiat lux* religieux.

A priori, il ne s'agit pas d'un contre-sens : si l'on regarde ce que fut l'univers dans un passé de plus en plus lointain, on observe que les galaxies se rapprochent les unes des autres, que la taille de l'univers ne cesse de diminuer et qu'il finit en effet par se réduire - si l'on en croit les équations de la relativité générale - à un univers ponctuel, c'est-à-dire de volume nul.

Autrement dit, si on déroule le temps à l'envers, les calculs font bien surgir un instant zéro qui serait apparu il y a 13,7 milliards d'années, et qui se trouve directement associé à ce que les physiciens appellent une « singularité initiale » : une situation dans laquelle la température et la densité deviennent infinies. Or qu'est-ce qui empêche d'assimiler cette singularité initiale à l'origine effective de l'univers ? A vue de nez, rien, mais quand on y regarde de plus près...

Si notre façon de parler du big bang n'a guère changé depuis 1950, date à laquelle il reçut son nom et commença d'être popularisé, beaucoup de choses se sont passées depuis dans le champ de l'astrophysique et de la cosmologie, au point qu'il faudrait modifier notre façon de le concevoir, donc notre façon de le dire.

Dans les années 50, la description de l'univers s'appuyait exclusivement sur les équations de la relativité générale. Or, quand on remonte le cours du temps, la taille de l'univers se réduisant progressivement, la matière finit par rencontrer des conditions physiques très spéciales que la relativité générale est incapable de décrire seule, car d'autres interactions que la gravitation

entrent en jeu : il s'agit des forces électromagnétiques et nucléaires, qui déterminent le comportement des particules de matière, notamment quand la température et la densité deviennent très grandes.

La relativité générale ne prenant en compte aucune de ces trois forces, les physiciens ont compris qu'elle ne peut décrire à elle seule les premiers instants de l'univers. Ses équations perdent toute validité quand les particules présentes dans l'univers, dotées d'énergies gigantesques, subissent d'autres interactions que la gravitation.

Pour affronter les conditions de l'univers primordial et pouvoir en parler, il faudrait que les physiciens puissent franchir le « mur de Planck » : ce moment particulier de l'histoire de l'univers, une phase par laquelle il est passé il y a 13,7 milliards d'années et dont la physique actuelle est impuissante à décrire ce qui s'est passé en son amont. Le mur de Planck représente ce qui nous barre l'accès à l'origine de l'univers, si origine il a eu. Il est la limite de validité ou d'action des concepts de notre physique.

Une question ouverte

Alors comment mieux décrire, et surtout plus complètement, l'univers primordial, cette phase ultrachaud et ultradense ? Les théoriciens osent toutes les hypothèses : l'espace-temps posséderait plus de quatre dimensions (en fait six dimensions d'espace supplémentaires) ; ou bien, à toute petite échelle, il serait discontinu plutôt que lisse, c'est-à-dire constitué de petits grains ; ou encore, il serait théoriquement dérivable ou déductible de quelque chose de plus fondamental, qui ne serait pas un espace-temps...

Le point important est que toutes ces théories ont la propriété de faire passer un sale quart d'heure à l'instant zéro ; quand on les applique aux phases les plus reculées de l'histoire de l'univers, on constate que les calculs ne font plus apparaître de « singularité initiale » ! Donc plus d'instant zéro ! Tout se passe comme si elles aboutissaient sinon à l'abolition de l'origine de l'univers, du moins à sa mise à l'écart.

Aucune en tout cas ne donne corps à l'idée d'une création *ex nihilo*, ce qui oblige à revoir notre façon de penser le big bang. Par exemple, certains modèles théoriques l'interprètent non plus comme une singularité, mais comme une phase extrêmement dense qui aurait servi de « pont » entre notre univers en expansion et un autre qui l'aurait précédé (le même, mais en contraction). On comprend que, dans un tel cadre, le big bang ne puisse plus être confondu avec l'origine de l'univers.

Cette question est donc ouverte : personne n'est en mesure de démontrer scientifiquement que l'univers a eu une origine proprement dite, et personne n'est capable non plus de démontrer scientifiquement qu'il n'en a pas eu... Donc, de deux choses l'une. Soit l'univers a eu une origine, que la science n'a pour le moment pas saisie : dans ce cas, il aurait résulté d'une extraction hors du néant, extraction sans doute indicible (car pour expliquer comment le néant a pu cesser de l'être, il faut lui attribuer des propriétés qui, par leur seule existence, l'écarte et le distingue de lui-même). Soit l'univers n'a pas eu d'origine : dans ce cas, il y aurait toujours eu « quelque chose » et jamais de néant ; dès lors, la question de l'origine de l'univers ne serait qu'un vieux problème mal posé.

E. KI.