

La cosmologie Trois hypothèses pour un Big Bang



Par Aurélien Barrau

La cosmologie, science de l'Univers, discipline rebelle

Trois hypothèses pour un Big Bang

A l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire, à Genève, les chercheurs traquent la fameuse « particule-Dieu », comme l'appelle le Prix Nobel Leon Lederman. Le boson de Higgs, du nom du physicien Peter Higgs, pourrait permettre d'expliquer les propriétés du cosmos. La quête de l'infiniment petit transformerait alors la physique pour nous éclairer sur la naissance de l'Univers...

Par Aurélien Barrau, février 2012

Science de l'Univers dans son ensemble, tentant de le décrire depuis son instant initial jusqu'à son éventuel instant final, la cosmologie est une discipline singulière. L'expérience « création de l'Univers » n'est évidemment pas reproductible, ce qui rend impraticable la démarche usuelle d'inférence et de vérification par l'observation réitérée de processus similaires. De plus, l'observateur fait partie du système qu'il entend décrire, ce qui est incompatible avec la distance nécessaire pour une observation neutre et objective. Enfin, les « conditions initiales », c'est-à-dire l'état du système à partir duquel l'évolution est calculée, sont très mystérieuses puisqu'il n'existe, par définition, ni antériorité ni extériorité au « système-univers ». Sans compter que les énergies en jeu dans les premiers instants de l'histoire du cosmos sont sans rapport avec ce qui a été testé sur Terre et que, à l'inverse de la démarche habituelle, c'est l'état « final » de l'objet d'étude qui est connu — et son état initial qui est recherché. Pourtant, en dépit de ces difficultés (et en partie grâce à elles), la cosmologie est devenue une science, et même une science de précision. Le modèle standard du Big Bang, c'est-à-dire un univers en expansion depuis près de quatorze milliards d'années, est aujourd'hui convaincant, car étayé par de solides éléments.

Sur le plan observationnel, l'idée d'un univers en expansion s'est imposée au milieu du XXe siècle pour plusieurs excellentes raisons. Les galaxies s'éloignent les unes des autres, l'abondance des éléments chimiques dans l'Univers est en accord avec les prédictions de la physique nucléaire dans un scénario de type Big Bang, et le contenu du cosmos évolue manifestement avec le temps, ce qui serait difficilement explicable si celui-ci était statique et éternel. Enfin, le rayonnement fossile, véritable première lumière de l'Univers, se comporte exactement comme attendu. Ce fond diffus de photons, rayonnement en provenance de toutes les directions du ciel, découvert en 1965 et actuellement scruté avec une précision inégalée par le satellite européen Planck (1), témoigne de la période d'intense chaleur qu'a connue l'Univers après le Big Bang, et confirme ainsi le cœur du modèle. De plus, il conserve de fines empreintes de la physique de l'Univers très primordial : les tout premiers instants, lentement, livrent leurs secrets.

En parallèle à ces fondements expérimentaux, le modèle du Big Bang s'est déployé par l'édification d'un remarquable cadre théorique : la relativité générale, qui explique la nature profonde de l'espace et du temps. Elle montre — et c'est une immense révolution — que l'espace-temps n'est plus le lieu dans lequel les phénomènes se déroulent, mais qu'il est lui-même un phénomène. Autrement dit, l'espace-temps devient dynamique : l'expansion de l'Univers n'est pas un déplacement de matière dans l'espace mais une dilatation de l'espace lui-même. C'est d'ailleurs aussi dans ce cadre que les trous noirs peuvent être réellement appréhendés. Quand une étoile très massive explose en supernova, il se crée dans l'espace une zone d'une densité telle que rien ne peut s'en échapper. Le trou noir présente une structure si complexe qu'en lui l'espace se change en temps, et le temps en espace (2). C'est, en quelque sorte, l'espace qui s'écoule sur la singularité centrale marquant la... fin

du temps ! Poussant la relativité à son paroxysme, les trous noirs conduisent à des phénomènes étranges : la vitesse d'un corps tombant sur l'horizon d'un trou noir serait par exemple mesurée comme la plus grande possible (celle de la lumière) par l'observateur voisin, mais comme la plus petite possible (zéro, donc) par un observateur éloigné.

Pourtant, le modèle est imparfait et se heurte à trois questions majeures.

Tout d'abord, l'essentiel de la masse de l'Univers est de nature inconnue. Pis encore, on peut montrer que cette « matière noire » n'est pas constituée des particules identifiées en physique des hautes énergies. L'énigme est donc double : cosmologique, puisqu'il s'agit de la composante dominante de l'Univers ; et corpusculaire, puisqu'il s'agit de découvrir de nouvelles particules non encore répertoriées. Les solutions possibles sont peu nombreuses. La plus convaincante consiste à supposer une nouvelle symétrie fondamentale de la nature (dite « supersymétrie ») : une relation entre les particules qui constituent la matière (quarks, électrons...) et celles qui véhiculent les interactions (par exemple, électromagnétiques ou nucléaires). De cette élégante hypothèse devrait découler l'existence de corpuscules lourds et stables qui pourraient constituer la matière noire de l'Univers, environ soixante fois plus abondante que la matière directement visible. Cette traque, menée notamment grâce aux accélérateurs de particules — en particulier le grand collisionneur de hadrons (LHC) du Centre européen pour la recherche nucléaire (CERN) à Genève —, est aujourd'hui une préoccupation centrale des physiciens et des cosmologues. Pour le moment, aucune trace de supersymétrie n'a été découverte au LHC. Tout au contraire, la version « minimale » de cette théorie a même été essentiellement exclue.

Ensuite, il y a treize ans, des observations fiables ont montré que l'expansion de l'Univers était de plus en plus rapide (3). Comment celui-ci peut-il accélérer si la seule force à l'œuvre à grande échelle, la gravitation, est une force attractive ? Cette question provoque une activité théorique et observationnelle d'autant plus intense que l'énergie associée à cette accélération est deux fois plus importante que celle de la matière noire.

Enfin, le Big Bang lui-même, en tant qu'instant originel, est fondamentalement incompréhensible. Que peut signifier ce commencement incréé (« *Création dans le temps, et pour cela un Créateur, et par conséquent Dieu!* » : le propos de Pie XII en 1951 rappelait les enjeux) et mathématiquement ambigu ? Il représente une prédiction de la relativité générale, alors que, précisément, cette théorie cesse d'être valide à ce moment-là, et ce pour une raison simple : elle ignore les leçons de la mécanique quantique, physique du microcosme qui montre qu'à petite échelle tout devient discontinu, que les particules élémentaires sont douées d'ubiquité et que la vision déterministe (une cause entraîne un effet certain) doit être remplacée par la conception probabiliste (une cause entraîne un effet probable).

Concilier relativité générale et physique quantique est une tâche extraordinairement difficile à laquelle se sont attelés les plus grands esprits depuis près d'un siècle. L'approche la plus aboutie ne nécessitant aucune hypothèse révolutionnaire est certainement la gravitation quantique à boucles (4). Ces boucles formeraient un fin maillage qui ne se trouverait pas dans l'espace mais constituerait l'espace lui-même, formé de petits « atomes » élémentaires dans lesquels nous vivrions.

Appliqué à l'Univers, ce modèle transforme radicalement notre vision cosmologique : le Big Bang, la singularité primitive, disparaît et se trouve remplacé par un « grand rebond ». Autrement dit, il existerait un « avant-Big Bang », un espace en contraction qui aurait rebondi lorsque sa densité devint gigantesque, donnant ainsi naissance à l'expansion actuellement observée. Cette théorie rigoureuse et mathématiquement bien définie est de plus potentiellement testable, puisque ce rebond titanesque pourrait avoir laissé de fines empreintes décelables dans le rayonnement fossile.

Mais il existe une autre approche, la théorie des cordes (5), qui invite à poser la question vertigineuse de l'existence d'univers multiples. En effet, l'inflation — augmentation considérable de la « taille » de l'Univers dans ses premiers instants — aurait créé non pas un, mais une infinité d'univers-bulles, structurés selon des lois physiques différentes (dictées par les cordes), éventuellement très éloignées de celles qui régissent notre propre bulle. Nouvelle blessure narcissique, après celles qui furent infligées par Nicolas Copernic, Charles Darwin et Sigmund Freud à l'idée que l'homme se faisait de son statut d'« élu » : c'est notre univers lui-même qui choit de son piédestal et se voit réinterprété comme un îlot dérisoire et contingent dans ce vaste « plurivers ». Ailleurs, des mondes sans lumière, des mondes sans matière, des mondes à dix dimensions...

Chaque univers-bulle aurait son propre Big Bang, peut-être sa propre dimensionnalité. Tout ou presque deviendrait finalement possible. Au sein de cette structure gigogne d'univers multiples, nous nous trouverions dans l'un de ceux favorables à l'existence de la complexité, et donc de la vie — infime parcelle où la physique a pris la forme étrange et gracieuse que nous lui connaissons. Tout comme notre planète n'est pas du tout représentative de l'ensemble de notre univers, ce dernier n'est très certainement pas représentatif de l'ensemble du multivers. Ce n'est pas là une théorie, mais une prédiction de certaines théories, et c'est en cela que ce modèle est testable au sens usuel du terme, bien qu'évidemment très spéculatif. Le réel serait davantage pluriel que ne tend à le penser une tradition vertébrée par les mythes de l'Un et de l'Ordre. Ce qui n'est d'ailleurs pas sans faire écho à une tradition de pensée parallèle qui irait des atomistes grecs à certains philosophes analytiques en passant par François Rabelais, Gottfried Wilhelm Leibniz, Ludwig Wittgenstein ou Jacques Derrida.

Ces hypothèses ne renient rien des exigences de rigueur de la physique usuelle. Mais elles ouvrent, peut-être, de nouvelles portes. Elles vivent sur les frontières pour les dissoudre ; elles envisagent la possibilité d'une déconstruction. Ce qui, à l'évidence, pose la question de nos attentes par rapport à la science de la nature. Cette approche invite à porter une attention scrupuleuse aux détails oubliés par la tradition, aux points de friction, aux paradoxes et aux apories. Elle engage à déchiffrer la physique comme une construction, et à lui reconnaître le droit de ne pas être la seule version correcte du réel. Il s'agit peut-être aujourd'hui de décupler les modes possibles de notre rapport au(x) réel(s). L'extraordinaire diversité du monde requiert sans doute d'envisager une nouvelle pluralité dans nos manières de l'appréhender. Le manque d'imagination a toujours été plus préjudiciable aux sciences que l'excès d'idées audacieuses.

« *Résister, c'est créer* », écrivait le philosophe Gilles Deleuze. C'est exactement sur ce mode que se déploie (ou devrait se déployer) aujourd'hui la création scientifique : résistance contre les idées reçues, contre le désintérêt politique pour la recherche fondamentale, contre la facilité du conformisme, contre la multiplication des instances de notation aussi nuisibles que superficielles, contre l'inflation ubuesque de la bureaucratie, contre l'importation systématique des dogmes libéraux même là où leur échec est inévitable, contre la précarisation généralisée qui contribue à instituer un système intellectuellement inhibiteur. Comme le souligne Carlo Rovelli (6), « *c'est la rébellion des générations précédentes face aux visions du monde acquises, leurs efforts pour penser le neuf, qui ont fait notre monde. Notre vision du monde, nos réalités, sont leurs rêves accomplis. Il n'y a pas de raison d'avoir peur du futur : nous pouvons continuer à nous rebeller, à rêver d'autres mondes possibles, et à les chercher* ».

Aurélien Barrau

Astrophysicien au Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie (CNRS), professeur à l'université Joseph-Fourier et membre de l'Institut universitaire de France.

(1) Cf. le site www.planck.fr

(2) Jean-Pierre Luminet, *Le Destin de l'Univers*, Gallimard, coll. « Folio essais », Paris, 2010.

(3) Cette découverte a été récompensée par le prix Nobel de physique 2011.

- (4) Martin Bojowald, *L'Univers en rebond. Avant le big-bang*, Albin Michel, coll. « Bibliothèque sciences », Paris, 2011.
- (5) Steven S. Gubser, *The Little Book of String Theory*, Princeton University Press, 2010.
- (6) Carlo Rovelli, *Qu'est-ce que le temps ? Qu'est-ce que l'espace ?*, Bernard Gilson éditeur, coll. « Réflexions », Bruxelles, 2006.

La démarche scientifique

http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/animations_flash/la_radioactivite/la_demarche_scientifique

http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode_scientifique

<http://www.irem.univ-montp2.fr/La-demarche-scientifique-regards>

http://www.scientic.ca/activites/activite_02/enligne.asp

http://acds.viabloga.com/files/La_demarche_scientifique.pdf

<http://semsci.u-strasbg.fr/demarche.htm>

<http://www.universcience.fr/fr/education/contenu/c/1239028068088/la-demarche-scientifique-en-5-etapes/>

<http://anicetlepors.blog.lemonde.fr/2010/01/28/se-reappropriier-lhistoire-de-france-la-demarche-scientifique-la-morale-republicaine-lannion-28-janvier-2010-%E2%80%93-cgt-fsu-solidaires/>

<http://ptitdeb.infini.fr/UVED/site/html/mst/demexpe/demarche-histoire.html>

<http://www.franceculture.fr/emission-avec-ou-sans-rendez-vous-la-demarche-scientifique-a-travers-les-siecles-2011-11-01>

http://perso.obspm.fr/marc.joos/piliers_sciences.pdf

http://animation.hepvs.ch/sciences-de-la-nature/index.php?option=com_content&view=article&id=83&Itemid=88

http://physique.buil.pagesperso-orange.fr/prof/demarche_scientifique.pdf

http://www.ac-nice.fr/ia83/ienlesarcs/index.php?option=com_content&view=article&id=443:demarche-technologique-et-demarche-scientifique&catid=175:maths-et-culture-scientifique&Itemid=261