

## Aux origines de l'Univers

Par [Audrey Dufour](#), le 3/7/2018 à 06h21

Que reste-t-il de la théorie du big bang, maintes fois amendée depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle ?



Au tout début, il y a une confusion. Non pas dans le temps et l'espace, mais dans le sens que l'on donne aux mots. Pour le grand public, le big bang c'est une explosion, sorte de minuscule point qui devient un « grand tout » après une déflagration inimaginable. Pour les scientifiques, c'est en réalité un modèle. Même pas une théorie, car une théorie scientifique impliquerait de pouvoir prédire ce que l'on va observer. Or, là, ce qu'il y a à observer est derrière nous.

L'Univers, en route depuis 13,8 milliards d'années

Pour connaître les débuts de l'Univers, les scientifiques fonctionnent à rebrousse-chemin. « *On sait à quoi ressemble l'Univers aujourd'hui, et on sait qu'il est en expansion ; il a donc dû être plus "petit", plus resserré auparavant,* simplifie Jean-Marc Bonnet-Bidaud, astrophysicien au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). *En calculant ce taux d'expansion de l'Univers, on connaît son âge. »*

Imaginez une voiture qui roule à 60 km/h et qui aurait parcouru 120 km. Vous savez qu'elle est en chemin depuis deux heures, à peu près. L'Univers que l'on connaît, lui, est « en route » depuis 13,8 milliards d'années, à quelques siècles près.

Mais tout comme la voiture qui n'est pas passée de l'arrêt à 60 km/h d'un coup, l'Univers n'est pas un ballon de baudruche qui se gonfle de façon régulière. Pour arriver à notre monde actuel, que d'à-coups, de phases d'extension brutale et de longs refroidissements !

Les limites de la relativité générale

La première étape, le « big bang » en tant que tel, est, en l'état actuel des connaissances, une vue de l'esprit. Quelque chose pour laquelle les scientifiques n'ont même pas encore vraiment de vocabulaire. Une « *singularité* », une « *fluctuation primordiale* », « *une courbure infinie* », un quelque chose où les lois classiques de la physique ne fonctionnent plus.

« *La théorie de la relativité générale n'est plus valable au début du big bang,* reconnaît Jérôme Martin, de l'Institut d'astrophysique de Paris (IAP). *Nous avons besoin d'une théorie dite de la gravitation quantique.* » Problème : jusqu'à présent, personne n'a encore réussi à unifier la mécanique quantique et la relativité générale dans cette fameuse théorie, qui décrirait enfin la singularité primordiale, si jamais elle a existé (*lire les repères ci-dessous*).

Tout cela revient un peu à décrire une rivière : on peut dire qu'il s'agit d'un courant d'eau ou de la somme des molécules d'eau. Dans les deux cas, c'est une rivière, mais les processus impliqués sont radicalement différents.

Une inflation rapide et gigantesque

Passé ce commencement mystérieux, l'Univers aurait connu une gigantesque et rapide phase d'expansion, quelque part autour  $10^{-33}$  seconde après la singularité originelle. C'est en réalité à ce moment précis que correspond la vision répandue de « *l'explosion du big bang* ».

Les propos du pape sur le big bang sont-ils révolutionnaires ?

Les scientifiques ont postulé cette théorie de l'inflation car elle permet de résoudre deux problèmes majeurs : le fait que l'Univers observable soit homogène et spatialement plat. « *La phase d'inflation explique que l'Univers soit devenu tellement grand que la partie que nous observons, et qui est plate, n'est en réalité qu'une petite*

*portion, un peu comme la Terre nous apparaît plate localement, compare Jérôme Martin. Attention, cela ne veut pas dire que l'Univers est rond comme la Terre ! En réalité, on ne sait pas. »*

## Homogénéité et platitude de l'Univers

*« Cette théorie de l'inflation permet aussi d'expliquer pourquoi des régions du ciel situées dans des directions opposées sont semblables », renchérit Jean Audouze, astrophysicien et directeur de recherches émérite au CNRS. C'est un peu comme les bulles de chewing-gum : toute la bulle a le même parfum parce qu'elle provient du même chewing-gum. Avec la théorie de l'inflation, on suppose que des régions, aujourd'hui très distantes mais semblables, ont dû être plus proches auparavant.*

*« Quant à la question de savoir pourquoi cette inflation aurait eu lieu, certains pensent qu'il s'agirait de la séparation de la force unique, que l'on ne connaît pas, en ces quatre forces fondamentales qui régissent la physique actuelle. Mais rien n'est prouvé », reconnaît Jean Audouze.*

## Les débuts de la nucléosynthèse

Après cette phase d'expansion hors norme tant par sa rapidité que par sa puissance, l'Univers très chaud se dilate et se refroidit. Premières briques de la matière, les quarks se forment, puis viennent les protons.

*« Ensuite, la température passe sous la barre de 10 milliards de degrés, et les protons vont pouvoir donner lieu à la matière telle qu'on la connaît, avec des noyaux d'hydrogène, d'hélium et un tout petit peu de lithium, raconte Jean-Marc Bonnet-Bidaud. Ce sont les débuts de la nucléosynthèse. »*

## Le fonds diffus cosmologique, plus vieille « image » de l'Univers

Les photons, qui « portent » la lumière, sont également présents durant cette première minute de l'Univers. Mais il faut attendre que celui-ci s'étende, se refroidisse et que la matière se dilue pour qu'enfin la lumière surgisse, comme l'eau d'une source percerait à travers le sable.

En 1964, les physiciens américains Penzias et Wilson découvrent par hasard un « bruit de fond » électromagnétique en provenance de tout l'Univers. *« Il s'agit du fond diffus cosmologique qui correspond à ce moment, 380 000 ans après le big bang, où la lumière devient visible, précise Nicolas Laporte, de l'University College de Londres. C'est la plus vieille image de l'Univers. On ne pourra jamais voir plus tôt, avant la libération de la lumière. »*

## Les débuts des grands ensembles et des galaxies

Mais ce brusque surgissement de lumière ne dure pas. L'univers s'étend toujours. *« Commencent alors les âges sombres, reprend l'astrophysicien du CEA. La lumière refroidit, et devient trop faible pour "éclairer" le ciel. La force de gravitation se met à rassembler les grandes structures. »*

« *Les galaxies naissent, au départ très petites, puis s'attirent et fusionnent pour en donner de plus grandes comme notre Voie lactée* », ajoute Nicolas Laporte. Environ un milliard d'années après la « *singularité primordiale* », l'Univers ressemble à celui que nous connaissons.

Françoise Combes, galaxies et cacahuètes

L'accélération de l'expansion et la question d'une énergie noire

Depuis, son expansion s'accélère. Cette découverte, faite en 1998 par des cosmologistes américains, intrigue les physiciens qui n'ont pas fini de faire des hypothèses pour l'expliquer. La plus connue est celle de l'existence d'une énergie noire ou sombre (1), qui agirait à l'inverse de la force gravitationnelle et repousserait les galaxies les unes des autres au lieu de les attirer. Selon les calculs, cette hypothétique énergie noire devrait représenter près de 70 % de la composition de l'Univers.

Or, le besoin de « rajouter » cette hypothèse de l'énergie noire au modèle cosmologique, en plus de toutes les suppositions déjà faites pour que ce modèle théorique soit conforme aux observations, interroge de plus en plus régulièrement les physiciens. « *Les conditions initiales à imposer au modèle du big bang pour qu'il marche nous apparaissent trop peu "élégantes"* », commente avec sérieux Jérôme Martin.

Des modèles théoriques sans cesse critiqués et revus

Tout serait-il donc faux ? En réalité, il est plus vraisemblable que seules certaines parties du modèle soient à revoir. « *Certains critiquent la théorie de l'inflation ou l'idée d'une fluctuation quantique primordiale, d'autres expliquent le fond diffus autrement que par le modèle du big bang...* », reconnaît Jean-Marc Bonnet-Bidaud.

Le dernier article de Stephen Hawking, publié à titre posthume, reprend par exemple l'idée d'une inflation éternelle et d'un multivers : l'Univers que nous observons ne serait en réalité qu'un parmi tant d'autres. La théorie des cordes, vertement décriée par certains et louée par d'autres, prévoit ainsi l'existence de branes, des sortes de membranes ou de poches, chaque univers étant dans une brane. Pour comprendre cette théorie, on peut visualiser les nuages dans un même ciel : chaque nuage correspondrait à un univers, tous existant ensemble, pouvant se rencontrer et grossir, pour donner naissance à un orage. Ou, dans le cas qui nous intéresse, à un big bang.

« *Une bonne moitié des modèles proposés depuis le début du siècle ont déjà été exclus. Peut-être que nous pourrions un jour restreindre encore le champ des possibles* », espère Gabriele Veneziano, physicien italien et pionnier de la théorie des cordes. « *Sans compter que nous faisons nous-mêmes partie de l'expérience, donc c'est assez difficile !* », conclut Jean Audouze non sans humour.

---

? Des théories à unifier

La relativité générale est une théorie de la gravitation, l'une des quatre interactions fondamentales de l'univers. Œuvre d'Albert Einstein, cette théorie décrit la gravitation, et avait par exemple prévu les ondes gravitationnelles finalement découvertes en 2015.

La mécanique quantique est la physique de l'infiniment petit. Elle s'applique à l'échelle des atomes et des particules élémentaires.

La gravité quantique est une hypothétique théorie qui unifierait la relativité générale et la mécanique quantique. Parmi les différentes pistes proposées, les plus connues sont celles de la théorie des cordes et la théorie de la gravitation quantique à boucles.

Audrey Dufour

(1) Attention, cette énergie noire ne doit pas être confondue avec la matière noire, une hypothétique forme de matière nécessaire à justifier la vitesse des étoiles.