



LA THÉORIE DU BIG BANG

Sébastien GRIOLET
Christian INGOUFF

EISTI

15 mai 2013

Introduction

Nous vivons actuellement sur la planète Terre, mais cette planète est loin d'être la seule existante : elle n'est qu'un fragment, qu'une poussière dans l'étendue que tout ce qui existe a pu prendre. Cet espace pris constitue ce que nous appelons "univers". Ce n'est qu'au XVII^e siècle que l'on commencera à aborder cette notion, les astronomes d'auparavant se limitant uniquement au système solaire et basant sur l'hypothèse du géocentrisme : tout corps céleste tournerait autour de notre planète.

Environ 13.8 milliards d'années : c'est la durée présumée pendant laquelle notre univers s'est développé pour devenir ce qu'il est aujourd'hui. Etoiles, planètes, astéroïdes : une immense étendue de matières en tous genres, dont nous ne parvenons à observer que 5% de sa composition. Constamment en évolution, jamais inerte, l'univers tel qu'il est actuellement continue à susciter le grand intérêt des chercheurs, non seulement dans ce qu'il nous cache au travers des galaxies, mais aussi et surtout dans l'origine même de son apparition et de son existence. Par quels moyens l'univers a-t-il pu surgir, s'établir, pour commencer à se développer ?

C'est à propos de cette genèse de l'univers que se tinrent, et se tiennent toujours, de nombreux débats quant à sa cause première. Des études scientifiques ont été alors menées par rapport à cette problématique : c'est ainsi que nous décrivons la théorie du "Big Bang", reconnue comme étant la plus cohérente et la plus connue des conjectures scientifiques établies concernant le déroulement du grand début. Ainsi, de nos jours, aucune autre théorie concernant la création de l'univers n'est aussi soutenue et aucune autre ne semble porter la vérité mieux que celle-ci.

Table des matières

Résumé	3
Premières découvertes	4
Preuves observables	5
L'expansion de l'univers	5
Le rayon fossile du cosmos (fond diffus cosmologique)	6
L'abondance des éléments chimiques légers	6
Descriptif chronologique	7
Les prémices de l'univers	8
Après l'inflation cosmique	9
Formation de structures	10
Aujourd'hui et demain	10

Résumé

Notre intérêt se portera sur l'ensemble des recherches effectuées à propos du Big Bang. Nous établirons ainsi ici les prémices de son établissement, ce qui a amené à la construction de la théorie. Nous développerons aussi la justification de sa concordance scientifique : la théorie du Big Bang se base en effet sur l'observation de phénomènes qui laisseraient penser que la conception de l'univers se serait passé comme elle le décrirait. S'en suivra un descriptif sous forme chronologique de ce phénomène, qui développera l'évolution de l'univers dans toute la durée présumée de son existence.

Premières découvertes

Proposé pour la première fois en 1927 par le chercheur belge Georges Lemaître[1] (qui reprit les travaux du russe Alexandre Friedmann datant de 1922), le Big Bang est une des nombreuses théories existant à ce jour expliquant la création de notre univers.

Cette théorie est basée sur une étude dite cosmologique qui correspond à une description mathématique de toute ou une partie d'un univers. Une des premières explications de la création de l'univers fut proposée par le très célèbre Albert Einstein. Cependant, sa théorie fut rapidement abandonnée suite à des découvertes liés à l'expansion de l'univers.

Georges Lemaître présenta donc dans un premier temps sa découverte mettant en évidence l'expansion de notre univers. Sa théorie fut ensuite reprise et démontrée par Edwin Hubble en 1929. C'est à cette période là que fut utilisé pour la première fois le terme de "Big Bang", qui signifie littéralement parlant : "La nature des choses".

Cependant, cette théorie du "Big Bang" resta pendant des années en retrait et fut à de très nombreuses reprises présentée et tournée en dérision par les experts de l'époque et par certains médias.

L'hypothèse du Big Bang, telle qu'on la connaît aujourd'hui, et que l'on développera par la suite, fut cependant établie bien plus tard, en 1965, avec la découverte de ce que l'on appelle le "fond diffus cosmologique", soit, pour reprendre les termes de Lemaître : "l'éclat disparu de la formation des mondes". Il s'agit d'un rayonnement électromagnétique issu, selon le modèle utilisé par le Big Bang, de l'époque très chaude et dense qu'a connue l'univers à sa création avant de s'étendre et de se refroidir.

Preuves observables

De nos jours, grâce à la technologie et aux travaux de grands chercheurs tels qu'Einstein ou Hubble, on dispose de nombreuses preuves de l'existence du Big Bang. Nous allons ici présenter les trois preuves les plus connues qui ont convaincu le monde scientifique de l'existence du Big Bang.[2]

L'expansion de l'univers

L'observation première, qui a permis de mettre en place la théorie actuelle du Big Bang est celle de l'expansion de l'univers.[3] Cette observation a permis d'édifier la cosmologie moderne qui est encore utilisée de nos jours pour l'étude de notre univers. Cette idée a cependant longuement et farouchement été débattue avant de se voir définitivement acceptée. Albert Einstein lui même était opposé à cette idée, malgré le fait que cette observation soit présente dans ses travaux sur la relativité (plus précisément, dans les équations de la relativité). Il s'agit d'un concept complexe qui nous apprend que la texture même de l'espace-temps s'étend et emporte dans son élan les galaxies et tout les corps célestes. Un phénomène plus surprenant est le fait que cette expansion se produit partout, au même moment, sans centre !

Vesto Slipher mis en évidence cette expansion (sans pouvoir en tirer cette conclusion) en observant en 1912 le rayonnement des galaxies les plus brillantes. Il conclut que plusieurs d'entre elles émettaient un rayonnement bleu et d'autres se trouvaient décalées vers le rouge. C'est un effet que la majorité des astronomes actuels s'accordent à considérer comme la preuves que les galaxies s'éloignent (celles les plus rouges semblent fuir, au loin, vers "l'infini")

Le rayon fossile du cosmos (fond diffus cosmologique)

L'idée générale est assez simple à comprendre. En effet, si l'univers se trouve en expansion, il a obligatoirement dû passer par une phase où la densité et la chaleur étaient extrêmes. La matière était alors resserrée, et l'histoire ultérieure se résume à son expansion et son refroidissement. Ainsi, la naissance de notre univers se serait accompagnée d'un rayon très intense[4] qui peut encore se constater aujourd'hui, même s'il s'est fortement affaibli avec le temps. Aujourd'hui, ce brouhaha permanent est certes, très atténué, mais toujours visibles par le commun des mortels. En effet, on estime qu'environ 1% de la "neige" présente sur nos anciens modèles de téléviseur est dû à ce "rayonnement fossile" ou "premier cri de l'univers".

Ce sont les radioastronomes Arno Penzias et Robert Wilson qui découvriront par hasard ce rayonnement en 1965. Ils découvriront un fond diffus radioélectrique qui envahit toute la voûte céleste et qui ne varie pas au fil du temps. Ce "bruit" est étranger à tout corps céleste. Ils réaliseront alors qu'il s'agit bel et bien du "premier cri de l'univers". Cette découverte permit également de comprendre que le cosmos aurait libéré l'essentiel de son énergie lors de son premier âge que nous allons décrire par la suite.

L'abondance des éléments chimiques légers

En effet, lorsque l'on regarde dans l'univers, peu importe vers où se tourne notre regard, on remarque que deux éléments chimiques sont extrêmement présents : l'hydrogène et l'hélium. Comment est-il possible que ces deux éléments pourtant si légers soient autant présents ?

Il pourrait s'agir d'un simple hasard, cependant, pour les scientifiques, l'explication réside dans l'origine de l'univers : au Big Bang. Leur hégémonie serait plus précisément liée au fait que l'univers est autrefois passé par une phase ultra dense et chaude. Lors du début de la phase d'expansion, la densité aurait fortement diminué ainsi que la température. Ainsi, les quarks (petites particules, constituants élémentaires de la matière) se seraient alors rassemblés pour former protons et neutrons. S'en suivra la création de très nombreuses particules d'hélium et d'hydrogène suite à un déséquilibre entre le nombre de protons et de neutrons.

Descriptif chronologique

Tout d'abord, la théorie du Big Bang n'explique pas ce qu'il serait passé avant toutes les étapes décrites : en effet, nos scientifiques sont encore en études et débats à propos de ceci. Certains, comprenant Isaac Newton et Albert Einstein, suggéreraient un univers éternel, qui aurait toujours existé : l'univers avant le Big Bang aurait été soit dans un état extrêmement dense (de l'ordre de $10^{15}g/cm^3$), soit dans une phase à vide avant de connaître un rebond, ce rebond qui aurait entraîné le fameux phénomène. D'autres scientifiques soutiendraient que l'univers et le continuum espace-temps sont en réalité apparus avec le Big Bang.

Ainsi, nous introduirons l'étude de la chronologie du Big Bang[5] à partir du moment précis où il aurait surgi, c'est-à-dire il y a environ 13,8 milliards d'années[6]. Cet âge a été estimé grâce à l'étude et la comparaison de cartes de l'univers : on peut là étudier son expansion pour approcher son origine. Nous débutons au point où la température et la pression de l'univers "pré Big Bang" étaient si grandes qu'elles ont engendré cette explosion.

Les prémices de l'univers

L'étude des prémices de l'univers (du début jusqu'à environ 10^{-32} secondes) relèvent de la cosmogonie et sont très spéculatives : en effet, à ce jour, nous ne sommes pas dotés d'accélérateur de particules assez puissants et performants pour émuler les conditions d'un phénomène tel que le Big Bang. Nous exposerons ici le paradigme de l'inflation cosmique : il existe cependant d'autres théories, comme l'univers ekpyrotique[7], qui placerait l'univers dans une entité plus vaste, ou l'état de Hartle-Hawking[8], qui modélise l'univers comme une fonction sinusoïdale.

Du début à 10^{-43} secondes (ère de Planck), les 4 forces fondamentales (électromagnétisme, forces nucléaires faible et forte, gravitation) seraient vraisemblablement unifiées en une seule. La gravitation se distingue des autres forces fondamentales en réaction à l'expansion et au refroidissement de l'univers de 10^{-43} à 10^{-36} secondes après le début. La force nucléaire forte se détache également ensuite, de 10^{-36} à 10^{-12} secondes.

Ce deuxième détachement marque une ère d'expansion exponentielle qui est l'ère inflationnaire, se passant plus ou moins entre 10^{-36} et 10^{-32} secondes. L'expansion s'arrête quand une phase de réchauffement survient. A ce moment, l'énergie potentielle de cette inflation se traduit par un plasma de particules, où vont se former les quarks, les protons et les neutrinos, premiers acteurs de la formation de noyaux atomiques, sous la forme de rayonnements.

Après l'inflation cosmique

L'étude des périodes post-inflationnaires est davantage aisée du fait de l'apparition du plasma de particules, qui rapproche la physique étudiée de celle que l'on connaît. Par conséquent, l'approfondissement des ères surgissant après l'inflation cosmique sera bien moins spéculative.

Nous verrons, de 10^{-12} à 10 secondes après le Big Bang, qu'avec la baisse progressive de température dans l'univers, les quarks qui se sont formés vont peu à peu évoluer vers les noyaux atomiques que nous connaissons, en passant par la formation de hadrons vers 10^{-6} secondes (comprennent les protons et les neutrons), de leptons vers 1 seconde (comprennent les électrons), puis de photons vers 10 secondes (représentent les ondes et la lumière visible).

La température de l'univers ne permet la synthèse des noyaux atomiques qu'à partir de 3 minutes après le début : les protons et les neutrons entament le processus de la fusion nucléaire. La température de l'univers devient trop basse pour la permettre à partir de 20 minutes suivant le Big Bang.

L'univers continue de voir sa température et sa densité diminuer graduellement, et la densité des noyaux conçus auparavant ne devient supérieure à celle des photons qu'à partir de 70 000 ans après le début : c'est la domination de la matière. Nous verrons les premiers atomes (hydrogène et hélium) se former à partir d'environ 380 000 ans.

Formation de structures

La formation des premiers atomes marque le début de la formation des structures que nous connaissons aujourd'hui. Elle s'opère de manière hiérarchique : de la plus massive entité à la plus petite.

Les immenses quasars, les entités les plus lumineuses de l'univers présent habitées majoritairement par un trou noir supermassif, sont les premières structures remarquables à se former. S'en suivent ensuite les étoiles, décroissantes en taille, puis des galaxies, engendrées par effondrement de matière.

Points de repère concrets : notre système solaire ne verra sa formation entamée qu'à partir de 8 milliards d'années après le Big Bang. Le Soleil, étoile de basse génération, s'est formé environ 1 milliard d'années après.

Aujourd'hui et demain

Aujourd'hui, dans la diminution constante de sa densité et de sa température, l'univers est toujours en expansion, mais l'évolution future de sa densité est sujette à débats. Sa diminution pérenne entraînerait le scénario le plus probable du "Big Freeze", qui décrirait l'éteignement progressif de l'univers.

Son augmentation suggérerait le "Big Rip", le démantèlement de toute matière composant l'univers : d'entités à molécules, de molécules à atomes, d'atomes à protons et neutrons, etc.

Un autre scénario supposant l'univers comme fermé est le "Big Crunch", qui prédit en quelques sortes un processus inverse à celui du Big Bang, c'est-à-dire un renfermement de l'Univers, avec une densité et une température croissantes jusqu'à un état similaire au moment du Big Bang... qui l'entraînerait à nouveau.

Conclusion

Le Big Bang représente ainsi la manière présumée par laquelle l'univers est passé d'un amas extrêmement chaud et dense à ce qu'il est aujourd'hui. Il est l'aboutissement de l'étude approfondie des phénomènes régissant notre univers utilisée pour remonter les origines même de la création.

“Création” qui pose encore et toujours des problèmes à nos scientifiques concernant son origine à elle. C'est sur cette incertitude que se tient le créationnisme, promouvant la cause religieuse du “Dieu créateur”, ce qui entraîne un certain nombre de débats et un certain taux de scepticisme à ce sujet.

Aujourd'hui, de nombreuses questions se posent toujours à propos du Big Bang. En effet, certains groupes de scientifiques tendent à dire que notre univers pourrait continuer à s'étendre éternellement voir même que cette expansion pourrait s'accélérer. Mais d'autres hypothèses contredisent ce phénomène en mettant en avant le ralentissement du mouvement des galaxies, ce qui pourrait être un signe avant-coureur de la régression de notre univers.

Toutes les hypothèses existantes sont donc à prendre avec grande précaution car il est encore impossible de dire clairement, pour l'instant, quel modèle peut décrire le mieux notre univers. Ainsi, les scientifiques continuent à s'interroger sur notre univers, sa courbure ou sa platitude, la vitesse de son expansion et son accélération ou décélération et surtout, son futur !

Bibliographie

- [1] Regard sur le monde. Georges lemaître.
www.regardsurlemonde.fr/blog/georges-lemaitre-le-pionnier-de-la-theorie-du-big-bang.
- [2] *The TalkOrigins Archive*. Evidence for the big bang, 2006.
www.talkorigins.org/faqs/astronomy/bigbang.html#evidence.
- [3] *Olivier Esslinger*. L'expansion de l'univers.
www.astronomes.com/lunivers/univers-expansion.
- [4] *Techno-Science.net*. Fond diffus cosmologique.
www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=6618.
- [5] The Physics of the Universe. Timeline of the big bang.
www.physicsoftheuniverse.com/topics_bigbang_timeline.html.
- [6] *NASA*. Planck mission brings universe into sharp focus, 2013.
www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2013-109.
- [7] *Justin Khoury, Burt A. Ovrut, Paul J. Steinhardt, Neil Turok*. The ekpyrotic universe : Colliding branes and the origin of the hot big bang, 2001.
- [8] *J. T. Wong, University of Victoria*. The hartle and hawking no-boundary proposal.
web.uvic.ca/jtwong/Hartle-Hawking.htm.