

Histoire de la théorie du « Big Bang »

Sylvain Picard - www.astro.as2o.com

Revue Hyperspace de la Société d'astronomie du Planétarium de Montréal (SAPM) - automne 2008

La théorie du « Big Bang » est certainement parmi les plus intéressantes de l'histoire moderne des sciences. La création de l'univers a fasciné de nombreuses générations de philosophes, scientifiques et membres des différents clergés. Cette superbe histoire qui se déroule sur de nombreux siècles est remplie de rebondissements, de découvertes surprenantes, de rendez-vous avec les grands événements de l'histoire contemporaine. La théorie du « Big Bang », se veut encore aujourd'hui, une question fondamentale qui a repoussé notre compréhension de l'infinité de l'univers et de la présence des forces fondamentales hors de l'entendement humain.

La création selon les forces mystiques

Il est impossible d'entamer l'histoire du « Big Bang » sans mentionner les récits mythiques de la création de l'univers provenant des grandes civilisations de l'histoire.

Selon les chinois, l'univers était enfermé dans un « œuf de poule » où à l'intérieur se trouvait une très grande masse nommée « rien ». Phan Ku, le Créateur, est né de cet œuf et il est devenu le premier être. Phan Ku était un géant et avec un ciseau, il a façonné le monde. Il a séparé le ciel de la terre. La lumière était le Yang, et la matière lourde sur la Terre était le Yin. Il découpa les rivières, creusa les vallées. Ensuite, Phan Ku plaça les étoiles, la lune dans le ciel pour la nuit et le soleil pour le jour. L'univers fut finalement complété lorsque Phan Ku décéda, les parties de son corps ont complété la création et la vie.



Figure 1 - Création du Soleil, de la Lune et des planètes de Michelangelo au plafond de la chapelle Sixtine du Vatican

Pour les adeptes du christianisme et du judaïsme, les premiers versets du premier livre du Pentateuque - la Genèse, expliquent la création de l'univers en cinq jours.

Pour les civilisations occidentales, cette explication de la naissance de l'Univers a fait loi pendant de nombreux siècles. Plusieurs scientifiques européens du Moyen Âge et de la Renaissance ont vu leurs théories et explications mises à l'index par les autorités religieuses. Encore aujourd'hui, le courant des « créationnistes » remet en question plusieurs théories scientifiques non seulement liées à la naissance de l'Univers, mais aussi à la théorie d'évolution de Darwin.

Exploration du ciel

Il est très arbitraire d'identifier l'origine de l'histoire de la théorie du « Big Bang ». Une cascade d'observations et de découvertes a permis à la communauté scientifique de prendre conscience de la place de la Terre dans l'univers. Thales de Milet documente les toutes premières observations astronomiques en 600 ans av. J.-C., Aristarque de Samos (env. 310-230 av. J.-C.) effectue les premières mesures du diamètre du Soleil et de la Terre, de la distance Soleil-Terre-Lune en plus d'émettre la théorie que le Soleil était au centre de « l'univers », Ptolémée (90-168) qui rallie toute la communauté scientifique pendant des siècles avec son système géocentrique centré de l'univers autour de la

Terre, la création des tables Alphonsine en 1252 décrivant le mouvement des astres et Copernic (1473-1543) qui révolutionne la pensée astronomique par sa théorie de l'héliocentrisme plaçant le Soleil au centre de l'univers.

Les percées scientifiques de Galileo Galilei, dit Galilée, (1564-1642) sont certainement un point déterminant dans l'histoire du « Big Bang ». Avec l'utilisation du télescope, inventé par le hollandais Hans Lippershey (1608), Galilée a démontré la validité du modèle héliocentrique développé par Copernic, par l'observation des satellites de Jupiter, des cratères et montagnes de la Lune, des taches solaires et aussi des croissants de Vénus. Même s'il a dû se rétracter devant le tribunal pontifical, les travaux de Galilée ont confirmé notre place dans le système solaire : notre Terre tourne autour du Soleil. De nombreux autres astronomes ont suivi cette pensée pour ajouter à notre compréhension immédiate de notre système solaire : Tycho Brahé (1574) avec ces nombreuses observations à l'Uraniborg, Johannes Kepler (1596) avec ses trois lois des mouvements orbitaux des planètes, Newton avec l'invention du télescope réflecteur (1671) et la théorie de la gravitation (1684) et Ole Christensen Rømer qui démontre la finitude de la vitesse de la lumière (1676).

Le chasseur de comètes Charles Messier (1730-1817) et ses assistants Pierre Méchain et Alexis Bouvard établissent un premier catalogue d'objets nébuleux dans le but de ne pas confondre les autres chasseurs de comètes. Il observe de nombreux objets dont entre autres quelques « nébuleuses spirales ». Assisté par sa sœur Caroline, William Herschel (1738-1822) musicien émérite de son époque, explore le ciel en établissant une première cartographie de la Voie lactée et répertorie de nombreuses « nébuleuses spirales ». Il a construit de nombreux gigantesques télescopes. John Herschel (1792-1871), son fils, poursuivra l'œuvre de son père pour publier le fameux catalogue « General Catalogue of Nebulae and Clusters » qui devint le fameux catalogue « New General Catalogue », toujours une référence pour les astronomes amateurs. William Herschel aurait eu une première intuition de la nature extragalactique de « nébuleuses spirales » en exprimant l'idée qu'elles seraient situées bien au-delà de notre galaxie.

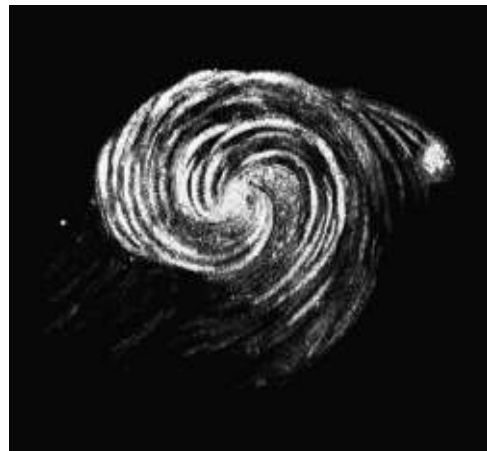


Figure 2 - Nébuleuse spirale M51 de Lord Ross en 1845

L'astronome et mathématicien allemand, Friedrich Wilhelm Bessel (1784 - 1846) réussit finalement à établir la distance entre la Terre et l'étoile binaire 61 Cygni par la technique des parallaxes. Grâce à cette technique, d'autres contemporains de Bessel ont mesuré la distance d'autres étoiles (Alpha Lyrae, Alpha Centauri). Cette technique, encore couramment utilisée par divers satellites (p. ex. Hipparcos en 1989 et son successeur Gaia prévu en 2010), est pratiquement inutilisable lorsque vient le temps de mesurer les distances des objets lointains comme les « nébuleuses spirales » - les instruments doivent être extrêmement précis. Autour des années 1895, Henrietta Swan Leavitt fera une contribution primordiale à la communauté des astronomes en établissant un étalon de mesure des objets très éloignés. L'équipe de Pickering, principalement constituée de femmes d'où l'appellation du « harem de Pickering », avait entrepris un très ambitieux projet de répertorier la magnitude des étoiles en combinant l'utilisation des grands télescopes et les plaques photographiques. Durant l'examen de ces plaques, Henrietta a mis en évidence un nouveau type d'étoiles variables dans la région du Nuage de Magellan. Au début des années 1900, elle publia un article faisant état d'étoiles dont la luminosité variait en fonction de leur période de variation - aujourd'hui connues sous le nom des Céphéides. Cette relation permit d'établir un étalon pour mesurer leur distance¹. Ce n'est que quelques années plus tard (1913), qu'Ejnar Hertzsprung (1873 - 1967) a pu associer une distance à cet étalon en mesurant la distance des étoiles céphéides dans la Voie lactée avec l'aide de la technique des parallaxes.

¹ Plus une céphéide est lumineuse plus sa période de variation d'éclat est longue, car plus l'étoile est volumineuse plus le trajet parcouru par les ondes lumineuses est long

Un acteur très influent du milieu de la physique entre en jeu autour des années 1905, Albert Einstein publie sa théorie de la relativité restreinte. En affirmant que la gravité n'est pas une force, telle qu'énoncée par Newton, Einstein affirme qu'elle est plutôt une déformation de l'espace-temps sous l'effet d'une masse très importante. La gravité de Newton peut très bien expliquer plusieurs phénomènes liés aux orbites des différents corps. Par contre, en cas de gravité extrême (par exemple près d'une étoile), l'équation de Newton est inutilisable. Pour valider ses équations, Einstein s'attaque à l'orbite de Mercure qui contrairement à l'orbite des autres planètes, décrit une orbite elliptique qui décale (un peu comme le fameux dessin du jeu de spirographe) progressivement. Les équations d'Einstein permettent de décrire exactement l'orbite de Mercure. Afin de démontrer la robustesse de ses équations, il prédit que la lumière sera déviée en passant à proximité d'une étoile. En mai 1919, une équipe démontre la prévision d'Einstein lors d'une éclipse solaire, la position des étoiles observées « autour du Soleil » était légèrement décalée exactement selon les équations de la relativité restreinte.

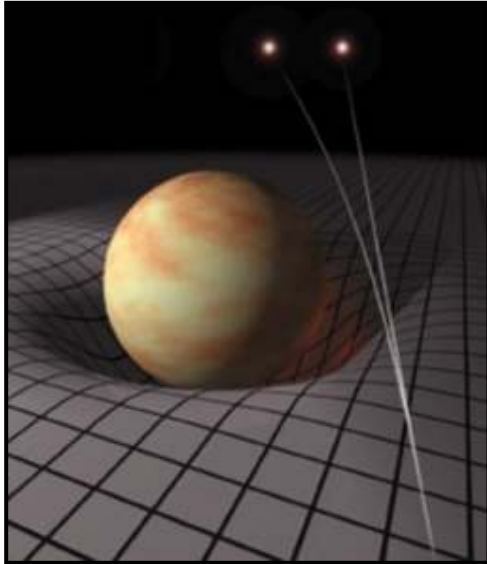


Figure 3 - Effet de la relativité restreinte sur la lumière

La communauté scientifique se dotait alors de nouvelles équations révolutionnaires pour s'attaquer aux mystères entourant la naissance de l'univers.

Il y a d'autres galaxies et en plus, elles bougent

Le début des années 1900 est marqué par la construction de grands télescopes dont celui du Mont Wilson (télescope Hale de 1,5 mètres et Hooker de 2,5 mètres) entrepris par George Ellery Hale en 1904 qui fut parmi les principaux pôles de recherche sur les origines de l'univers. Cette nouvelle fenêtre sur l'univers permettra éventuellement de répondre à de nombreuses questions et d'effectuer de nouvelles découvertes toutes aussi surprenantes les unes que les autres.

Une question qui domine les communautés scientifiques tourne autour de la nature des nébuleuses spirales. Sont-elles intra ou extra galactiques ? Le National Research Council organise en 1920 le « Grand Débat » impliquant un représentant de chacun des camps : Harlow Shapley de l'observatoire du mont Wilson et Heber D. Curtis de l'observatoire Allegheny. Shapley soutient que l'univers consiste en une « immense » galaxie de 300 000 années-lumière qui contenait les nébuleuses spirales aussi distantes, soient-elles. Sinon à cause de leur taille, les novae (les supernovae n'étaient pas alors connues) observées occasionnellement seraient « inimaginablement » loin considérant leur dimension et luminosité. L'argumentation de Shapley était basée sur ses mesures des distances des amas globulaires effectuées par la technique des étoiles céphéides. Curtis de son côté affirme que les galaxies sont beaucoup plus petites (environ 10 fois). Il affirme que les « nébuleuses spirales » sont en fait des galaxies situées à de très grandes distances entre 500 000 à 10 000 000 années lumières. Le Grand Débat de 1920 n'a pas permis de rallier unanimement la communauté scientifique à aucune théorie. L'influent Einstein, tout comme la communauté scientifique, favorise les arguments de Shapley.

À cette même époque, Einstein travaille à élaborer sa théorie générale de la relativité permettant de mieux comprendre la nature et la mécanique de notre galaxie (alors l'univers). Une prédiction résultant de cette théorie met en évidence la relation dynamique et en évolution des objets de notre galaxie. À cette époque, il était généralement admis que l'univers était plutôt statique, car il n'était pas possible d'en mesurer et observer son dynamisme. Alors, Einstein a dû ajouter une « constante cosmologique » qui introduit une force répulsive ou d'antigravité qui empêcherait notre galaxie



Figure 4 - Edwin Hubble avec la plaque photographique de M31

de s'effondrer sous sa propre gravité. Plus tard, en regard des observations, il devra admettre que c'était une erreur bête de sa part de ne pas avoir fait confiance à ces équations.

Le « Grand Débat » sera définitivement clos par les travaux d'Edwin Hubble. Il démontrera par ses observations, et non les mathématiques, que les « nébuleuses spirales » sont situées bien au-delà des frontières de notre galaxie et qu'elles constituent des galaxies. En 1923 en se basant sur les techniques des étoiles céphéides et avec l'aide de télescope Hooker du mont Wilson, Hubble réussit à isoler une étoile repère dans la nébuleuse spirale d'Andromède (M31). En regard des premières observations, il pense observer une nova dans la « nébuleuse spirale », mais à l'examen de plusieurs plaques photographiques il a réalisé qu'il observait une étoile variable de type céphéides. Alors, il put établir la distance en fonction de la période de variation de l'étoile. Les résultats sont inespérés, la « nébuleuse spirale » d'Andromède serait située à environ 1 000 000 années-lumière² soit trois fois plus éloignée que la dimension de notre galaxie telle qu'établie par Shapley. La nébuleuse spirale ne pouvait donc pas être située dans notre galaxie, mais former une autre « nébuleuse extragalactique³ ». Les observations de Hubble étaient irréfutables, Shapley a dû se résoudre à cette démonstration en affirmant : *"Here is the letter that has destroyed my universe"*. Hubble a poursuivi ces travaux d'observations des étoiles céphéides des galaxies NGC 6822 du Sagittaire et M33 du Triangle.

En 1910 avec l'avancement de la spectroscopie dans le domaine de l'astronomie, Vesto Melvin Slipher avait noté que le spectre émis par les « nébuleuses spirales » était décalé vers le rouge ou le bleu selon leur déplacement. Limité par son télescope de 24 pouces, Slipher n'a pu mesurer que quelques nébuleuses spirales.

La naissance des premières théories scientifiques

Toutes ces nouvelles découvertes, théorie de la relativité générale et percées scientifiques mettent la table pour l'élaboration des premières théories expliquant les premiers moments de la naissance de l'univers. En fait, la décennie de 1920 sera une époque déterminante dans l'histoire du « Big Bang ».

Le mathématicien et physicien Aleksandr Aleksandrovich Friedmann entrevoit que la théorie de Einstein qui établit la relation entre la gravitation, le temps et l'espace permet du même coup d'établir la structure de l'univers dans son ensemble. Il publie son premier article en 1922 en affirmant que l'univers n'est pas statique et il y décrit trois modèles de « courbure » de l'univers. Évidemment, Einstein partisan d'un univers statique, sera en désaccord avec les conclusions de la théorie de Friedmann :

"The results concerning the non-stationary world, contained in [Friedmann's] work, appear to me suspicious. In reality it turns out that the solution given in it does not satisfy the field equations."

Indépendamment des travaux d'Alexander Friedmann, l'abbé George-Henri Lemaître, astrophysicien, mathématicien et membre du clergé belge, arrive aussi à la conclusion que l'univers est en expansion. Tout comme Friedmann, ces travaux sont basés sur les équations décrivant la relativité générale d'Einstein en utilisant la constante cosmique à différentes fins. Lemaître considère aussi les résultats des travaux de Slipher et des observations préliminaires de Hubble démontrant que le décalage vers le



Figure 5 - George Henri Lemaître en action

² La galaxie d'Andromède est en fait située à une distance de 2,4 et 2,9 millions d'années-lumière

³ Hubble n'aurait jamais utilisé le terme galaxie dans ses différents travaux

rouge pouvait démontrer le mouvement des galaxies. Il présente le résultat de sa théorie en 1927 aux *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*. Très peu de participants considèrent les travaux de Lemaître. Le très influent Einstein a même affirmé à propos de Lemaître et sa théorie :

“Your calculations are correct, but your grasp of physics is abominable.”

Déjà, deux scientifiques proposent une théorie qui va à l'encontre de la théorie de la relativité générale d'Einstein qui est le scientifique le plus crédible de l'époque. Il faut une preuve irréfutable.

Pendant ce temps, l'équipe de l'observatoire du mont Wilson dirigé par Hubble se concentre sur l'observation plutôt que les équations mathématiques. Avec l'aide du télescope Hooker, l'équipe d'Hubble poursuit les travaux de Slipher en mesurant le décalage spectral de plusieurs galaxies (« red shift » et « blue shift »). Un peu comme l'effet Doppler qui modifie la tonalité des sons à une certaine vitesse (par exemple, une sirène d'une voiture d'urgence), la lumière subirait un effet similaire qui se traduit par le décalage des raies spectrales émises en fonction de la vitesse et de la direction du



Figure 6 - Einstein et Hubble à l'observatoire du Mont Wilson en 1931

déplacement spectrale. En 1929, l'équipe de Hubble⁴ peut alors énoncer la loi de Hubble qui démontre la relation entre la vitesse de déplacement des galaxies en fonction de leur distance. Les observations de l'équipe de Hubble et sa loi démontrent que les galaxies s'éloignent ou se rapprochent les unes des autres remettant en question la nature statique de l'univers, mais aussi la théorie de la relativité générale d'Einstein énoncée il y a une vingtaine d'années. Hubble, qui aime bien la vie de jet set et les cercles mondains d'Hollywood, deviendra alors une célébrité autant dans le milieu mondain que scientifique. Suite à une visite à l'observatoire du mont Wilson, Einstein a dû se rendre à l'évidence que l'univers est dynamique et du même coup réaliser l'erreur de l'ajout de la « constante cosmique ».

Lemaître poursuit et approfondit ses travaux. Il propose en 1931 un modèle relativiste novateur de la croissance de l'univers à partir d'un atome primitif (« primeval atom⁵ ») permettant d'agencer les différentes théories et découvertes. Il aime bien représenter les premiers moments de sa théorie comme un « œuf cosmique » qui a explosé au moment de la création. Évidemment, plusieurs scientifiques ont vertement critiqué la proposition de Lemaître. Principalement à cause qu'elle allait à contre courant, la communauté scientifique demeurait convaincue que l'univers était plutôt statique (malgré les conclusions de Hubble) mais aussi à cause du lien étroit avec la création telle que décrite dans la Genèse. Arthur Stanley Eddington⁶ qui était, à l'instar d'Einstein, un vif critique de la théorie de Lemaître, est aussi devenu un supporter en remplaçant « l'explosion » de l'atome primaire par un processus d'expansion progressif qui s'accélère au fur et à mesure.

En 1933, alors qu'Einstein et Lemaître participent à une série de séminaires à travers la Californie, Einstein a publiquement démontré son support aux travaux de Lemaître en affirmant:

“This is the most beautiful and satisfactory explanation of creation to which I have ever listened.”

⁴ Lemaître aurait fait cette démonstration tel que démontrée par la traduction de ses travaux par Eddington quelques années plus tard.

⁵ A cette époque, l'existence du neutron, gravitant autour du noyau de l'atome, était encore inconnu. L'appellation de quantum primitif ou noyau primitif aurait été plus appropriée.

⁶ Eddington avait dirigé l'équipe qui a démontré la théorie de la relativité restreinte par l'observation de la courbure de la lumière lors d'une éclipse (1919). Il était un des rares mathématiciens à pouvoir interpréter les équations de la relativité d'Einstein.

Heureusement pour l'avancement de la cosmologie, la théorie de l'univers dynamique ne rallie pas toute la communauté scientifique et met en évidence plusieurs incohérences et plusieurs facettes demeurent inexplicables. Par exemple, selon la théorie de Hubble, l'univers serait âgé de 2 milliards d'années alors que les recherches géologiques de l'époque estiment l'âge de la Terre à 3.4 milliards d'années. Un groupe de physiciens incluant Arthur Milne et Fritz Zwicky continue à supporter la théorie d'un univers éternel et statique en offrant une explication alternative aux observations d'Hubble.

Une grande question de la communauté scientifique durant les années 1940 est liée à la création des éléments (hydrogène, hélium, carbone, fer, etc.) constituant l'univers - nucléosynthèse. La puissance des réactions nucléaires était déjà connue à l'époque grâce à la fameuse équation d'Einstein $E = mc^2$. Frits Houtermans et Robert d'Escourt Atkinson énoncent la théorie que le Soleil (donc, les étoiles) peut transformer l'hélium en fusionnant deux atomes d'hydrogène en fonction des conditions ambiantes (température et pression). Malheureusement, les travaux de l'allemand Houtermans se sont subitement terminés en 1937 suite à son emprisonnement par les Russes suite à son exil. Hans Bethe poursuit ces travaux pour approfondir la physique des atomes avec la publication de la « Bible de Bethe »



Figure 7 - Herman, Alpher et Gamow sortant de la bouteille de soupe cosmique (1949)

démontrant les réactions au sein des étoiles pour transformer l'hydrogène en hélium.

En 1934, Georges Gamow physicien russe en exil aux États-Unis se joint à l'équipe de l'université Georges Washington. Ses travaux visent à établir une relation entre la nucléosynthèse et la création de l'univers en fonction de la théorie de Lemaître. En étudiant les travaux de Houtermans et Bethe, il vient à la conclusion en 1940 que l'hélium devait être déjà présent dans l'univers, car les étoiles ne peuvent pas produire toute la quantité observée. Il suspecte une source différente des étoiles. En poursuivant son raisonnement, il conclut que les éléments plus lourds que l'hélium (comme le fer, carbone, azote, oxygène) ne peuvent pas être créés par les réactions connues des étoiles - les conditions de température et de pression ne sont pas suffisantes. En se basant sur les lois d'Hubble pour remonter aux premiers

moments de l'univers, il arrive à la conclusion que la pression et la température devaient être beaucoup plus élevées à cause de la grande densité de la matière sous sa forme la plus élémentaire. Il a baptisé cette « soupe cosmique » ylem (eye-lem) - un mot de l'ancien anglais signifiant : *“the primordial substance from which all matter is formed”*

Lorsque Gamow entreprend la lourde tâche de démontrer sa théorie en modélisant les réactions nucléaires impliquées, il ne fait aucun progrès - il était un piètre mathématicien. En 1945, il recrute un mathématicien fort prometteur : Ralph Asher Alpher qui ne peut entreprendre ses études au MIT à cause de ses origines juives. Gamow et Alpher ont bénéficié des nombreuses percées des travaux de recherche qui ont mené au développement de la bombe atomique américaine. En 1948, ils démontrent que la très grande présence de l'hydrogène et l'hélium est liée aux premiers instants de la création de l'univers. Probablement que pour des raisons de visibilité au sein de la communauté scientifique, Gamow décide d'associer Hans Bethe à la publication au grand désarroi d'Alpher - le principal contributeur à cette démonstration⁷. Après la démonstration du dynamisme de l'univers par Hubble, les travaux de Gamow et Alpher constituent un second argument en faveur de la théorie développée par Friedmann, Lemaître et Eddington.

⁷ La publication de Gamow, Alpher et Bethe est connue sous le nom « Alpha, Beta Gamma Paper (αβγ paper) selon l'initial du nom des auteurs.

Malgré que ses travaux ne permettent pas d'expliquer la création d'éléments contenant plus de 5 neutrons (bore, carbone, etc.), Alpher et Robert Hermann annoncent que la création de l'hydrogène et l'hélium a émis un « écho » d'une longueur d'onde d'environ un millimètre (micro-onde) qui devrait être encore détectable.

Malgré toutes ses découvertes et explication de la théorie d'un univers dynamique, une équipe de Britanniques propose une théorie basée sur un univers éternel et statique. Durant la 2^e Guerre mondiale, les spécialistes des RADARS Fred Hoyle, Thomas Gold et Hermann Bondi se rencontrent. Ils sont fascinés par les travaux d'Hubble et les implications reliées à l'expansion de l'univers. Leurs discussions vont à l'encontre de la théorie de l'univers en expansion à cause de la conclusion que l'univers serait plus jeune que la Terre. En 1946, ils proposent un modèle en expansion, mais éternel et essentiellement inchangé connu sous le nom de « Steady State Universe ». En considérant que l'univers est infini, il peut doubler de taille et demeurer toujours infini et inchangé, tant que de la nouvelle matière est créée entre les galaxies. En 1949, le trio publie officiellement leur théorie. Hoyle, convaincu que son modèle explique parfaitement l'expansion de l'univers, y va d'un test ultime en affirmant qu'il sera possible d'observer de jeunes galaxies uniformément dispersées dans l'univers, alors que la théorie de Lemaître prévoit l'existence de ces galaxies qu'aux confins de l'univers.

C'est Fred Hoyle lors d'une allocution à la radio de la BBC en 1942 qui a adjoint l'appellation de « Big Bang » pour ridiculiser la théorie défendue par Lemaître. Le modèle du « Steady State » a rallié plusieurs scientifiques de l'époque malgré les démonstrations favorables au « Big Bang ». Selon un sondage de 1959 effectué par la revue Science News Letter parmi trente-trois figures de proue du domaine de l'astronomie, onze sont des supporters avoués du « Big Bang », huit du « Steady State » et les quatorze autres sont indécis ou pensent que les deux modèles sont erronés. En l'absence de démonstration irréfutable, la communauté scientifique se fie à leur instinct et aux personnalités des principaux acteurs pour privilégier un modèle à un autre alors que les deux modèles sont contradictoires et incompatibles.



Figure 8 - Caricature de Fred Hoyle lors d'une émission à la BBC

La confrontation du « Big Bang » et « Steady State Universe »

La principale incohérence de la théorie du « Big Bang » est liée à l'âge de l'univers établi par les travaux de Hubble. Il est facile d'utiliser cet argument pour ridiculiser le « Big Bang », l'univers ne peut pas être plus âgé que la Terre (2 milliards d'années versus 3.4 milliards d'années). Walter Baade qui a bénéficié de l'utilisation du télescope Hooker du mont Wilson durant la 2^e Guerre mondiale pour étudier les étoiles variables de type RR Lyrae qui peuvent aussi être utilisées pour mesurer les distances tout comme les céphéides⁸. Il a rapidement réalisé qu'un télescope plus puissant serait requis, pour observer des étoiles RR Lyrae dans d'autres galaxies. S'inspirant de la catégorisation des étoiles en deux types, il a appliqué la même approche pour l'étude des céphéides. Grâce à ces travaux de recalibration de cet étalon, Baade a conclu en 1952 que l'univers est presque deux fois plus âgé (3.6 milliards d'années) que l'âge calculé par Hubble - tout juste plus jeune que la Terre⁹. Plus tard, un étudiant de Baade, Allan Sandage a revu la distance entre les galaxies en mesurant la magnitude des étoiles les plus brillantes des galaxies. Selon son hypothèse, l'étoile la plus brillante de la galaxie

⁸ D'ailleurs, la caractéristique des étoiles RR Lyrae de servir d'étalon fut identifiée par Williamina Fleming qui travaillait aussi dans le Harem de Pickering aux côtés de Henrietta Leavitt

⁹ L'âge de la Terre est aujourd'hui estimé à environ 4.54 milliards d'années.

d'Andromède devrait être aussi brillante que les étoiles des autres galaxies. En 1954, Sandage affirme que l'univers est âgé de 5.5 milliards d'années. Sandage poursuivra ces travaux pour conclure que l'univers est âgé de 10 à 20 milliards d'années.

Selon la théorie de l'équipe de Hoyle, les jeunes galaxies devraient être localisées uniformément dans l'univers, alors que le « Big Bang » en prévoit l'existence qu'aux confins de l'univers. Martin Ryle qui avait travaillé à la mise au point du RADAR durant la 2^e Guerre mondiale, entreprend d'améliorer la précision des mesures effectuée par radioastronomie en combinant plusieurs signaux (interférométrie). Ainsi, en 1948, Ryle entreprend un relevé des différentes sources d'émission d'ondes radio.

Majoritairement, ces objets n'émettent que très peu de lumière, donc impossible à observer par des télescopes. Suite au premier relevé (1C - First Cambridge), Ryle identifie environ cinquante sources

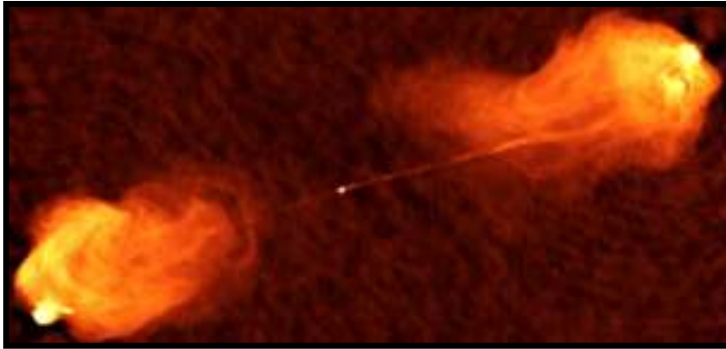


Figure 9 - Image haute résolution de source de radio de Cygnus (crédit NRAO/AUI)

distinctes d'onde radio. Ryle associe ces sources à un nouveau type d'étoiles alors que Gold affirme que ce sont des galaxies. Il existait une animosité entre Ryle et Hoyle, car ce dernier devait diriger l'équipe de radioastronomie de Cambridge alors que le poste fut octroyé à Ryle. Baade confirme, avec l'aide du télescope que les coordonnées de Ryle (Cygnus A) correspondent à une galaxie. Les astronomes ont alors associé les autres sources du relevé 1C à des galaxies dites radiogalaxies. Embarrassé, Ryle fervent défenseur du « Big Bang »

poursuit ses travaux avec des relevés plus exhaustifs (2C, 3C et 4C). En 1961, Ryle avait ajouté quelque cinq mille radiogalaxies à son catalogue. Il est incapable d'en déterminer la distance, mais en appliquant différents modèles statistiques sophistiqués, il semble indiquer que ces sources semblent communes qu'à de très grandes distances. L'équipe de Hoyle met en évidence les très grandes variations entre les relevés 2C/3C et 3C/4C nécessitant un nouveau relevé 5C. En 1963, Maarten Schmidt note qu'un signal émis par l'objet 3C273 (objet 273 du 3^e catalogue de Ryle) est tellement puissant qu'il doit provenir d'une étoile locale et non d'une galaxie lointaine. Il effectue diverses mesures dont le décalage vers le rouge (spectroscopie). À sa grande surprise, les résultats indiquent un décalage vers le rouge très important signifiant que l'objet est situé à une très grande distance - en fait, ça serait l'objet le plus éloigné jamais observé. Ce nouveau type d'objet est nommé QUASAR (Quasi Stellar Astronomical Radio Source). La majorité des QUASARS sont découverts uniquement à de très grandes distances tel que prédit par la théorie du « Big Bang ». Suite à cette découverte, les supporters de la théorie du « steady state » demeurent sans réponse. La radio astronomie aura joué un rôle déterminant dans cette confrontation, malheureusement, son créateur Karl Jansky décédé en 1950 ne pourra pas en voir la contribution.

L'argument massue pour les détracteurs du « Big Bang » est venu avec les travaux des duos Arno Penzias / Robert Wilson et Robert Dicke / James Peebles. Les recherches de Penzias et Wilson visent à développer des récepteurs d'ondes radio très sensibles pour des applications de radio astronomie. Il doit interpréter les différences sources d'émissions radio provenant de l'univers pour assurer une meilleure qualité des mesures. Il pointe sa gigantesque antenne en forme de « cor » vers une zone où aucune source d'émission radio n'est identifiée - or le récepteur enregistre une interférence ne pouvant être négligée. Résolue à minimiser les interférences de leur équipement, il élimine une à une les causes possibles en modifiant leur antenne et équipement, mais un niveau d'interférence demeure toujours présent. Le duo Penzias et Wilson ne réussissent pas à identifier la source de ces interférences. Déterminé à identifier cette source, il en discute avec Bernard Burke du MIT lors d'un colloque à Montréal qui les informe que l'équipe de Dicke/Peebles de Princeton pourrait expliquer la source de ses interférences. Dicke et Peebles affirment que le « Big Bang » a laissé un écho sous forme de radiation cosmique (CMB Cosmic Microwave Background) pouvant être détectée au niveau des micro-

ondes. En 1965, l'équipe Penzias/Wilson et Dicke / Peebles confirme le résultat de leur recherche par deux modestes publications dans « *Astrophysical Journal* ». Cette démonstration permet de clore le débat de la théorie du « *Steady State* » versus le « *Big Bang* ». Seule la théorie du « *Big Bang* » peut expliquer les radiations cosmiques observées par Penzias et Wilson. Gamow, Hermann et Alpher ont applaudi la démonstration, mais ils étaient fort déçus que leurs travaux ne fussent pas cités alors qu'ils en avaient annoncé l'existence plusieurs années avant Dicke et Peebles.

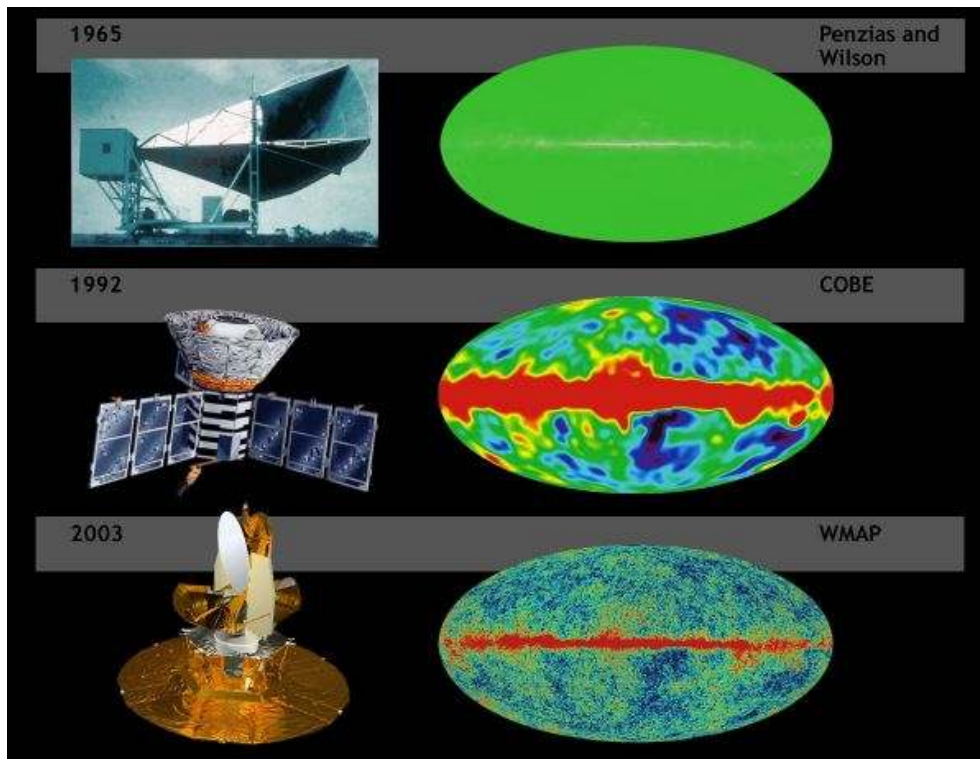


Figure 10 - Observation du fond diffus du cosmos

Par la suite, d'autres observations plus précises effectuées par des sondes COBE (COsmic Background Explorer) en 1992 et WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) en 2003 confirment les relevés de Penzias/Wilson avec une plus grande précision et toujours en accord en fonction des prévisions.

La suite de la théorie du Big Bang

Bien que la majorité de la communauté scientifique adhère à la théorie du « *Big Bang* », il en demeure plusieurs détracteurs même encore aujourd'hui. En 1993, Fred Hoyle entouré d'une nouvelle équipe (G. Burdidge et J.V. Narlikar) publie une évolution de son modèle qui tient compte des radiations cosmiques. La théorie du « *quasi-steady state* » énonce un principe que l'univers passe par des cycles d'expansion et de contraction expliquant la nature éternelle et « *stationnaire* » de l'univers. Ils y vont même de quelques prédictions qui démontreraient la validité de cette alternative vis-à-vis le « *Big Bang* ». Halton Arp propose aussi une alternative au « *Big Bang* » en s'attaquant à la notion du décalage vers le rouge des QUASARS. Cet ancien assistant de Hubble est bien connu dans les milieux d'astronomie pour l'inventaire des galaxies « *diffformes* » (« *Peculiar Galaxies* »). Arp démontre que le décalage vers le rouge est avant tout associé à l'âge de l'objet et ensuite à sa vitesse. Alors, les QUASARS ne seraient pas les objets les plus éloignés, mais parmi les plus jeunes de l'univers remettant en cause les fondements de la théorie du « *Big Bang* ». Certains incorporent des concepts qui pourraient paraître moins conventionnels comme la théorie de l'hydrinos du Dr. Randell Mills. Cette dernière est basée sur un état orbital de l'électron approché du noyau d'hydrogène permettant de générer une quantité très importante d'énergie menant à entrevoir la grande unification des forces.

Plusieurs scientifiques continuent à peaufiner la théorie du « Big Bang ». Entre autres, Alan H. Guth réécrit les premiers moments du « Big Bang » avec sa théorie de « l'inflation ». Cette phase du « Big Bang » se base sur le fait que la distance parcourue par la lumière au cours du temps croît plus vite que la distance entre deux objets. Ainsi, l'expansion de l'univers s'accélère plutôt que de ralentir. Cette théorie peut expliquer les observations de WMAP sur la platitude de l'univers (Flatness), l'horizon et l'existence de monopôle magnétique.

Il y a de nombreux scientifiques qui fondent beaucoup d'espoir dans la théorie des « supercordes » permettant d'expliquer l'avant « Big Bang ». Cette théorie permettrait de résoudre le problème le plus fondamental en physique théorique - grande unification (œuvre non terminée d'Einstein), ou, autrement dit, l'harmonisation de la théorie de la relativité générale, qui décrit la gravité avec la mécanique quantique qui décrit les trois autres forces fondamentales connues : électromagnétique, interaction nucléaire faible et forte.

Le « Big Bang » continue de susciter beaucoup d'intérêt dans des communautés scientifiques. De nombreux développements scientifiques se concentrent à l'observation de l'écho de la naissance de l'univers et autres phénomènes ou prédictions appuyées par la théorie de « Big Bang ». La mission FUSE (« Far Ultraviolet Spectroscopic Exploration ») menée conjointement par la NASA, ESA et l'Agence Spatiale Canadienne étudie la présence de deutérium (hydrogène lourd) créé au moment du Big Bang. Cette mission entamée en 1999 devrait se terminer au courant des derniers mois de 2008. Le satellite Planck, lancé par l'ESA en octobre 2008, vise à mesurer l'intensité et la polarisation du rayonnement cosmique en offrant des données beaucoup plus précises et sensibles que le satellite WMAP. La mission

LISA (« Laser Interferometer Space Antenna ») en 2011 étudiera les ondes gravitationnelles. Le télescope James Webb, prévu en 2013 permettra d'observer les premières galaxies de l'univers en infra rouge.

Conclusion

Le « Big Bang » est beaucoup plus qu'une simple explosion, c'est plutôt l'apparition simultanée de l'espace, du temps, de la matière et de l'univers. Il n'est pas de la théorie du « Big Bang » d'expliquer dans quoi l'univers s'étend et ni ce qu'il le précédait mais de décrire l'expansion de l'univers et la création des éléments.

Une autre dimension très intéressante de l'histoire du « Big Bang » est de constater l'évolution de la pensée scientifique à travers les différentes époques et de la très grande diversité des domaines scientifiques requis pour la suite des travaux.

Une chose est certaine, la magnifique histoire du « Big Bang » est loin d'être terminée. Ce domaine de recherche continue de susciter beaucoup d'intérêt de la communauté scientifique. Plusieurs missions de la NASA et ESA visent à amasser de nouvelles données pour poursuivre la compréhension de la naissance de

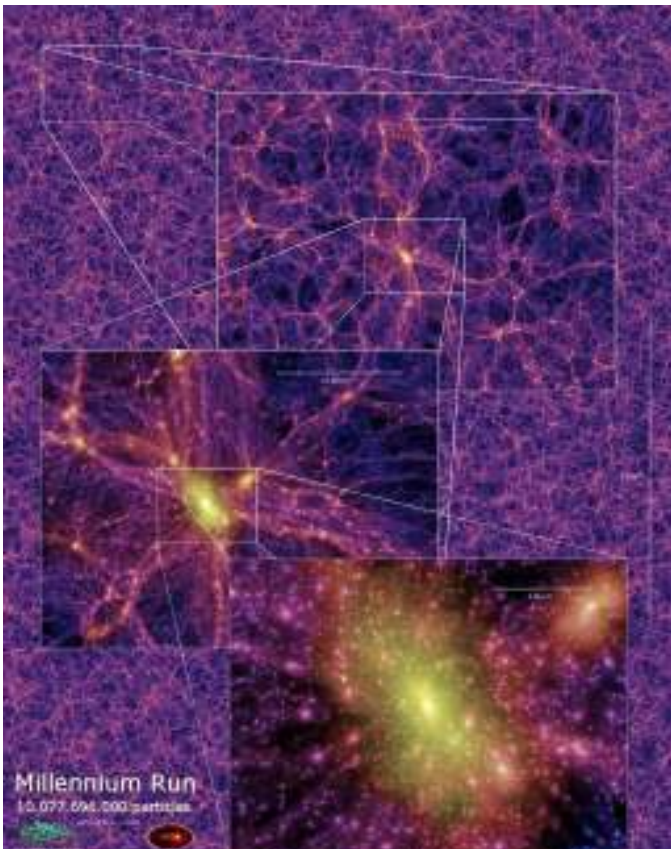


Figure 11 - L'univers selon la simulation du Millennium Simulation Project

l'univers. Il reste définitivement plusieurs chapitres à ajouter à cette superbe histoire. Assurément, elles seront toutes aussi intéressantes que les premières pages en plus de continuer à fasciner plusieurs générations.

Bibliographie

1. Brahma - Wikipedia, fr.wikipedia.org/wiki/Brahma
2. Phan Ku - home.earthlink.net/~jcorbally/eng203/rphanku.html
3. Bible de Jérusalem, www.biblia-cerf.com/BJ/gn1.html
4. DISCOURS DE JEAN-PAUL II AUX PARTICIPANTS À LA SESSION PLÉNIÈRE DE L'ACADÉMIE PONTIFICALE DES SCIENCES, www.vatican.va/holy_father/john_paul_ii/speeches/1992/october/documents/hf_jp-ii_spe_19921031_accademia-scienze_fr.html
5. Créationnisme - Wikipedia, fr.wikipedia.org/wiki/Créationnisme
6. Friedrich Bessel - Wikipedia, en.wikipedia.org/wiki/Friedrich_Bessel
7. [Eclipse will test Einstein's Theory](http://www.nytimes.com/1922-09-05), New York Times, 5 septembre 1922
8. Mount Wilson Telescope, www.mtwilson.edu/index.php
9. NCR Transcript of the Great Debate, BULLETIN OF THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL Vol.2, Part 3, May, 1921, Number 11, pp 171-217, THE SCALE OF THE UNIVERSE, antwrp.gsfc.nasa.gov/htmltest/gifcity/cs_nrc.html
10. The 'Great Debate': What Really Happened, Michael A. Hoskin, Editor, Journal for the History of Astronomy, 7, 169-182, antwrp.gsfc.nasa.gov/htmltest/gifcity/cs_real.html
11. Bibliographie de Alexander Friedmann, www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Friedmann.html
12. [The 'Great Debate': What Really Happened](http://www.jha.ac.uk/journal-for-the-history-of-astronomy/7/169-182), Michael A. Hoskin, Editor, Journal for the History of Astronomy, 7, 169-182
13. The radial velocity of the Andromeda Nebula, Lowell Observatory Bulletin, vol. 1, pp.56-57, Slipher, V. M., adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-bib_query?bibcode=1913LowOB...1b..56S&db_key=AST&data_type=HTML&format=&high=448f04e38822894
14. Edwin Hubble, the Discoverer of the Big Bang Universe, books.google.com/books?id=ttEwkEdPc70C&printsec=frontcover&source=gbs_summary_r&cad=0
15. A RELATION BETWEEN DISTANCE AND RADIAL VELOCITY AMONG EXTRA-GALACTIC NEBULAE, Edwin Hubble, Proceedings of the National Academy of Sciences, Volume 15 : March 15, 1929 : Number 3, http://antwrp.gsfc.nasa.gov/diamond_jubilee/d_1996/hub_1929.html
16. Biographie de Alexander Friedmann, www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Friedmann.html
17. Biographie de George-Henri Lemaître, www.mlhanas.de/Physics/Bios/GeorgesHenriLemaitre.html
18. Biographie d'Arthur Eddington, www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Eddington.html
19. The Deflection of Light by the Sun's Gravitational Field: An Analysis of the 1919 Solar Eclipse Expeditions, <http://www.newtonphysics.on.ca/EINSTEIN/Appendix2.html>
20. Studies in the History of General Relativity: Based on the Proceedings of General Relativity, books.google.com/books?id=vDHCF_3vIhUC
21. 1951 December 14 meeting of the Royal Astronomical Society, The Observatory, Vol. 72, p. 1-8 (1952), adsabs.harvard.edu/full/1952Obs....72..169
22. Penzias and Wilson's Discovery is One of the Century's Key Advances, www.bell-labs.com/project/feature/archives/cosmology/
23. A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s., Penzias & Wilson, Astrophysical Journal, 1965, articles.adsabs.harvard.edu/full/1965ApJ...142..419P
24. Cosmic Black-Body Radiation, Dicke & Peebles, Astrophysical Journal, 1965 articles.adsabs.harvard.edu/full/1965ApJ...142..414D/0000419.000.html
25. A quasi-steady state cosmological model with creation of matter, Hoyle, F.; Burbidge, G.; Narlikar, J. V., Astrophysical Journal, Part 1, vol. 410, no. 2, p. 437-457, adsabs.harvard.edu/abs/1993ApJ...410..437H
26. The quasi-steady state cosmology: theory and observations, Narlikar, J. V., Pramāna, Vol. 53, No. 6, p. 1093 - 1104, adsabs.harvard.edu/abs/1999Prama..53.1093N

27. Science: Return of the steady state Universe, New Scientist, 27 February 1993, www.newscientist.com/article/mg13718622.300-science-return-of-the-steady-state-universe-.html
28. Redshift, Halton Arp, www.electric-cosmos.org/arp.htm
29. Redshift of new galaxies, Halton Arp, 21 August 1998 , arxiv.org/PS_cache/astro-ph/pdf/9812/9812144v1.pdf
30. Inflation and the New Era of High-Precision Cosmology, Alan H. Guth, mit physics annual 2002, web.mit.edu/physics/alumniandfriends/physicsjournal_fall_02_cosmology.pdf
31. Wikipedia - Inflation cosmique, fr.wikipedia.org/wiki/Inflation_cosmique
32. Plank, the scientific program, ESA, [www.rssd.esa.int/SA/PLANCK/docs/Bluebook-ESA-SCI\(2005\)1_V2.pdf](http://www.rssd.esa.int/SA/PLANCK/docs/Bluebook-ESA-SCI(2005)1_V2.pdf)
33. LISA Overview, ESA, www.esa.int/esaSC/120376_index_0_m.html
34. Le roman du Big Bang : La plus importante découverte scientifique de tous les temps, Simon Singh
35. The Day Without Yesterday: Lemaitre, Einstein, and the Birth of Modern Cosmology, John Farrell
36. The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins, Guth, Alan, 1997