

Rapport TPE 2004
Naissance et devenir de l'univers

Emmanuel Branlard

Loïc Molines

Romain Marcombes

Juliette Demerson

Juliette Demerson
Romain Marcombe

Loïc Molines
Branlard Emmanuel

TPE : Thème : Croissance



Sujet :

Naissance et Devenir de l'Univers



Année : 2004

Classe : T^{ale} S3

Naissance et Devenir de l'Univers

Notre connaissance de l'Univers repose actuellement sur différents modèles. La théorie adoptée par le monde scientifique est présentement la théorie du Big-bang. Elle permet d'établir une image standard de l'Univers. En effet, elle apporte des éclaircissements sur l'origine de la matière, de l'Univers, et des fins probables auxquelles celui-ci est voué. Malgré tout, on ne peut être sûr de ce qui s'est réellement passé il y a 15 milliards d'années...

Sommaire :

I- La Naissance d'une théorie : Le Big-bang page 2

II- La Vie de L'Univers à ses débuts page 5

- 1) L'Univers Primordial
- 2) L'ère de la Matière

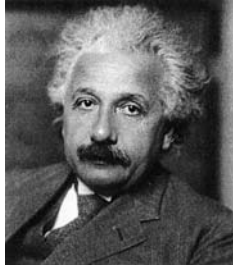
III- L'Evolution de l'Univers page 11

- 1) L'organisation de l'Univers après 300 000 ans
- 2) La Masse de l'Univers
- 3) Les différents modèles de l'Univers
- 4) La critique de ces modèles

- Le Big-bang est-il une certitude ? page 16
- Bibliographie
- Matériel nécessaire à l'exposé oral
- Annexes

I- La Naissance d'une théorie : Le Big-bang

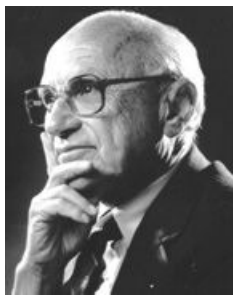
La théorie du Big-bang est le fruit de la réflexion de divers scientifiques pendant près d'un demi-siècle.



Albert Einstein :

Tout commence en 1917 avec le célèbre physicien Albert Einstein.

Après avoir établi sa théorie sur la **relativité générale**, Einstein se rend compte, d'après ses calculs, que l'Univers est en expansion. Or cette vision est contraire à l'idéologie scientifique de l'époque. En effet, le recul historique montre aujourd'hui l'aspect dogmatique des critiques résultant de la difficulté de remettre en cause un Univers éternellement identique à lui-même, sans évolution. **Réfutant l'expansion de l'Univers, Einstein préfère nier ses calculs.**



Alexander Friedmann :

En 1922, le scientifique Alexander Friedmann reprend les calculs d'Einstein et démontre ainsi la nécessité théorique de **l'expansion de l'Univers**. Ce fut également le premier à évaluer approximativement l'âge de l'Univers à 10 milliards d'années. Ce résultat est plutôt proche de l'évaluation actuelle : 15 milliards d'années.



Edwin Powell Hubble :

En 1927, l'astrologue Hubble réalise de nombreuses observations de galaxies. Il compare le spectre d'absorption de l'hydrogène, effectué en laboratoire sur la Terre et également observé à partir de la lumière des galaxies qui traverse un nuage d'hydrogène dans l'espace. Il remarque alors que **le spectre des galaxies est décalé vers le rouge**, c'est-à-dire qu'elles émettent de la lumière avec une longueur d'onde plus grande. Or d'après **l'effet Doppler**, plus un objet source s'éloigne, plus la longueur d'onde de la lumière qu'il émet augmente. Il en déduit alors que **toutes les galaxies nous fuient** et leur vitesse d'expansion est proportionnelle à leur éloignement. Il élabore alors la loi suivante :

$$V = H * D$$

V : vitesse de la galaxie

D : distance à laquelle elle se trouve par rapport à la Terre

H : constante de Hubble égale à 75km / sec / mégaparsec (1 parsec = 3.262 années lumière parallaxe seconde)

Remarque : il ne faut pas croire que les galaxies se déplacent. Il faut prendre cet éloignement comme une conséquence de l'expansion de l'Univers. Si l'on remonte le fil du temps, on est forcé d'admettre qu'autrefois les galaxies étaient plus proches, toute la matière était concentrée dans un tout petit volume. Ceci est la première preuve formelle du Big-bang.

Mais certains scientifiques réfutent cet argument. Ils pensent que le décalage vers le rouge de la lumière des galaxies peut s'expliquer par la fatigue des photons qui traversent les nuages et qui auraient alors une longueur d'onde plus grande. Mais, si les photons ralentissent, c'est qu'ils seraient déviés par certaines particules. Leur image devrait alors être de plus en plus floue en fonction de leur éloignement. Cela est totalement faux, **la théorie du Big-bang reste la plus cohérente.**



Georges Lemaître :

En 1931, Lemaître, prêtre belge, reprend les calculs de Einstein ainsi que les observations de Hubble et publie un article qui **émet l'hypothèse d'un commencement de l'Univers**. Il constate que l'expansion de l'Univers entraîne sa dilution. Une même quantité de matière, entraînée par l'expansion, se trouve en effet dans un volume de plus en plus grand si bien que la densité moyenne de l'Univers diminue avec le temps, ce qui implique qu'elle fut d'autant plus élevée que l'on remonte loin dans le passé. Si l'on passe à rebours le film de l'extension des galaxies, on verra **toute la matière se concentrer dans un gros atome primitif**. Selon lui, le diamètre de l'atome primitif est d'environ 100 millions de kilomètres.

De plus, Lemaître qualifiait cet atome de **froid**. Il a donc émis l'idée révolutionnaire du commencement de l'Univers. Le scientifique a commis, tout de même, deux erreurs. En effet, la température de l'atome primitif est extrêmement élevée, de plus, l'atome primitif avait un diamètre quasi nul.



Georges Gamow :

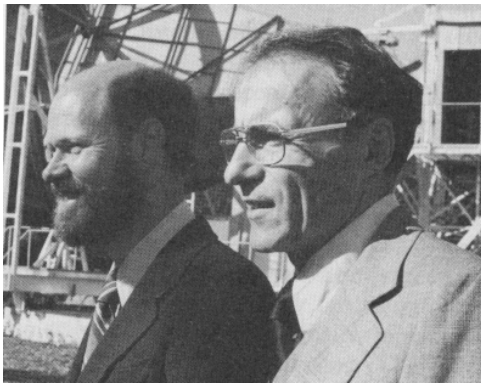
En 1948, Gamow a réussi à prouver que l'**Hélium (He)** et l'**Hydrogène (H)** présents et abondants dans l'Univers n'ont pu être **formés que pendant une phase d'importante activité thermonucléaire**, dans un Univers où la température et la densité étaient très différentes. La température de l'Univers primitif était alors trop élevée pour que des atomes d'Hydrogène, voire des protons (qui en constituent le noyau), aient pu exister à cette époque. Il existait alors seulement des particules alors plus élémentaires : **Les Quarks**, qui se sont recombinaient plus tard en protons et neutrons lorsque au cours de l'expansion, la température a diminué.



Fred Hoyle :

Contrairement à Gamow, le cosmologiste britannique Hoyle pense que la matière de l'Univers se forme continuellement au cœur des étoiles et par conséquent **réfute la théorie de l'atome primitif**.

En 1950, afin de tourner en ridicule le scénario de Gamow, **il invente l'expression Big-bang** : le grand bang.



Arno Penzias et Robert Wilson :

En 1960, quelques physiciens de Princeton ont pu prédire que, si l'histoire de l'Univers s'est effectivement déroulée conformément au modèle du Big-bang, il doit subsister aujourd'hui des vestiges de cette époque où l'**Univers était très chaud et très condensé**, sous forme de **rayonnement « fossile »** observable. Ce rayonnement électromagnétique dit cosmologique devrait baigner l'Univers d'ondes radio.

En 1964, alors que ces physiciens commençaient à construire un appareillage pour tenter de le détecter, deux collègues radioastronomes Penzias Arno et Robert Wilson le découvrent par hasard en testant une antenne destinée à la radioastronomie. Les propriétés de ce rayonnement se **révèlent en accord avec les prédictions du modèle du Big-Bang**. Ce dernier argument est le plus convaincant auprès de la communauté scientifique.

*Antenne des laboratoires Bell,
élaborée par Penzias et Wilson*



Suite à leur travaux, Penzias et Wilson reçurent **le Prix Nobel** de Physique en 1978, bien que leur découverte fut fortuite en comparaison des **laborieuses recherches** accomplis par Einstein, Hubble, Gamow, Lemaître, Hoyle, Friedman...

II- La vie de l'Univers

1) L'Univers Primordial

Le Big-bang ne peut être décrit selon les équations connues de la physique qu'à partir de 10^{-6} seconde après son origine. Entre 10^{-43} et 10^{-6} seconde, le Big-bang n'est qu'un ensemble d'hypothèses.

La physique repose sur un principe de transformation : "Rien ne se perd, tout se crée". Comment expliquer alors la création de matière à partir du néant ?

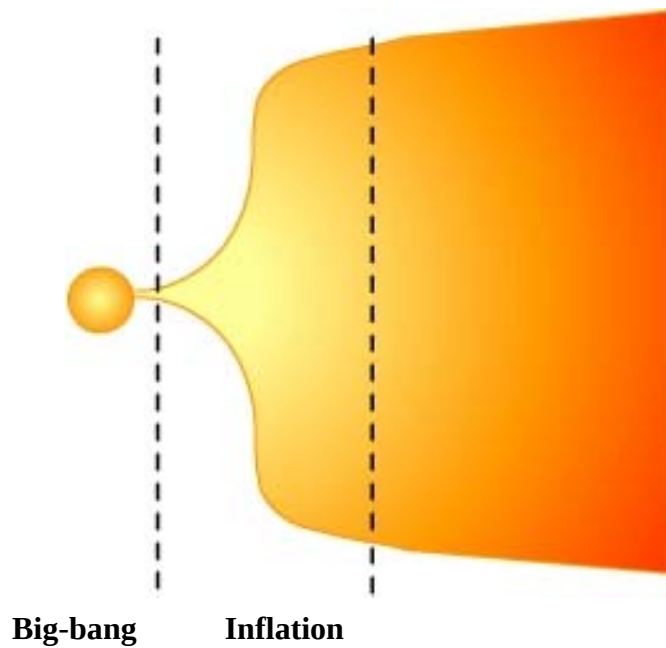
- A $t=0$ s : Contrairement aux idées reçues, Le **Big-bang n'est pas une explosion** et n'a fait aucun bruit ; il n'y a pas eu explosion de matière. L'espace a plutôt gonflé de manière "explosive".
- A $t=10^{-43}$ s : **Le temps de Planck** :
On définit celui-ci, comme étant, l'Horizon du temps au-delà duquel la physique ne sait plus décrire ni l'expansion, ni l'état de l'Univers.



Au temps de Planck, ce qui deviendra notre Univers possède seulement 10^{-33} cm de diamètre, c'est-à-dire 10 millions de milliards de fois plus petit qu'un atome d'hydrogène.

Sa température est alors de 10^{32} °Kelvin ($0^\circ\text{K} = -273^\circ\text{C}$).

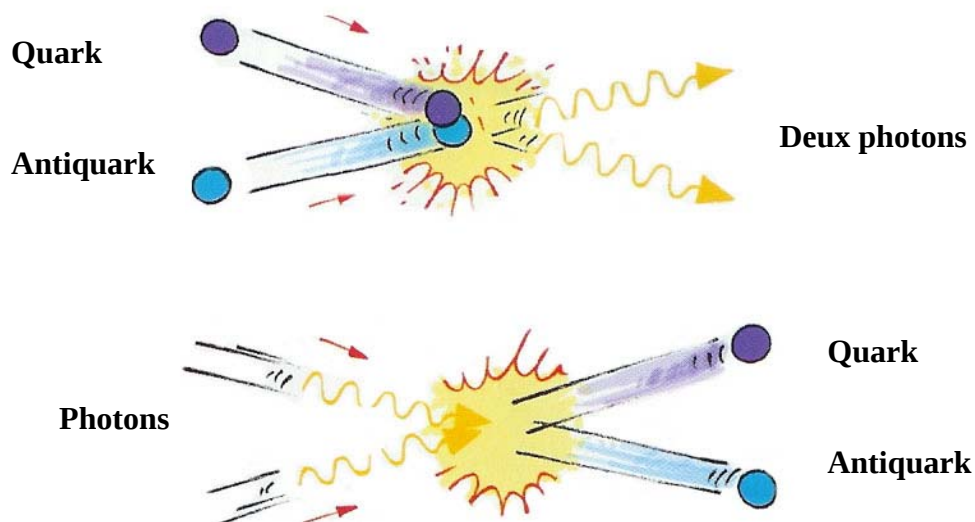
- De $t=10^{-36}$ s à 10^{-33} s :
Température : 10^{28} °K : Cette période correspond à la **phase hypothétique d'expansion très rapide** qu'aurait connu l'Univers pendant un espace de temps extrêmement bref avant que ne s'installe le régime d'expansion actuelle. Cette phase est appelée **inflation** par le physicien Allan Guth. Le volume **de l'Univers augmenterait d'un facteur 10^{27}** (ou 10^{50} selon les sources) alors que durant les 15 milliards d'années suivantes, son volume n'augmentera que d'un facteur 10^9 .
A la fin de la période d'inflation, vers 10^{-32} s après le Big-bang, l'Univers a environ la taille d'une orange et sa température est de 10^{25} °K.



C'est à ce moment que les premières particules de **quarks et d'antiquarks** surgissent du **vide quantique** dans un bain de photons.

- De $t=10^{-33}$ s à 10^{-6} s :

Jusqu'à 10^{-33} s l'antimatière et la matière coexistaient. En effet, la température était assez élevée afin d'assurer un équilibre entre le processus de **matérialisation** (création) et d'**annihilation** (disparition) des particules et antiparticules.

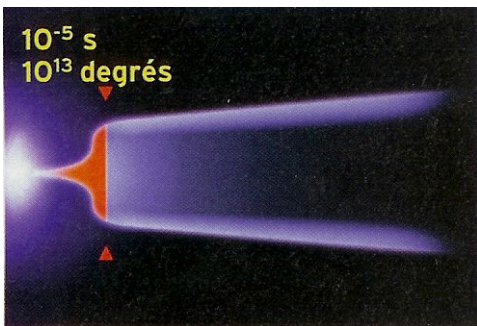


Lorsqu'une **particule** (quark) **rencontre son antiparticule** (antiquark), leur deux masses se convertissent intégralement en énergie (émission de photons) : c'est le phénomène de l'**annihilation** que les physiciens peuvent reproduire dans les accélérateurs de particules.

Il s'agit d'ailleurs du seul phénomène où toute une masse est transformée totalement en énergie selon la formule d'Einstein $E=mc^2$. Cette énergie colossale dégagée par une telle rencontre particule-antiparticule peut rapidement se retransformer en d'autres particules : ce phénomène inverse est la **matérialisation de l'énergie**.

- A 10^{-33} s, la **diminution de la température** ne permet plus la matérialisation de l'énergie après annihilation entre particules et antiparticules. Lorsque l'Univers s'est refroidi, il y avait un **milliard et une particule pour un milliard d'antiparticules**. Cette différence infime explique la **victoire de la matière face à l'antimatière**. Toute la matière qui résulte de cette "bataille" n'a pas changé jusqu'à aujourd'hui, elle s'est juste réorganisée.

- De $t=10^{-5}$ à $t=1$ s : La phase des hadrons



Température : 10^{13}°K .

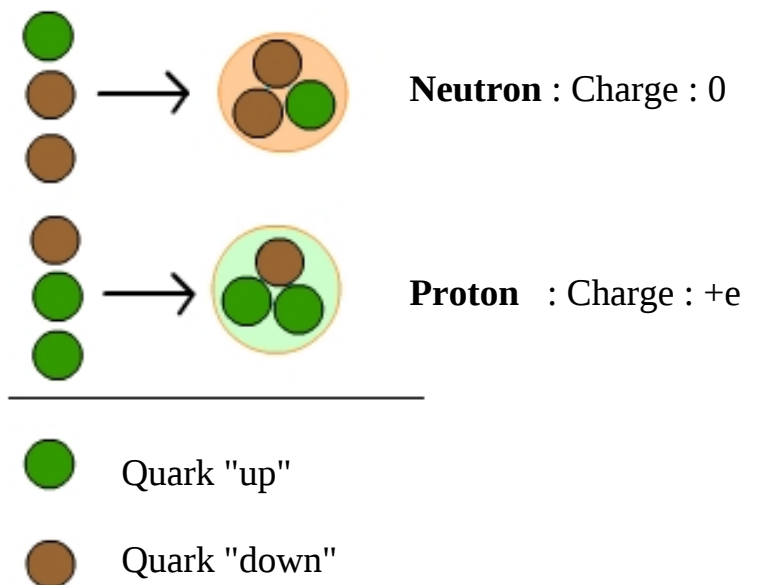
Le volume de l'Univers est équivalent à celui du système solaire actuel.

La baisse de la température fait que les quarks n'ont plus assez d'énergie pour exister seuls : **L'interaction forte peut alors grouper les quarks en hadrons :**

3 quarks forment des **baryons** : les **protons** et les **neutrons** sont alors formés.

Modélisation de la formation de hadrons.

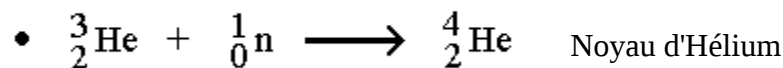
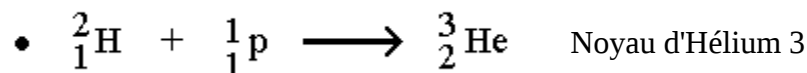
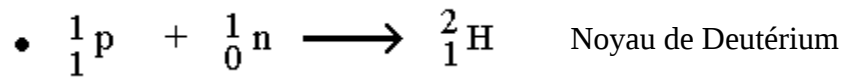
Un hadron est constitué de trois quarks



- De $t=1s$ à $t=3s$: Formation des premiers noyaux d'atomes

La température chute à 10^6 °K : elle est suffisamment basse pour que les protons et neutrons puissent s'assembler durablement.
C'est à cette époque que **les noyaux légers ont commencé à se former**.

Les protons seuls forment des noyaux d'hydrogène H.
Les protons et neutrons qui se rencontrent, peuvent aussi s'assembler pour former des noyaux d'Hélium 3 et d'Hélium 4 suivant les équations suivantes :

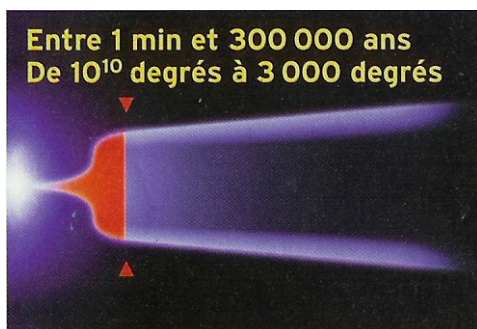


Cette phase se nomme la **nucléosynthèse primordiale**.

La matière de l'Univers se compose alors de noyaux. A cette époque, **les électrons sont toujours libres** car très énergétiques. Ils ne se lient donc pas encore aux noyaux pour former des atomes.

Cette période de formation va **déterminer les proportions actuelles de la composition de l'Univers** (90% d'hydrogène, 9% d'hélium, 1% d'autres atomes). 99% de la matière présente de nos jours s'est formée à cette lointaine époque. Le 1% restant, est constitué de tous les atomes ayant plus de 2 protons dans leur noyau (parmi eux le carbone, l'azote, et l'oxygène dont nous sommes constitués). Tous ces atomes complexes seront formés dans les réactions thermonucléaires du cœur des futures étoiles.

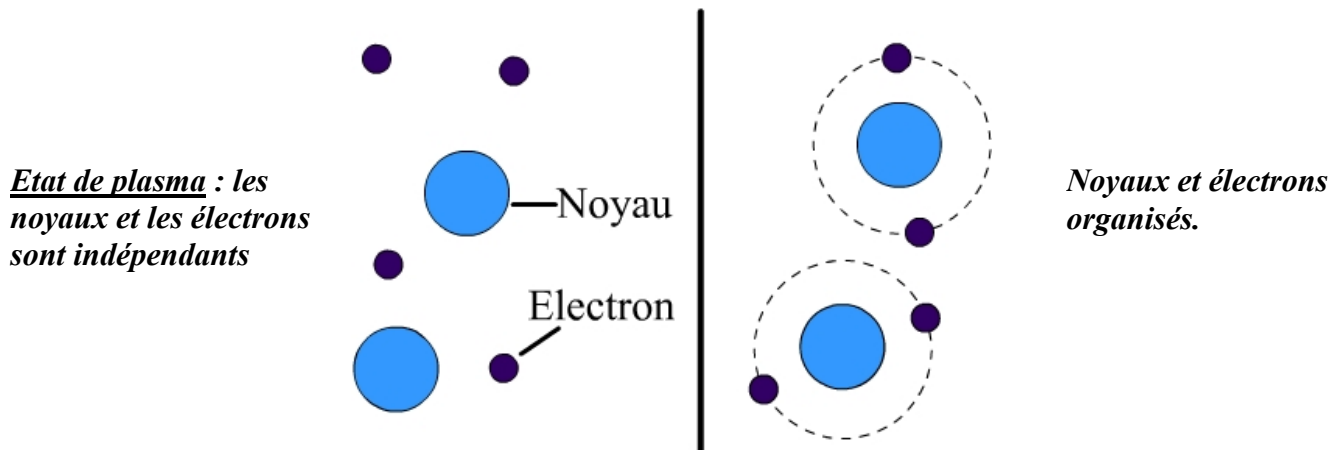
2) L'ère de la Matière



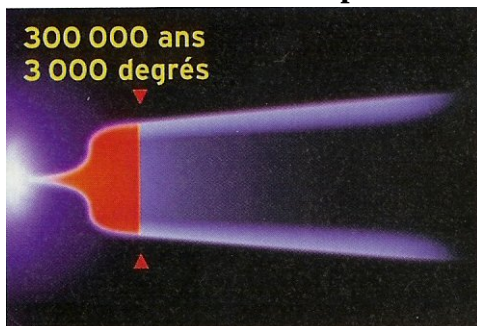
Jusque là, les photons étaient continuellement émis et absorbés par les particules environnantes.

- A t = 300 000ans : la **Recombinaison**

En dessous de **3000° K**, un **plasma apparaît** ; plasma composé d'électrons et de noyaux qui se recombinent en atomes car les particules n'ont plus assez d'agitation thermique : **c'est la recombinaison**. Le terme recombinaison couramment utilisé en cosmologie est trompeur. En effet dans le modèle du Big-bang, les particules n'ont jamais formé d'atomes avant cette date : il s'agit plutôt d'une première combinaison de la matière.



- **Formation des premiers atomes**



300000 ans après le Big-bang, **les électrons se sont associés avec des noyaux** : c'est la recombinaison (vue ci-dessus). Cette organisation a permis la **libération de photons**, jusqu'alors capturés par ces électrons. Ces photons avaient été préalablement créés par les chocs entre particules et antiparticules.

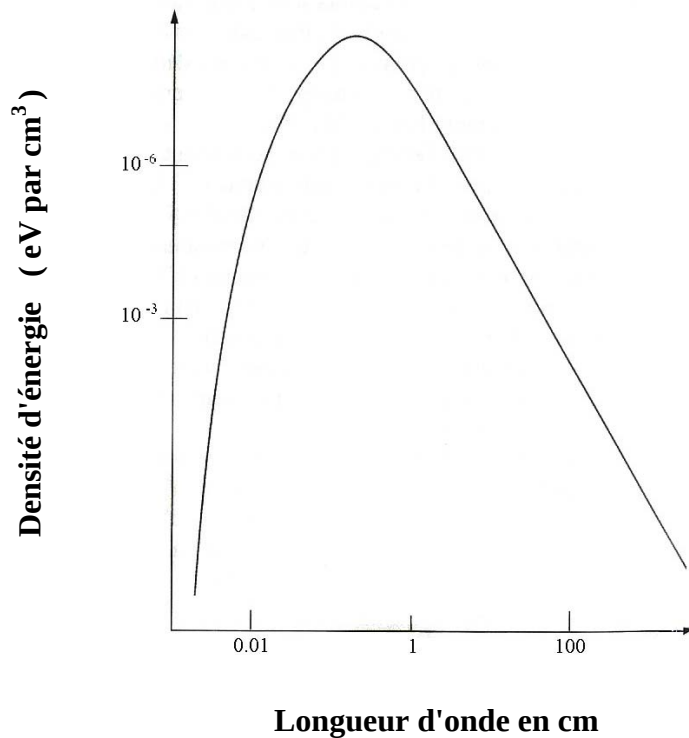
- **L'Univers devient transparent**

Ce découplage entre photons et matière a permis à l'Univers, jusqu'alors opaque, **de devenir transparent**. Il est donc impossible d'observer ce qui s'est passé avant cette date.

Cette lumière libérée et provenant de tout point de l'espace est encore observable aujourd'hui. Elle est appelée **rayonnement cosmologique** ou **rayonnement fossile**.

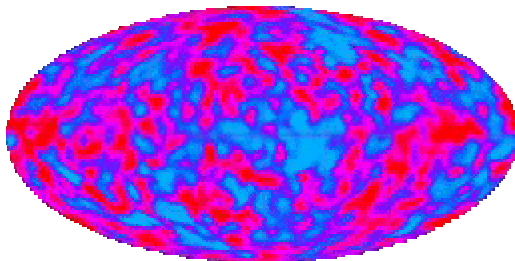
Actuellement, ce rayonnement cosmologique a une température de l'ordre de **3° Kelvin** soit **1000 fois moins qu'à l'origine**. La température est

inversement proportionnelle à la longueur d'onde. Or les longueurs d'onde augmentent dans la même proportion que l'Univers. On peut en déduire que l'Univers à l'époque de **la recombinaison devait être 1000 fois plus petit qu'aujourd'hui.**



Spectre du Rayonnement Cosmologique.

A l'origine, le rayonnement se situait dans le domaine du visible ($\lambda \approx 10^{-6}$ m). Désormais, il se trouve dans le domaine des micro-ondes ($\lambda \approx 10^{-3}$ m, d'où le facteur 1000 reliant la taille primitive et la taille actuelle de l'univers).



L'Univers vers 300 000 ans après le Big-bang, d'après le satellite COBE - La température du Rayonnement fossile est de 2.726 K mais présente toutefois des microvariations de température (rouge ou bleue)

III- L'Evolution de l'Univers

1) L'organisation de l'Univers après 300 000 ans :

Quelques centaines de milliers d'années après le Big-bang, on peut supposer que les **premières étoiles sont nées**. A leur mort des **nébuleuses sont apparues**, où des milliers d'étoiles ont pu se former, dont le soleil et par la même occasion, tout notre système solaire et ses planètes.

Un milliard d'années suffiront pour que certains de ces atomes d'hydrogène (75%) et d'hélium (23%) se regroupent sous l'effet de la gravité : des régions plus denses, "grumeaux de la soupe originelle", apparaissent dans l'espace. La température y augmente sous l'effet de la concentration gravitationnelle. Les premières étoiles et galaxies apparaissent.



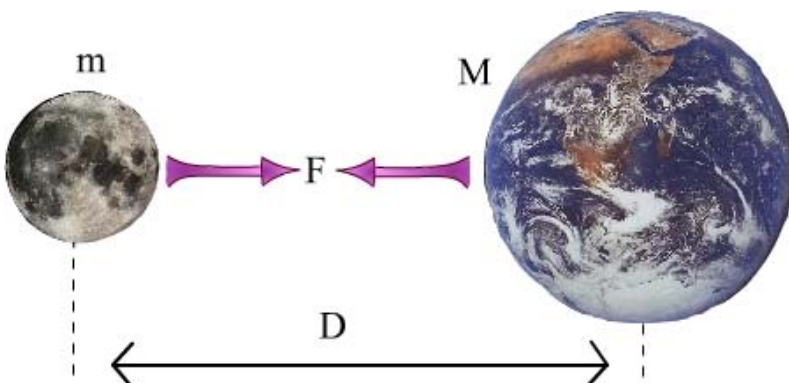
Nébuleuse du Crabe

Galaxie en spirale
(NGC 3314)



2) La Masse de l'Univers

L'Univers présente deux phénomènes principaux en opposition : celui de l'**expansion** et celui de la **gravitation**. L'expansion résulte de notre Big-bang, l'attraction est le phénomène physique majeur qui régit l'espace-temps tout entier.



Force gravitationnelle

$$F = G * m * M / D^2$$

F : Force gravitationnelle
G : Constante de Gravitation universelle

D : distance entre les masses M et m

Il est couramment admis que **l'avenir de l'Univers dépend de sa masse**. Il existe une masse limite à laquelle correspond un état d'égalité entre la force de gravitation et la force liée à l'expansion.

Il est donc intéressant d'essayer d'évaluer la masse de l'Univers et de vérifier si elle se trouve au-delà ou non de la masse limite.

Pour cela, les scientifiques s'intéressent au **deutérium** (isotope d'hydrogène ayant un neutron en plus). En cosmologie, on considère le deutérium comme **indicateur le plus fiable de la quantité de matière de l'Univers**. En effet l'hydrogène est le principal élément de l'Univers, et l'on estime que la quantité deutérium est inversement proportionnelle à celle de protons et d'électrons. Ainsi, moins on a de deutérium, plus on a de matière dans l'Univers. Or, récemment, on a pu évaluer grâce au télescope spatial infrarouge ISO la **quantité de deutérium d'hydrogène**, principal réservoir de deutérium de l'Univers aux environs de la nébuleuse d'Orion (à 1500 années lumières). Notons que cette région de l'Univers est très représentative de l'Univers en général car très riche en éléments divers.

Ainsi, les résultats des recherches ont montré la présence d'un **atome de deutérium pour cent mille atomes d'hydrogène**.

Rapport observé : 1 deutérium pour 100 000 hydrogènes

Si ce rapport avait été du type 1 pour 1 million, il y aurait plus de particules élémentaires en général, et donc on aurait dépassé la masse critique. Ce n'est pas le cas, la marge est d'ailleurs assez grande d'autant plus que les approximations ont été faites en faveur d'un Univers fermé. Pour ainsi dire, notre Univers ne devrait pas d'effondrer sur lui-même. La première pensée de la majorité des scientifiques, c'est à dire que l'Univers est ouvert, semble donc être la bonne.

3) Les Différents Modèles de l'Univers

Alexandre Friedmann s'intéressa aux différents modèles de l'Univers. Il montra qu'il pouvait exister en théorie **trois différents types d'Univers** qui se distinguent par leur **courbure** et par leur **évolution dans le temps**.

- **L'Univers ouvert**

Cette première hypothèse suppose que l'Univers poursuivrait **éternellement son extension**. Dans ce cas, les amas de galaxies continueraient de s'éloigner les uns des autres. Les galaxies épuiserait alors elles-mêmes les réserves de poussière et de gaz qui leur servent à fabriquer des étoiles. Elles deviendraient alors de gigantesques

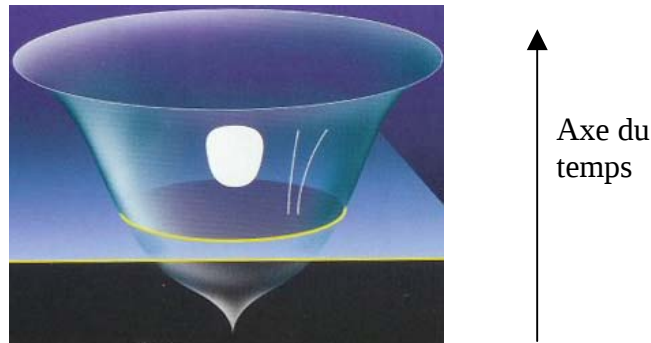
objets sombres ne contenant plus que des débris stellaires comme des étoiles à neutron et des naines blanches.

Cette théorie ne serait confirmée que si la valeur de **la densité de matière de l'Univers était inférieure à la valeur de la "masse critique"** (10^{-30} gramme de matière par mètre cube, c'est-à-dire trois atomes d'Hydrogène par mètre cube).

En effet, au dessous de cette valeur, **l'attraction gravitationnelle entre les galaxies serait trop faible pour stopper l'extension de l'Univers.**

On considère alors que l'Univers serait une surface infinie en forme de **selle de cheval**, ou encore un **espace hyperbolique**. Deux parallèles ne vont jamais se croiser, au contraire, elles vont diverger et s'éloigner indéfiniment l'une de l'autre.

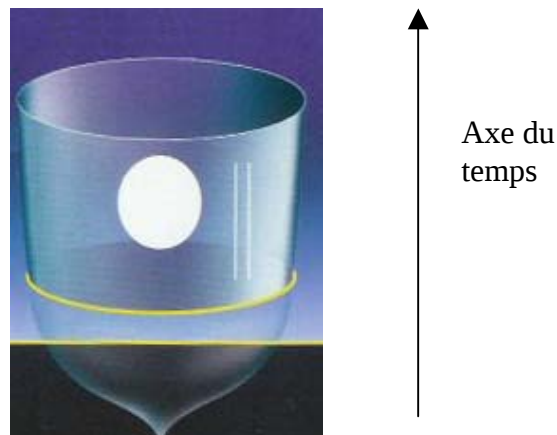
*Evolution de l'Univers
si celui-ci est "ouvert".*



- [L'Univers plat](#)

Cette deuxième hypothèse pour l'avenir de l'Univers se produirait si **la densité de matière de l'univers était égale à la valeur critique**. Auquel cas, l'extension de l'Univers ralentirait du fait de la gravitation et l'Univers tendrait vers **une quasi immobilité**. Dans un tel Univers, la géométrie pourrait être similaire à celle d'un plan, deux parallèles ne se rencontrent donc jamais.

*Evolution de l'Univers
si celui-ci est "plat".*



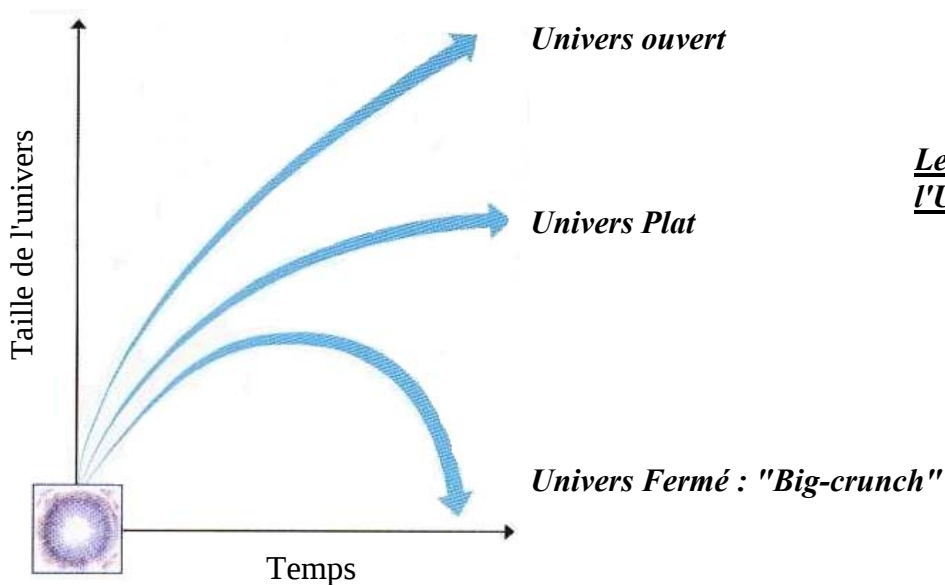
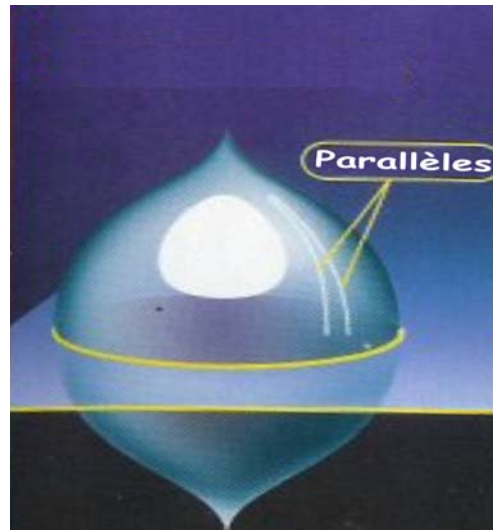
- [L'Univers fermé](#)

La troisième théorie, elle, ne se produirait que si **la masse de matière de l'Univers était supérieure à la masse critique**. L'extension de l'Univers serait alors ralentie puis stoppée, et enfin les galaxies finiraient par fusionner et l'Univers tout

entier deviendrait simplement une masse d'étoiles. L'Univers finirait par se trouver dans une situation presque analogue à celle de l'époque du Big-bang, avant de disparaître à nouveau dans le néant. **Cet effondrement de l'Univers sur lui-même est appelé " Big-crunch ".**

On fait actuellement l'hypothèse que Big-bang et Big-crunch sont deux phénomènes qui s'enchaînent infiniment. Dans cet Univers fermé, la forme de l'Univers est comparable à une sphère. Deux parallèles finissent toujours par se rejoindre.

Evolution de l'Univers si celui-ci est "fermé".



Les Différents Devenir de l'Univers

4) Les Critiques de ces modèles

Tout d'abord, étudions la probabilité d'existence d'un Univers plat. Ce dernier

serait atteint pour une valeur donnée de la masse de l'Univers autrement dit pour une valeur parmi une infinité, donc une **probabilité infime d'obtenir cette valeur**. On pourrait donc à priori rejeter cette hypothèse.

Ensuite, étudions les deux théories de l'Univers ouvert et de l'Univers fermé.

L'observation nous montre que la masse de l'Univers est à peine supérieur à 1% de la masse critique, l'Univers semble donc être **largement ouvert**. Mais la rotation des galaxies nous révèle qu'il y a en fait beaucoup plus de matière que la seule matière visible. Logiquement, **les galaxies spirales ne devraient pas exister**, les bras spiraux devraient s'étirer et se mélanger au bout de quelques tours. Le seul moyen d'expliquer l'existence de ces bras spiraux en respectant les lois de la physique est de supposer que la masse des galaxies est au moins dix fois plus importante que la seule masse visible, mais surtout qu'elle est essentiellement répartie autour des galaxies. **Il existe donc un halo de matière invisible autour de chaque galaxie.**

Donc, pour pouvoir atteindre la masse de l'Univers pour laquelle ce dernier s'effondrerait dans un "Big-crunch", il faudrait que la masse de la matière invisible soit cent fois plus grande que celle de la matière visible.

Ainsi, d'après nous, les théories les plus valables sont celles d'un Univers ouvert et d'un Univers fermé.

Pour les scientifiques, la théorie de **l'Univers ouvert** serait la plus probable, supposant que la **quantité de matière invisible ne pourrait pas être cent fois plus importante que celle de la matière visible**.

- Le Big-bang est-il une certitude ?

Il est important de signaler que le Big-bang (comme d'ailleurs le modèle standard des particules) n'est qu'une théorie, admise néanmoins par la plus grande partie de la communauté scientifique. Cette théorie change et s'affine rapidement. Ainsi des notions telles que l'âge exact de l'Univers, ou encore son devenir (évolution vers une dilution ou une recontraction), sont encore des sujets de controverse.

Malgré leur grande simplicité, les modèles standard de Big-bang fournissent une excellente description de l'Univers durant une grande partie de son évolution, ainsi que les explications du décalage vers le rouge des galaxies, de la proportion des éléments chimiques légers, de l'existence d'un rayonnement diffus de corps noir à la température de 2,726 Kelvins uniformément réparti sur le fond de ciel, etc...

D'après ce modèle cosmologique, tous les atomes actuellement présents dans l'Univers ont été formés dans les premiers instants suivant le Big-bang. Ainsi les atomes qui nous composent sont âgés de 15 milliards d'années. Nous pouvons, comme le dit si poétiquement notre astronome, Hubert Reeves, nous considérer comme de la "poussière d'étoiles".

- Bibliographie :

- ✓ Livres :

Bizarre Big-bang, Philippe Miné, édition Belin

Qu'est ce que : l'Univers ? –volume 4-, Yves Michaud, édition Odile Jacaube

Dictionnaire de l'astronomie, Encyclopédie Universalis

Dictionnaire des Sciences, Michal Serre et Nayla Farroukhi, édition Flammarion

- ✓ Magazines

Pour la science - numéro spécial 206

Science et Vie Junior - Dossier Hors série numéro 44

Science et Vie - Numéro 1031

Science et Vie - Hors série numéro 221

- ✓ Sites Internet :

<http://perso.club-internet.fr/molaire1>

<http://pythacli.chez.tiscali.fr/univers>

<http://perso.libertysurf.fr/quark/>

<http://www.selenehelios.net/>

- Matériel nécessaire à l'exposé oral. :

- ✓ Téléviseur

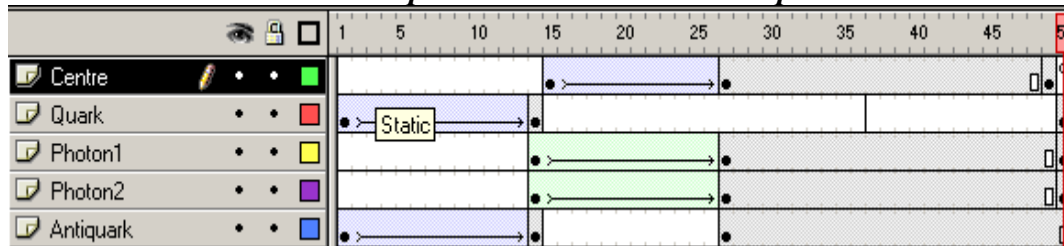
- ✓ Ordinateur relié à un rétroprojecteur

- [Annexes :](#)

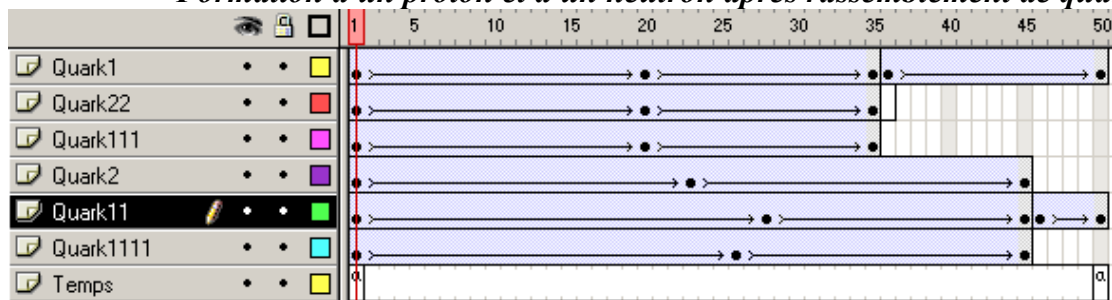
Animation créée avec Flash 5 de Macromédia

Scénario (Frise de temps et d'événement) de l'animation :

Choc entre deux particules et création d'un photon



Formation d'un proton et d'un neutron après rassemblement de quarks



$T = 1 \text{ min } 10^{12} \text{ K}$

Scène :

*Un neutron s'est formé.
Trois quarks vont former un Proton*

