

*Compte-rendu de la conférence du samedi 20 février 2010*

Que savons-nous de la naissance de l'univers ?

par **Alain Castets**

*Alain Castets est, astrophysicien, spécialiste de la chimie interstellaire et directeur de recherche au CNRS. Pour cet institut, il est responsable des laboratoires français d'astrophysique.*

Introduction

La question de notre origine et de l'origine du monde qui nous entoure sont à la base de nombreux mythes ou récits qui ont de nombreux points communs comme : l'Œuf cosmique (germe contenant l'univers en puissance), l'eau et le déluge qui rappellent à l'homme sa faiblesse et permet le renouvellement du monde, le chaos primordial - la naissance d'un monde harmonieux étant souvent la résultante de conflits entre des forces antagonistes, la naissance du temps et de l'espace, de la lumière et de la matière (eau, terre, feu et air), l'apparition de la vie et de l'homme à partir du mélange de ces éléments.

Mais au delà des mythes, l'homme, en utilisant des observations astronomiques de plus en plus précises, a su comprendre notre place dans le système solaire autour de notre étoile, le mouvement des planètes autour de notre soleil, la place de notre système solaire dans la galaxie de la voie lactée, une galaxie « banale » dans l'univers, mesurer la distance des étoiles et des galaxies, mais aussi supposer l'existence d'autres systèmes solaires voire d'autres univers !

Il faudra attendre le 20<sup>ème</sup> siècle pour comprendre le fonctionnement des étoiles, appréhender la géométrie de l'univers et sa taille et élaborer un modèle de sa naissance. Toutefois, nous sommes encore très loin d'avoir tout compris. Pourquoi notre compréhension a-t-elle été aussi lente? Parce que les astrophysiciens sont comme des enfants dans un magasin de porcelaine : ils peuvent observer sans toucher. Ils construisent des instruments pour effectuer des observations, observations qui seront ensuite confrontées aux prédictions des modèles.

Chronologie des découvertes en cosmologie

- 1915. Einstein. Théorie de la relativité générale et premier modèle d'un univers « statique » : la matière dicte à l'espace comment il doit se courber tandis que l'espace-temps dicte à la matière comment elle doit se mouvoir. Si cette théorie nous fournit un modèle cohérent du « fonctionnement » de l'univers, elle ne nous donne pas la clé physique de son origine. Elle sera toutefois confirmée ultérieurement par des mesures physiques et permettra de comprendre un certain nombre d'observations (décalage du périhélie de Mercure, courbure de la lumière) qui ne peuvent être expliquées par la mécanique newtonienne. Mais si elle rend compte de l'infiniment grand (l'univers), elle ne permet pas d'appréhender l'infiniment petit et entre autres la naissance de l'univers.
- 1922, Friedman et 1927, l'abbé Lemaitre. Un modèle d'univers « en expansion ».

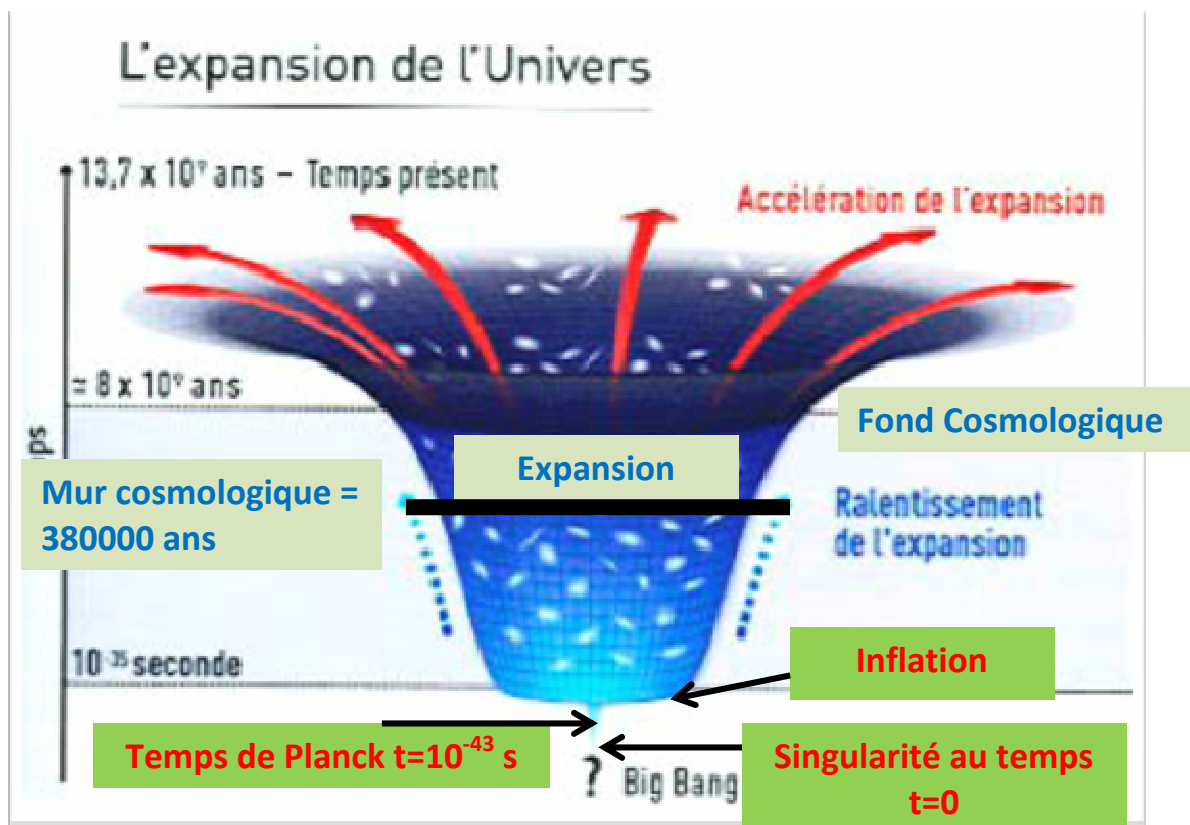
- 1929. Loi de Hubble : les étoiles s'écartent l'un de l'autre d'autant plus rapidement qu'elles sont éloignées. Confirmation donc de l'univers en expansion.
- 1933. Prédiction de la « Matière Noire ».
- 1965. Découverte du fond diffus cosmologique : mesure de la température de l'univers.
- 1981. Modèle de l'inflation cosmique.
- 1990. Première cartographie précise du fond diffus cosmologique (COBE).
- 1998. Accélération de l'expansion de l'univers (prédiction de l'énergie noire).
- 2009. Lancement du satellite Planck : un succès européen

### La naissance de l'univers

La compréhension de la naissance de l'univers s'appuie sur ce qui est appelé le « Modèle Standard ». La figure ci-dessous permet de repérer et de commenter les principales étapes du Modèle.

La phase primordiale de l'univers est extrêmement chaude et dense. L'évolution cosmologique qui en découle est associée au refroidissement de l'univers en expansion et à sa structuration progressive.

Cette histoire est la suivante



#### 1. La « Singularité Initiale »

Notre conférencier n'aime pas l'expression de « Big Bang », expression inventée par Fred Hoyle pour se moquer du modèle standard au quel il ne croyait pas, et qui laisserait penser qu'il s'agit d'une gigantesque explosion, ce qui n'est pas le cas.

Cette singularité a eu lieu il y a 13.7 milliards d'années. Cet âge est calculé d'après le taux d'expansion de l'univers (en utilisant la loi de Hubble); Il dépend donc de la précision des observations. Ainsi en 1929 l'univers avait 2 milliards d'années, 4 en 1956, et 20 en 1970 ! L'espace et le temps sont créés lors de la singularité initiale. Il ne s'est donc produit à aucun endroit particulier ! Mathématiquement, la singularité est un moment dans un passé fini qui correspond au passage à l'infini de toutes les grandeurs physiques et géométriques.

## 2. Temps de Planck.

Il est égal à  $10^{-43}$  secondes après la naissance de l'univers. Entre la singularité initiale et ce temps de Planck le modèle standard est inapplicable. La température de l'univers est alors de  $10^{32}$  degrés Kelvin et la taille de l'univers de  $10^{-35}$  m. Avant ce point, on ne peut définir l'univers.

## 3. Inflation

La période d'inflation démarre à  $10^{-35}$  seconde. La taille de l'univers est brutalement multipliée par  $10^{50}$  (celle de « notre » univers actuel est de  $10^{28}$  cm). L'inflation permet d'expliquer la séparation des particules et des antiparticules, L'homogénéité de notre univers, sa platitude et l'origine des galaxies. Elle offre un cadre conceptuel pour penser la création de notre univers.

## 4. Mur cosmologique

C'est le « Mur » infranchissable aux télescopes : l'univers avait alors 380.000 ans. En utilisant nos instruments actuels, on ne peut pas « voir » ce qui s'est passé avant. Le rayonnement émis (que l'on « voit ») depuis cette date est homogène et isotrope. La température de l'univers à ce moment là était de 3000K. Avec l'expansion il s'est refroidi jusqu'à nos jours pour atteindre une température de 2,7°K (Rappelons que le 0°K absolu qui représente la température la plus froide que l'on ne peut dépasser correspond à -273° C de nos degrés celsius). Toutefois on espère franchir ce « mur » dans un futur proche lorsque l'on pourra détecter les ondes ou particules émises après la singularité initiale (neutrinos ?, ondes gravitationnelles ?).

## 5. Expansion

Les équations de la relativité générale montrent que l'univers est soit en expansion soit en contraction mais n'est pas statique contrairement à ce que pensait Einstein. La gravité (liée à la matière) ralentit l'expansion, alors que les forces répulsives l'accélèrent.

## Succès du Modèle

Trois observations primordiales physiques et chimiques sont les piliers de ce modèle et ont permis de le valider:

- l'observation de l'expansion de l'Univers, qui a validé les modèles de Friedman et Lemaitre : c'est la célèbre loi de Hubble.
- l'existence du rayonnement du fond cosmologique. Celui-ci est actuellement homogène et isotrope avec une température de 2.73 K. On a pu mesurer pour des périodes plus jeunes de l'univers (il y a 12 milliards d'années) une température de 9.5°K. Ces valeurs des températures sont conformes aux valeurs prédites par le Modèle standard ;
- La proportion d'éléments légers que l'on trouve dans l'univers. Certains éléments chimiques ( $\text{He}^3$ ,  $\text{He}^4$ ,  $\text{Li}^7$ ) ne peuvent être créés au cours de la formation des étoiles.

Ils n'ont pu être créés que lors de la nucléosynthèse primordiale, et leur abondance est prédite par le Modèle.

### Limites et difficultés du Modèle

1. Le Modèle est incapable de décrire le temps 0.  
La relativité générale décrit les liens qui existent entre le contenu matériel et le contenant géométrique de l'univers mais elle reste muette quand à l'origine de ce contenu (singularité initiale).
2. L'inflation « marche trop bien ».  
C'est une théorie qui peut rendre compte de beaucoup d'observations! Une légère modification de certains paramètres suffit. Les astrophysiciens n'aiment pas les modèles qui s'adaptent aisément à toutes les situations. Par ailleurs, le modèle d'inflation ne rend pas bien compte de l'évolution de certaines galaxies (galaxies elliptiques, par ex).
3. Ce que l'on « voit » ne correspond qu'à 4% du contenu de l'univers ! Pour rendre compte des 96% restants on fait intervenir la « Matière Noire » et l' « Energie Noire ». On calcule que la matière noire représente 22% du contenu de l'univers et l'énergie noire 74 %.  
*La Matière Noire* est détectée d'une manière indirecte à partir de la mesure de la vitesse de rotation des étoiles ou des nuages d'hydrogène autour du centre d'une galaxie, vitesse qui est inexplicable sans invoquer de la « matière » à proximité. La nature de cette matière noire est très mystérieuse: elle n'a rien à voir avec la matière ordinaire qui compose les étoiles et les galaxies. L'intérêt de prendre en compte cette matière noire dans le Modèle standard est qu'en incluant cette matière dans le modèle standard on rend compte correctement de l'évolution des galaxies sauf pour les galaxies proches!  
*L' Energie Noire*. Elle est invoquée pour expliquer un phénomène récent observé qui est celui de l'expansion accélérée de l'univers. Toutefois, la nature exacte de l'énergie noire est totalement inconnue, et le calcul de son énergie à partir du modèle standard aboutit à une valeur faramineuse incompatible avec les observations.

### Conclusions :

#### *1. Faut-il modifier les lois de la gravitation ?*

Le Modèle Standard dérivé des équations d'Einstein est uniquement basé sur les lois de la gravitation, alors que d'autres lois de la physique découvertes ultérieurement comme celles de la mécanique quantique, ne sont pas prises en compte. Si bien que le Modèle standard qui a permis d'expliquer de très nombreuses observations voire de prédire des phénomènes nouveaux, présente tout de même un certain nombre de limites.

Du coup les astrophysiciens se posent la question de savoir s'il ne faut pas modifier les lois de la gravitation.

#### *2. Quel est alors le destin de notre univers ?*

Peut-être les conditions initiales ne sont pas celles que nous croyons.

A chaque fois que nous faisons une hypothèse nous prenons la plus simple: Mais pourquoi l'univers doit-il être simple? Les propriétés de la matière noire et/ou de l'énergie noire ne sont peut-être pas simples ! Et notre modèle actuel est probablement trop rudimentaire (simple)

**Pourquoi faire simple quand la nature est compliquée ?**