

Jean Paul LAURENT

MODELE STANDARD COSMOLOGIQUE

APPLICATION NUMERIQUE

- PARAMETRE DE DENSITE
- EXPANSION
- ENERGIE DU VIDE
- AGE DE L'UNIVERS

Janvier 2022

Du même auteur :

« **Modèle Standard Cosmologique** »

-Equations de Friedmann-Lemaître

-Solution Géométrique approchée

Editions BOOKELIS (www.bookelis.com)

Octobre 2020

ISBN 979-10-227-9389-6

Ce livre a été publié sur www.bookelis.com

© Jean Paul LAURENT

Tous droits de reproduction, d'adaptation et de traduction, intégrale ou partielle réservés pour tous pays.

L'auteur est seul propriétaire des droits et responsable du contenu de ce livre.

INTRODUCTION

Le Modèle Standard Cosmologique s'appuie sur la Relativité Générale . Notre univers est modélisé à partir de ses constituants (fluides cosmologiques) pour aboutir aux 2 équations de Friedmann-Lemaître et une troisième équation établie sur le principe de la conservation du tenseur Energie-Impulsion..

Ces équations ont une infinité de solutions, la nature doit certainement être l'une d'entre elles, mais laquelle ?

Trouver une solution, c'est exprimer et calculer tout particulièrement :

- Les paramètres de densité des fluides cosmologiques (Energie Sombre, Matière Noire, Matière Baryonique, rayonnement,.....)
- Les « équations d'état » de ces différents fluides cosmologiques
- L'Expansion H en fonction du temps
- Le temps retardé $H_0*(-t_0)$ et l'âge de l'univers ($-t_0$)
- C'est aussi définir la nature et la forme de notre univers

Tous ces questionnements sont aujourd'hui, toujours d'actualité.

PARAMETRES de DENSITE

ils sont calculés à partir de la méthode dite de concordance :

Energie sombre $\Omega_\Lambda = 68.3\%$; Matière Noire : $\Omega_{dm} = 26.8\%$; $\Omega_b = 4.9\%$ pour la matière baryonique

Energie Sombre et Matière Noire , évaluées à hauteur de 95.1% restent toujours inexpliquées !

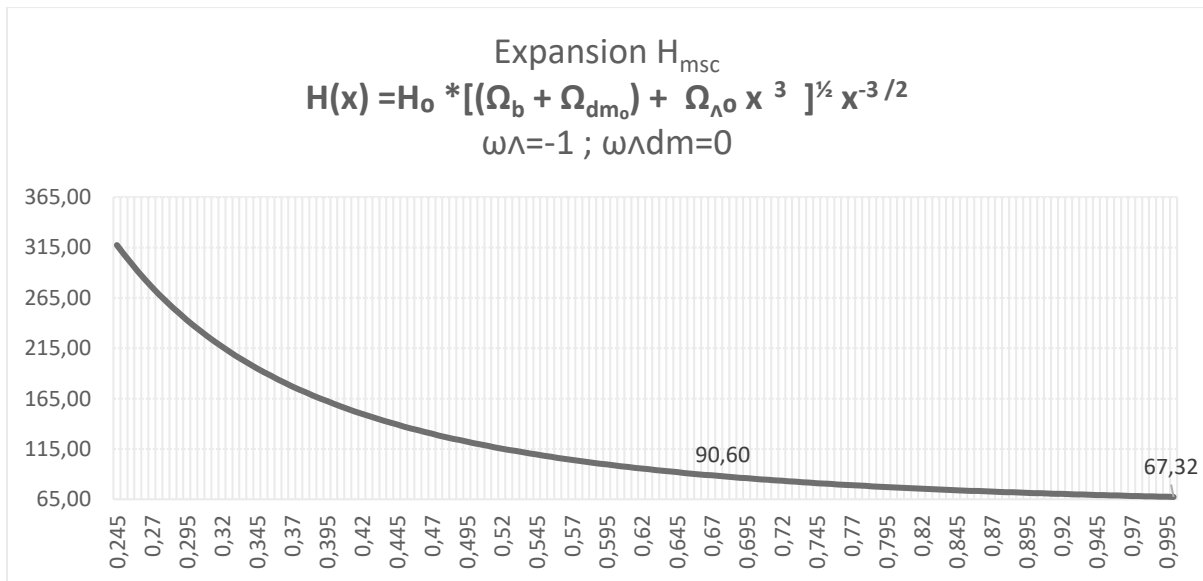
L'EXPANSION

L'expansion a été mise en évidence du point de vue théorique par l'abbé Georges Lemaître en 1927 et ensuite de façon observationnelle par Edwin HUBBLE en 1929.

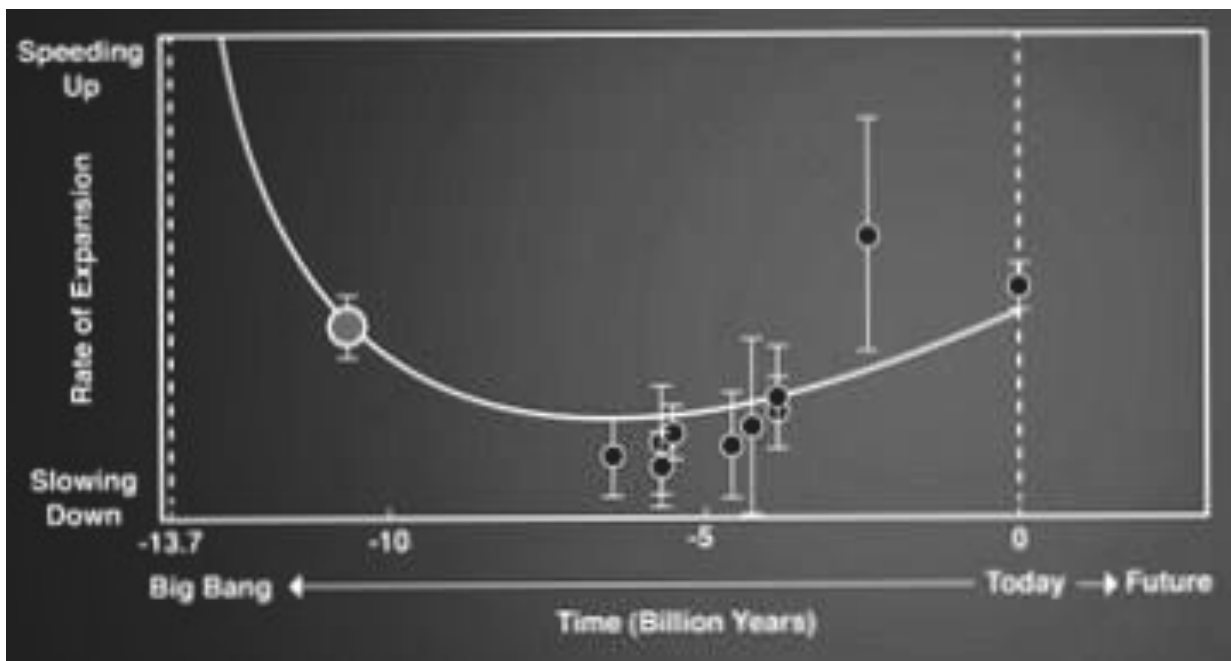
Les cosmologues Adam Riess, Brian Schmidt et Saul Permuter ont obtenus en 2011 le Prix Nobel pour leur travaux d'observation montrant une courbe de l'expansion caractérisée par un minimum (50 Km/s/Mpc) il y a environ 6 milliards d'année et en accélération depuis . Sa valeur aujourd'hui , est estimée

à : $H_0 = 67.32 \text{ Km/s/Mpc}$. Cette valeur est toutefois en débat et pourrait plutôt se situer plutôt dans l'intervalle 70 à 75 Km/s/Mpc !

L'expansion, suivant le Modèle Standard Cosmologique, s'exprime à partir de la 2^{ème} équation de Friedmann-Lemaître avec des hypothèses que nous rappellerons plus loin. Ce qu'il faut noter, c'est que sa courbe représentative est toujours décroissante (graphique ci-dessous) et ne correspond pas à celle observée par les prix Nobel 2011.



A comparer avec la Courbe de l'expansion observée par Adam Riess, Saul Perlmutter et Brian Schmidt, Prix Nobel 2011, et représentée ci-après :



Ceci pourrait peut-être s'expliquer par des valeurs d'équations d'état des fluides cosmologiques non conformes ($\omega_\Lambda; \omega_{dm}$) et aussi peut-être par d'autres paramètres à intégrer (Energie du vide, énergie de rotation.....)

TEMPS RETARDE ET AGE DE L'UNIVERS

L'âge de l'univers est calculé à partir de l'expression $F(\Omega_b) = H_0 * (-t_0)$, expression que nous expliciterons plus loin.

Il faut donc connaître H_0 et Ω_b . Or ce sont 2 valeurs, estimées respectivement à 67.32 Km/s/Mpc et 4.9%, font toujours l'objet d'un débat aujourd'hui.

Partant malgré tout sur ces bases, l'âge de l'Univers est calculé à hauteur de 13.81 milliards d'années. Cette âge $(-t_0)$, sera redéfini en fonction des valeurs H_0 et Ω_b que nous calculerons précisément ci-dessous.

SOLUTION GEOMETRIQUE PARTICULIERE DES EQUATIONS DE FRIEDMANN-LEMAITRE

Aussi, pour aller plus loin et essayer d'apporter des réponses à toutes ces interrogations, nous avons présenté, dans l'exposé précédent (Mémoire Octobre 2020) une solution géométrique particulière, possible, des équations de Friedmann-Lemaître.

Cette solution nous a permis

- **d'exprimer et de calculer les paramètres de densité** des fluides cosmologiques en fonction de Ω_b et de l'angle α . A noter que le paramètre de densité de la matière baryonique est une constante.

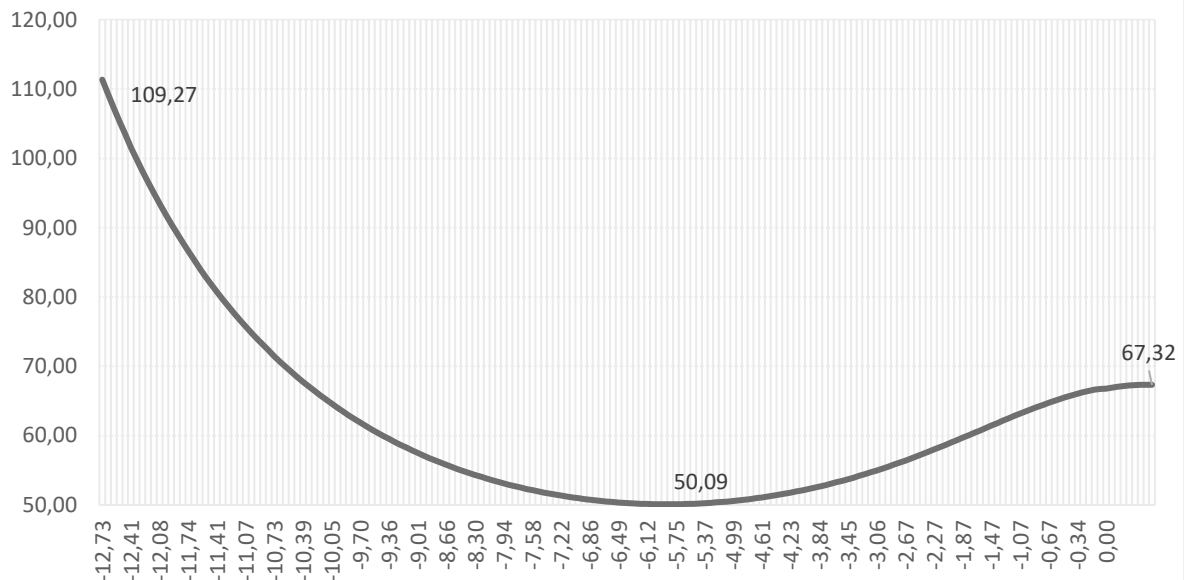
Energie Sombre : $\Omega_\Lambda = \left(\frac{\pi - \gamma}{\pi}\right) (1 + \Omega_b)$; Matière Noire : $\Omega_{dm} = \left(\frac{\gamma}{\pi}\right) (1 + \Omega_b) - 2 \Omega_b$

- **De calculer** de façon explicite Ω_b à partir de la formulation du temps retardé, sachant que $\alpha_0 = 72^\circ 7'$ et $\gamma = \alpha - \frac{2}{3} \sin^3 \alpha \cos \alpha \rightarrow \gamma_0 = 1.0962$

$\Omega_b = 4.931\%$; $\Omega_\Lambda = 68.32\%$; $\Omega_{dm} = 26.75\%$

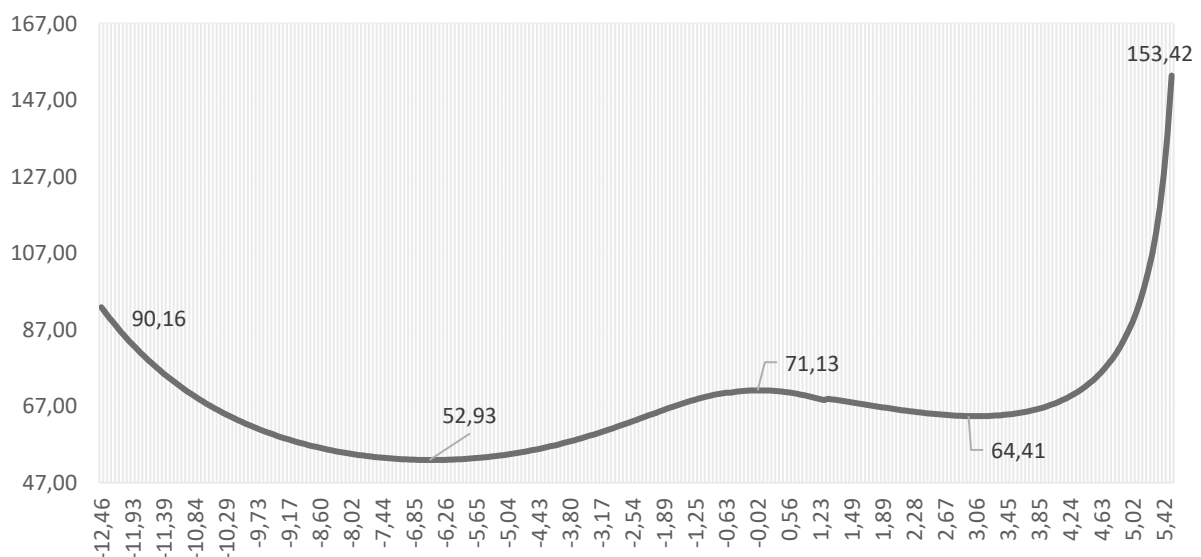
- **De retrouver la courbe de l'expansion validée par les PRIX NOBEL 2011**, Adam RIESS, Saul PERMUTTER et Brian SCHMIDT, et ce, à partir d'une solution des équations d'Euler Lagrange issue d'un Lagrangien particulier dans lequel il faut rajouter une **énergie cinétique de rotation négative, énergie égale en valeur absolue à celle de la matière baryonique (ou celle de l'antimatière tant recherchée) !**

Expansion H_L solution du Lagrangien
de -12,73 milliards d'années à aujourd'hui $t=0$
 $H_{min} = 50.09$ $H_0 = 67.32 \text{ Km/s/Mpc}$



-De calculer numériquement l'énergie du vide ($0.0.063^E-9 \text{ J/m}^3$) en postulant que sa valeur est la même aujourd'hui et il y a 6 milliards d'année. Ce postulat contraint alors l'expansion H_0 à la valeur : **$H_0 = 71.125 \text{ Km/s/Mpc}$**

EXPANSION $H(L)$ en Km/s/Mpc
de -12,4 à +5,46 Mds d'années



-d'exprimer et de calculer la masse de l'hypothétique « Axion » ($200 \mu \text{ e.v}/c^2$)

-Et finalement de faire apparaître l'énergie sombre , la matière noire et le vide cosmologique comme 3 états différents de l' « énergie du vide » , états qui coexistent en chaque point de notre univers à 3 dimensions et dont les valeurs calculées s'établissent comme suit : **Energie sombre (0.5231^E-9 J/m^3)**, **Matière Noire (0.2054^E-9 J/m^3)** , **Vide cosmologique (0.0063^E-9 J/m^3)**.

Nous reprendrons toutes ces questions, avec leurs solutions numériques, dans le présent exposé :

-Calcul explicite de Ω_b (**4.931%**) et des autres paramètres de densité .

- formulation de l'expression des équations d'état de l'énergie sombre et de la matière noire.

- Calcul de l'**expansion H** et l'**âge de l'Univers** à partir :

1-du Modèle Standard Cosmologique en vigueur à ce jour

2-de la solution des équations d'Euler Lagrange issues d'un Lagrangien propre à notre Univers

Jean-Paul LAURENT

Jp.laurent.lyon@gmail.com

1-PARAMETRES DE DENSITE /EXPRESSIONS ET CALCULS

1-1 RAPPELS

1- Equations de Friedmann-Lemaître [Hobson ; (14-36); p373]

$$(10) \quad \ddot{R} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + \frac{3p}{c^2} \right) R + \frac{1}{3} \Lambda c^2 R$$

$$(11) \quad \dot{R}^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho R^2 + \frac{1}{3} \Lambda c^2 R^2 - c^2 k$$

$R(t)$ = paramètre d'échelle

Définitions PARAMETRES DE DENSITE

$$(13) \quad \Omega_i = \frac{8\pi G}{3 H_0^2} \rho_i(t) = \frac{\rho_i}{\rho_c}$$

$$(14) \quad \text{densité du fluide } i \text{ rapporté à une densité critique } \rho_c = \frac{3 H_0^2}{8\pi G}$$

En reprenant l'équation (11), et en divisant par \dot{R}^2 , l'équation de FRIEDMAN-LEMAÎTRE (11) peut alors s'écrire avec les paramètres de densité définis ci-dessus (13) :

$$(15) \quad \Omega_\Lambda + \Omega_{dm} + \Omega_b + \Omega_r + \Omega_k = 1$$

Avec en particulier :

$$\Omega_\Lambda = \frac{8\pi G}{3 H_0^2} \rho_\Lambda \quad \text{avec :} \quad \rho_\Lambda = \frac{\Lambda c^2}{8\pi G}; \quad \Omega_k = -\frac{c^2 k}{R^2 H^2}$$

En **négligeant** les paramètres de **courbure** Ω_k (espace Euclidien plat) et de **rayonnement** Ω_r (moins de 0.5 E-3 %), on a alors :

$$(16) \quad \Omega_\Lambda + \Omega_{dm} + \Omega_b = 1 \quad \text{ou encore :} \quad \sum \rho_i = \rho_c = \frac{3 H_0^2}{8\pi G}$$

1-2 SOLUTION GEOMETRIQUE PARTICULIERE

Nous avons proposé et développé précédemment une solution géométrique particulière des équations de Friedmann-Lemaître qui nous a permis d'exprimer les paramètres de densité, solutions de la 2^{iem} équation de Friedmann comme suit :

$$\Omega_\Lambda = \left(\frac{\pi - \gamma}{\pi} \right) (1 + \Omega_b) \quad ; \quad \Omega_{dm} = \left(\frac{\gamma}{\pi} \right) (1 + \Omega_b) - 2 \Omega_b \quad \text{et tel que la deuxième équation de Friedmann-Lemaître soit satisfaite à savoir :}$$

$$[\Omega_\Lambda] + [\Omega_{dm}] + [\Omega_b] = 1$$

Les paramètres de densité de l'énergie sombre Ω_Λ et matière noire Ω_{dm} sont exprimés en fonction de $\gamma(\alpha)$ et de Ω_b avec $\gamma = \alpha - \frac{2}{3} \sin^3 \alpha \cos \alpha$