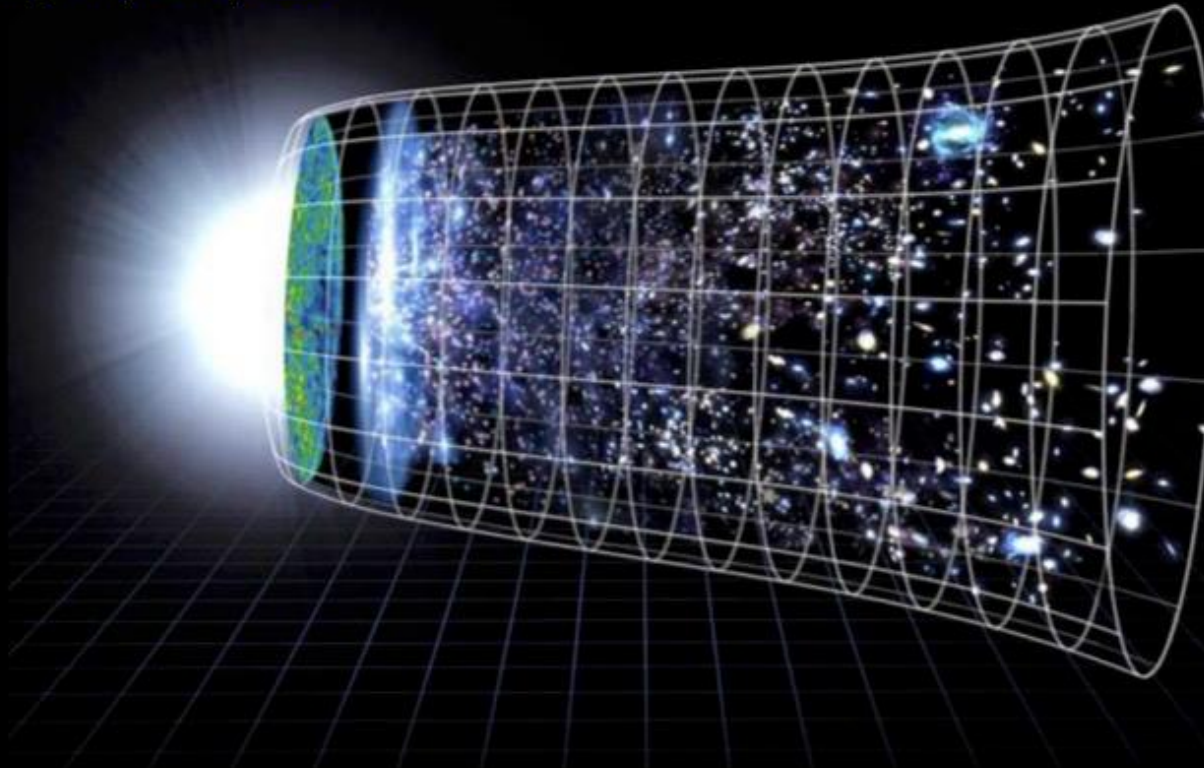


Le paradigme de l'expansion de l'Univers : Cohérence ou Hasard ?

Denis PUY

Université de Montpellier, CNRS/IN2P3



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Lambda g_{\mu\nu} = -\frac{8\pi G}{c^2}T_{\mu\nu}$$

$$T^{\mu\nu} = \left(\rho + \frac{p}{c^2}\right)\frac{dx^\mu}{ds}\frac{dx^\nu}{ds} - \frac{p}{c^2}g^{\mu\nu}$$

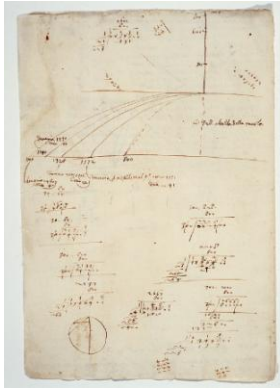
$$ds^2 = -e^{\lambda(r)}dr^2 - r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2) + e^{\nu(r)}c^2dt^2$$

$$(1) \quad e^{-\lambda}\left(\frac{\nu'}{r} + \frac{1}{r^2}\right) - \frac{1}{r^2} + \Lambda = \frac{8\pi G}{c^4}p$$

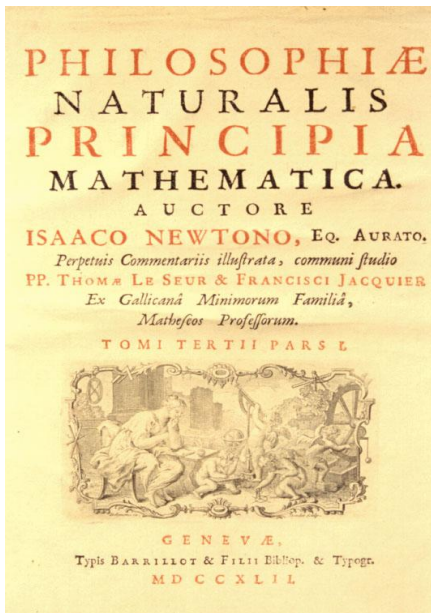
$$(2, 3) \quad e^{-\lambda}\left(\frac{\nu''}{2} + \frac{\nu'^2}{4} - \frac{\lambda'\nu'}{4} + \frac{\nu' - \lambda'}{2r}\right) + \Lambda = \frac{8\pi G}{c^4}p$$

$$(4) \quad -e^{-\lambda}\left(\frac{\lambda'}{r} - \frac{1}{r^2}\right) - \frac{1}{r^2} + \Lambda = -\frac{8\pi G}{c^2}\rho$$

Le questionnement du mouvement Galilée (1638) – Newton (1727)



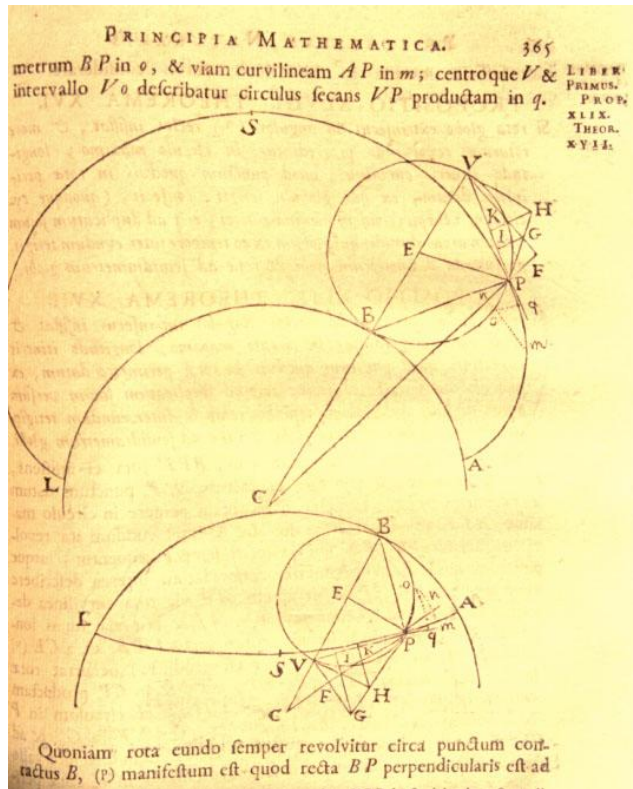
- Mouvement rectiligne uniforme est le mouvement naturel d'un corps



- Principe fondamental de la dynamique

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Existence d'une force entre les masses



« Principia Mathematica » (1687)



$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

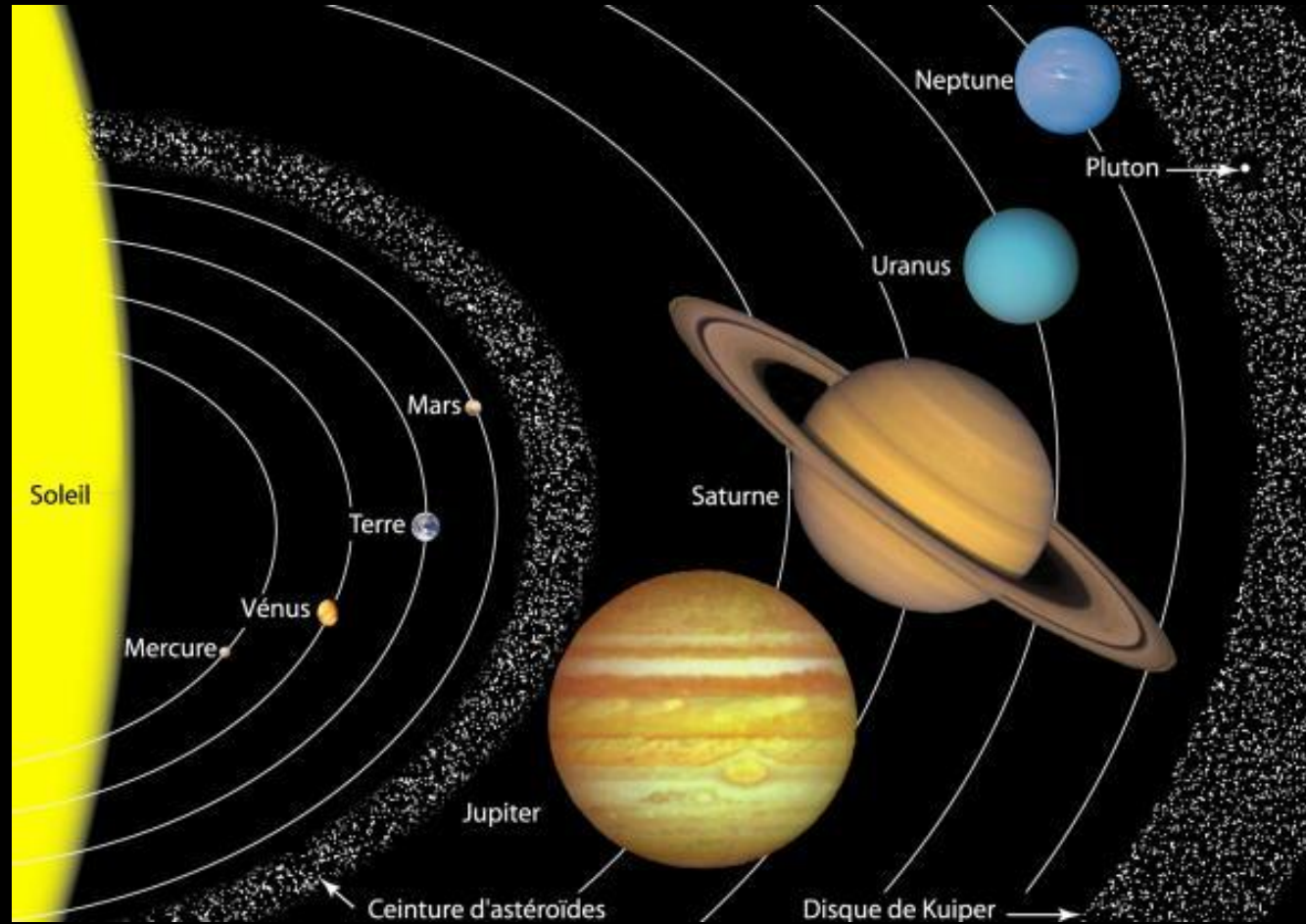
G: constante de la gravitation

La force d'attraction **F**
est inversement proportionnelle
à la multiplication des distances

La théorie de la gravitation donne des solutions simples

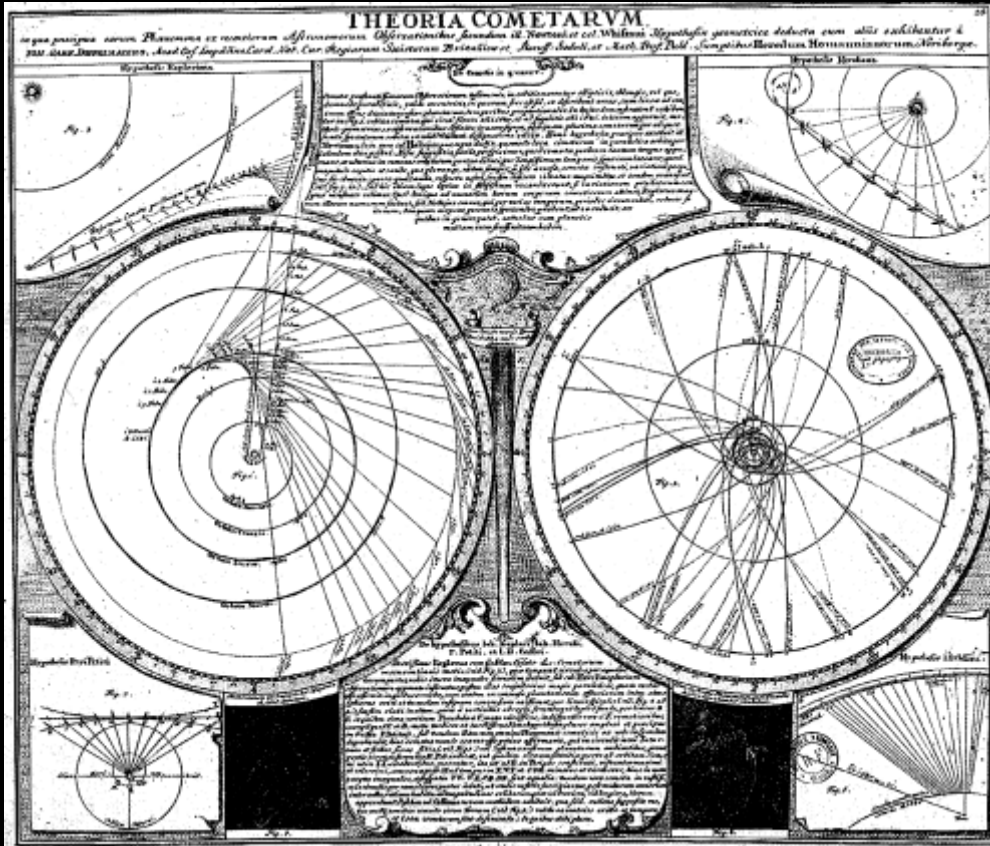


mouvement de chute libre



Orbite des planètes autour du soleil

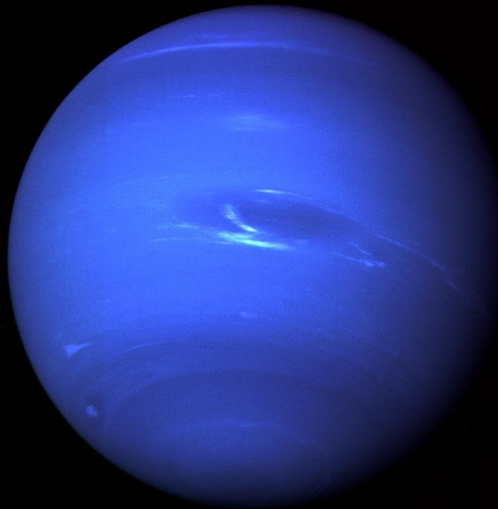
Prédiction des orbites cométaires



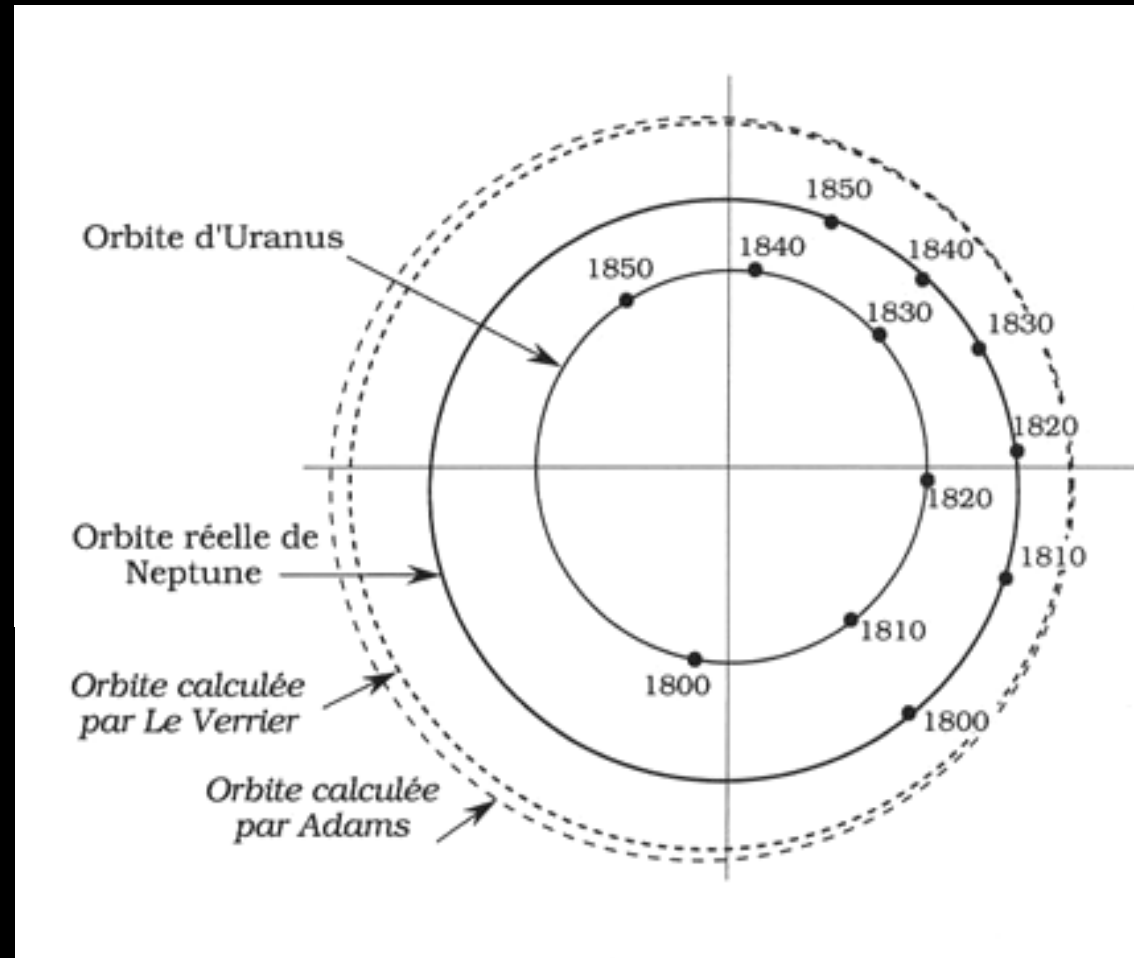
Prédiction de nouvelles planètes



Urban Joseph Le Verrier
(1811-1877)



NEPTUNE



Modification de l'orbite d'Uranus
Découverte de la planète Neptune en 1856.

PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

AUCTORE

ISAACO NEWTONO, EQ. AURATO.

Perpetuis Commentariis illustrata, communi studio

PP. THOMÆ LE SEUR & FRANCISCI JACQUIER

Ex Gallicanâ Minimorum Familiâ,

Matheseos Professorum.

TOMI TERTII PARS I



GENEVÆ,

Typis BARRILLOT & FILII Bibliop. & Typogr.

MDCCXLII

Celui dont le génie a surpassé le genre humain



Loi Universelle de la Gravitation !

PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

AUCTORE

ISAACO NEWTONO, EQ. AURATO.

Perpetuis Commentariis illustrata, communi studio

PP. THOMÆ LE SEUR & FRANCISCI JACQUIER

Ex Gallicanâ Minimorum Familiâ,

Matheseos Professorum.

TOMI TERTII PARS I



GENEVÆ,

Typis BARRILLOT & FILII Bibliop. & Typogr.

MDCCXLII

Universel ?

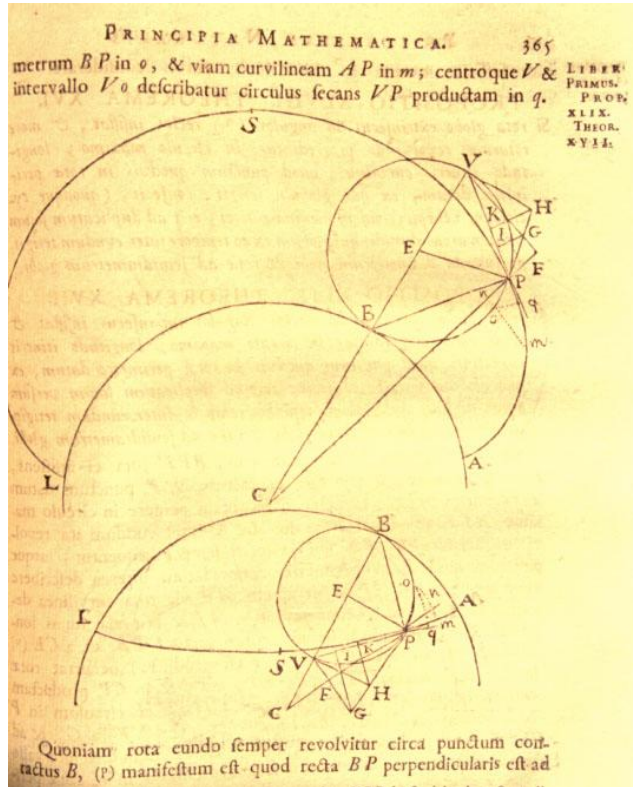


Origine de cette force ?

« *nega hypothesis* »

Origine de cette force ?

« *nega hypothesis* »



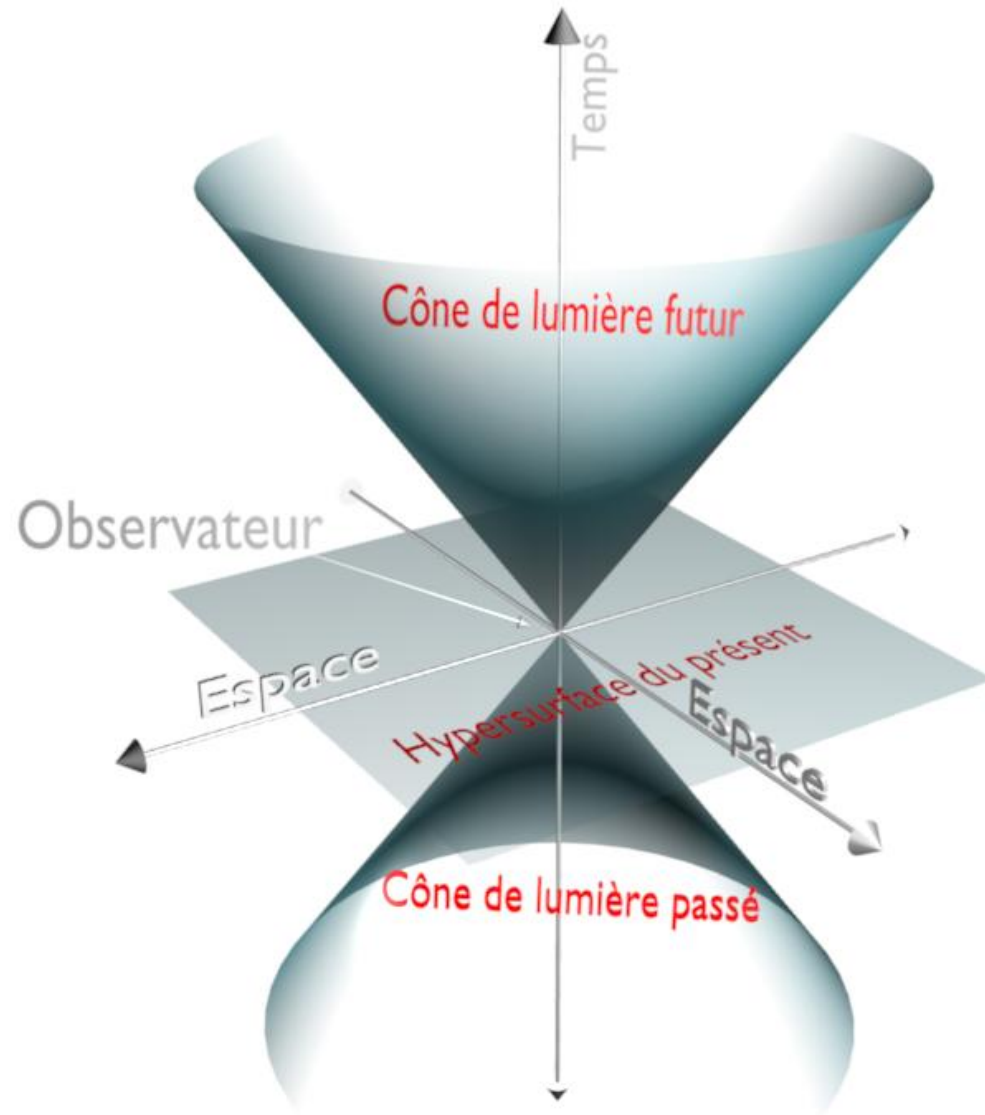
« *Principia Mathematica* » (1687)



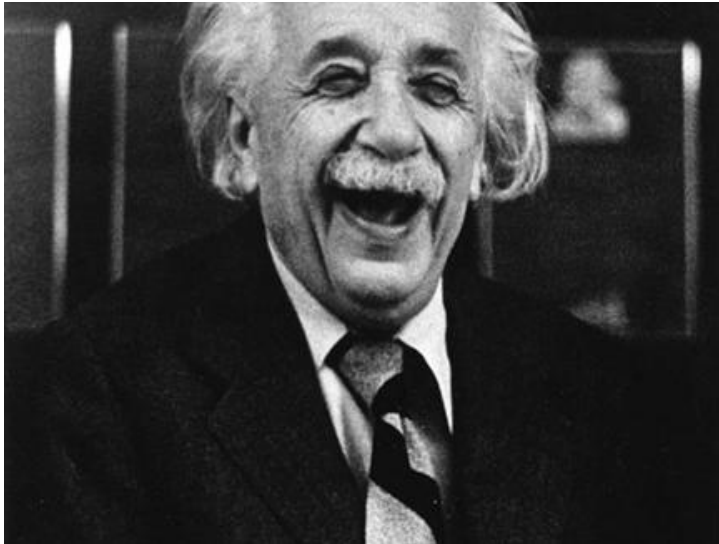
$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

La force d'attraction F
est partout présente dans
l'Univers !

Le questionnement de l'espace



ALBERT EINSTEIN (1905) s'attaque à la définition de L'espace physique



Albert Einstein
1879-1955

Travaux sur les espaces courbes



Carl Friedrich Gauss
1777-1855



Nicolaï Lobatchevski
1792-1856



Bernhard Riemann
1826-1866



Gedanken Experiment d'Einstein (1915)



On lâche une pomme sur
Terre

**Effet de la gravitation
terrestre**

Nous la voyons
tomber !



Gedanken Experiment d'Einstein (1915)

On lâche une pomme dans
une pièce accélérant vers
le haut
loin de sources
gravitationnelles

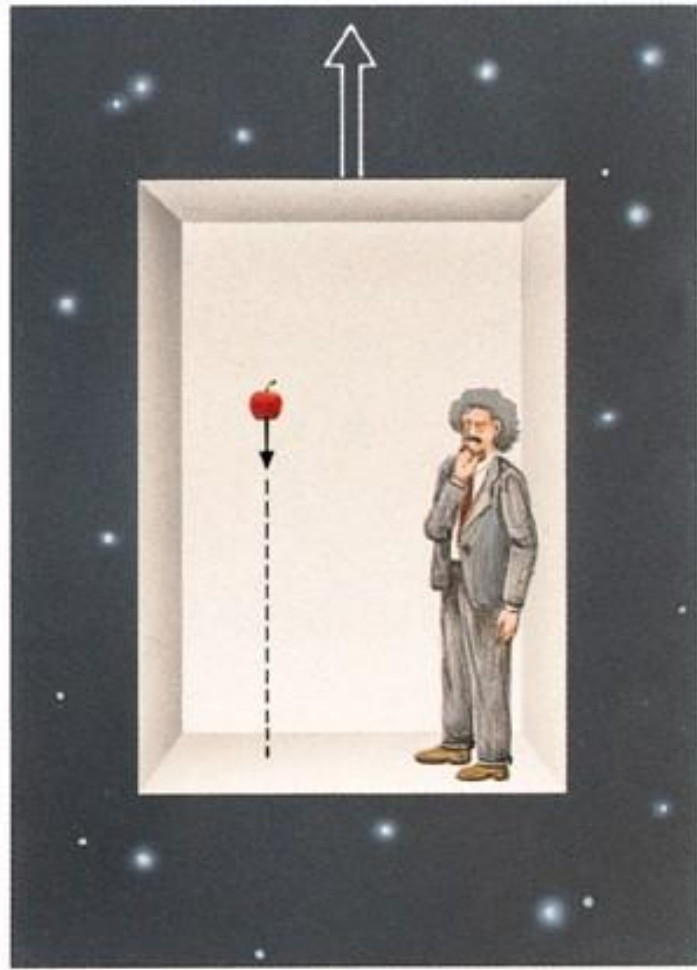
**Effet de changement de
référentiel**

Nous la voyons
tomber !





Gedanken Experiment d'Einstein (1915)



Dans les deux cas les pommes tombent.
Aucun moyen de distinguer les deux effets !

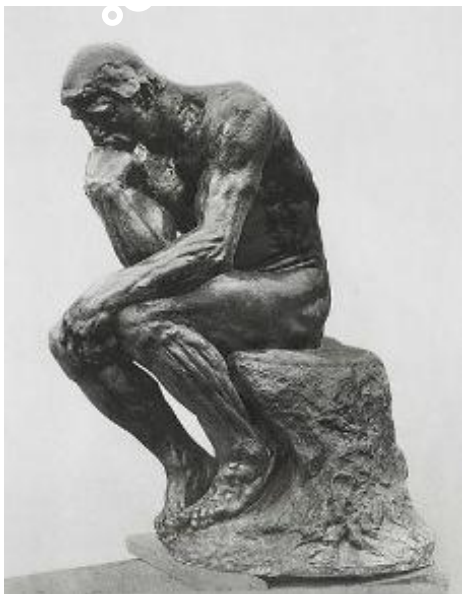


Gedanken Experiment d'Einstein (1915)

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$



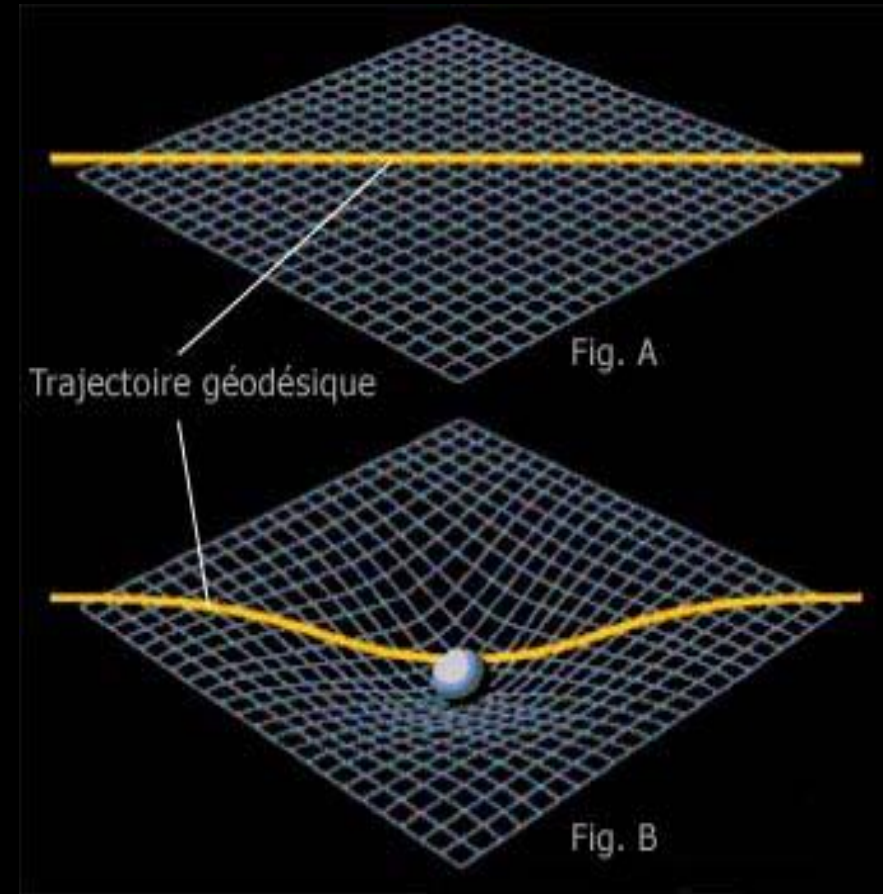
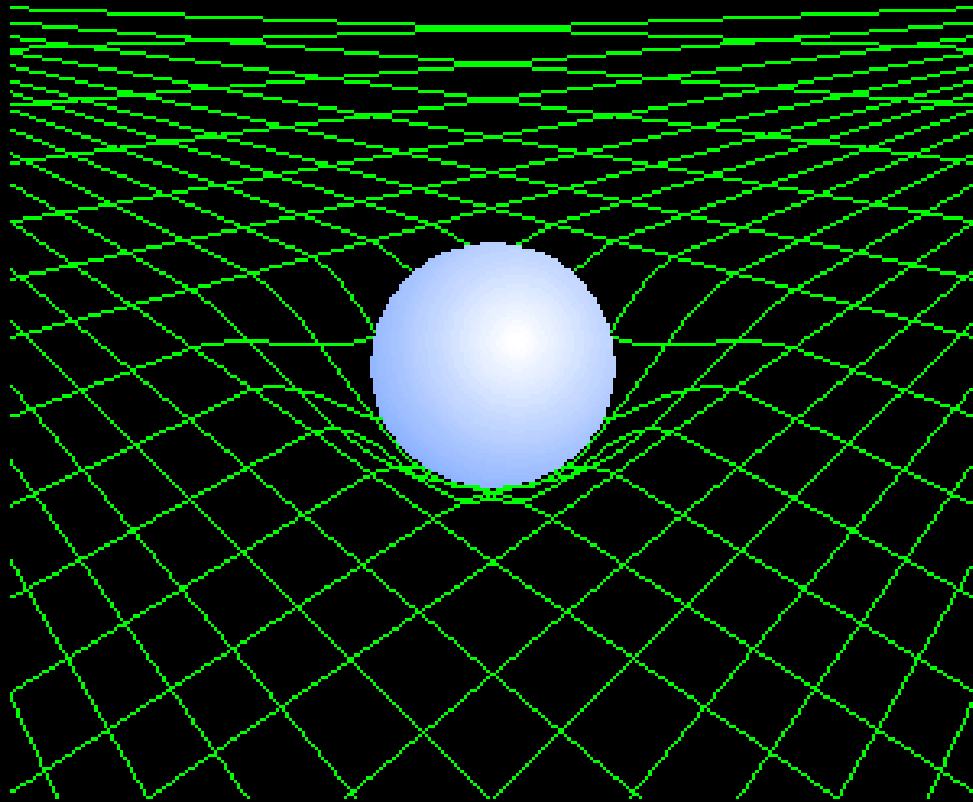
Géométrie

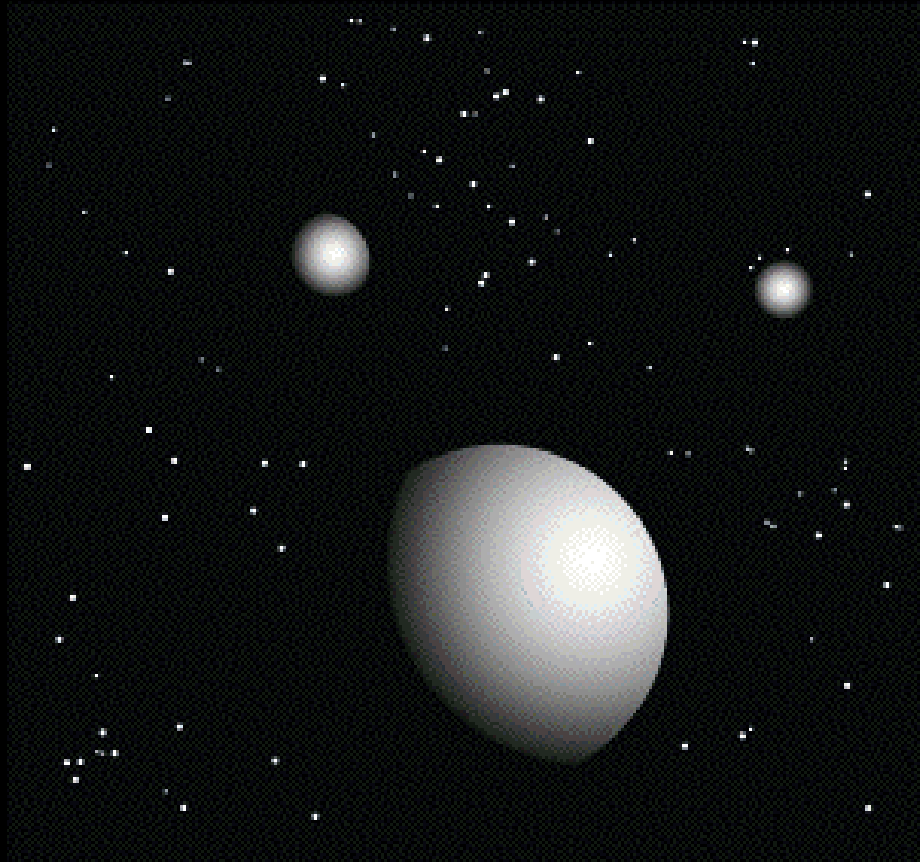


$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

La gravité, la masse,
sont elles géométrisables ?

La masse est prise comme une déformation
de l'espace physique (i.e. l'Univers)



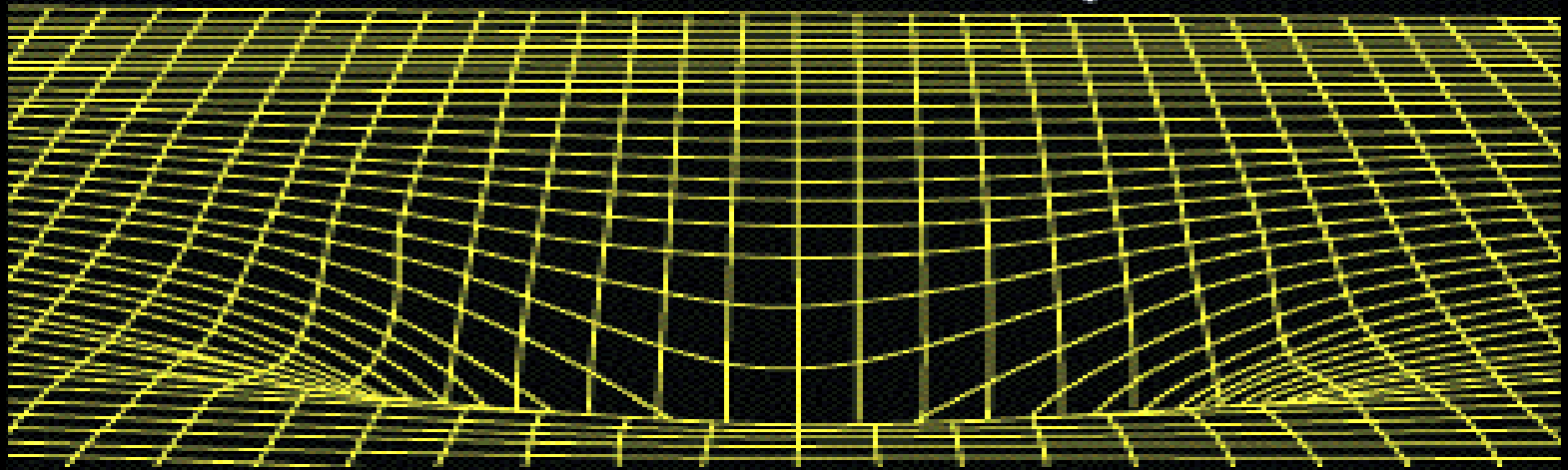


Dans la théorie Newtonienne

Les masses sont des objets ponctuels
qui s'attirent en eux

Dans la théorie d'Einstein

Les masses sont
des courbures
de l'espace



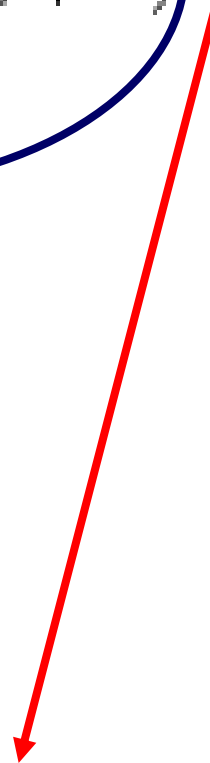
$$R_{\mu\nu} - g_{\mu\nu} \left(\frac{1}{2} R_S + \Lambda \right) = -8\pi G T_{\mu\nu}$$



GÉOMÉTRIE DE L'UNIVERS
LE CONTENANT



L'ENERGIE DE L'UNIVERS
LE CONTENU



Théorie de la relativité générale
La gravité structure l'Univers



La Lune va...
« en ligne droite autour de la Terre »

La théorie de Newton est une approximation
(par analogie)

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

De la théorie de la théorie de la Relativité Générale d'Einstein

$$R_{\mu\nu} - g_{\mu\nu} \left(\frac{1}{2} R_S + \Lambda \right) = -8\pi G T_{\mu\nu},$$

pour des champs gravitationnels « faibles »
(Terre, planètes, Soleil, Galaxies ...)

Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie.

A. Prinzipielle Erwägungen zum Postulat der Relativität.

§1. Die spezielle Relativitätstheorie.

Die von Nachfolgenden dargelegte Theorie bildet die denkbar weitgehendste Verallgemeinerung der heute allgemein als Relativitätstheorie "bezeichneten Theorie, die sich im folgenden "spezielle Relativitätstheorie" und setze sie als bekannt voraus. Diese Verallgemeinerung wurde sehr wesentlich durch die Gestalt, welche der speziellen Relativitätstheorie durch Minkowski gegeben wurde, welcher Mathematiker zuerst die formale Gleichwertigkeit der räumlichen und der Zeitkoordinate klar erkannte und für den Aufbau der Theorie nutzbar machte. Die für die allgemeine Relativitätstheorie nötigen mathematischen Hilfsmittel legen fast gänzlich bereit in dem "absoluten Differentialkalkül", welcher auf den Forschungen von Gauss, Riemann und Christoffel über nicht-euklidische Mannigfaltigkeiten ruht und von Ricci und Levi-Civita in ein System gebracht und bereits für auf Probleme der theoretischen Physik angewandt wurde. Ich habe im Abschnitt B der vorliegenden Abhandlung alle für uns nötigen, bei dem Physiker nicht als bekannt vorausgesetzten mathematischen Hilfsmittel entwickelt, sodass ein Studierender einfacher und durchsichtiger Weise entziffern kann. Die mathematische Literatur für das Verständnis der vorliegenden Abhandlung macht erforderlich ist. Einmal sei an dieser Stelle dankbar meines Freundes, des Mathematikers Grossmann gedacht, der mir durch seine Hilfe nicht nur das Studium der einschlägigen mathematischen Literatur ersparte, sondern mich auch beim Durchlesen nach den Feldgleichungen der Gravitation unterstützte.

A. Prinzipielle Erwägungen zum Postulat der Relativität.

§1. Die spezielle Relativitätstheorie.

Das spezielle Relativitätstheorie Postulat liegt ~~folgendes~~ ^{theorie} folgendes Postulat zugrunde, welches auch durch die Galilei-Newton'sche Mechanik George geleistet wird: Wird ein Koordinatensystem K so gewählt, dass Bewegung auf dasselbe die physikalischen Gesetze in ihrer einfachsten Form gelten, so gelten dieselben Gesetze auch in Bezug auf jedes andere Koordinatensystem K', das relativ zu K in gleichförmiger Translationsbewegung begriffen ist. Das Postulat nennen wir R₀, spezielles Relativitätsprinzip. Durch das Wort "speziell" soll angedeutet werden, dass das Prinzip auf dem

THE COLLECTED PAPERS OF
GESAMMELTE SCHRIFTEN

Albert Einstein

VOLUME/BAND 6

THE BERLIN YEARS / DIE BERLINER JAHRE:
WRITINGS / SCHRIFTEN,
1914-1917



A. J. Cox, Martin J. Klein, AND Robert Schulmann,
EDITORS

$$R_{\mu\nu} - g_{\mu\nu} \left(\frac{1}{2} R_S + \Lambda \right) = -8\pi G T_{\mu\nu}$$



GÉOMÉTRIE DE L'UNIVERS
LE CONTENANT



L'ENERGIE DE L'UNIVERS
LE CONTENU

Solutions des équations d' Einstein $g_{\mu\nu}$?

Paramètres cosmologiques ?

- Radiation Ω_R
- Matière Ω_M
- Courbure Ω_K
- Autre Ω_Λ

GÉNÉRALISATION DES ÉQUATIONS D'EINSTEIN

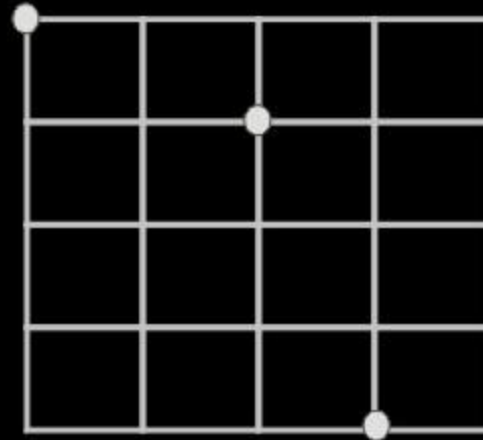
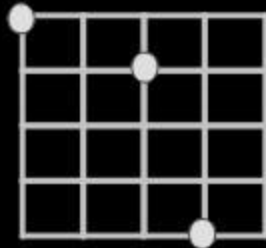
$$\text{Solution } g_{\mu\nu} = g_{\mu\nu}(t)$$



Possibilité que l' Univers soit
non statique !



La distance entre les objets
« *croît* » au cours du temps





Si l'Univers se dilue au cours du temps
alors antérieurement

température plus importante
densité plus importante

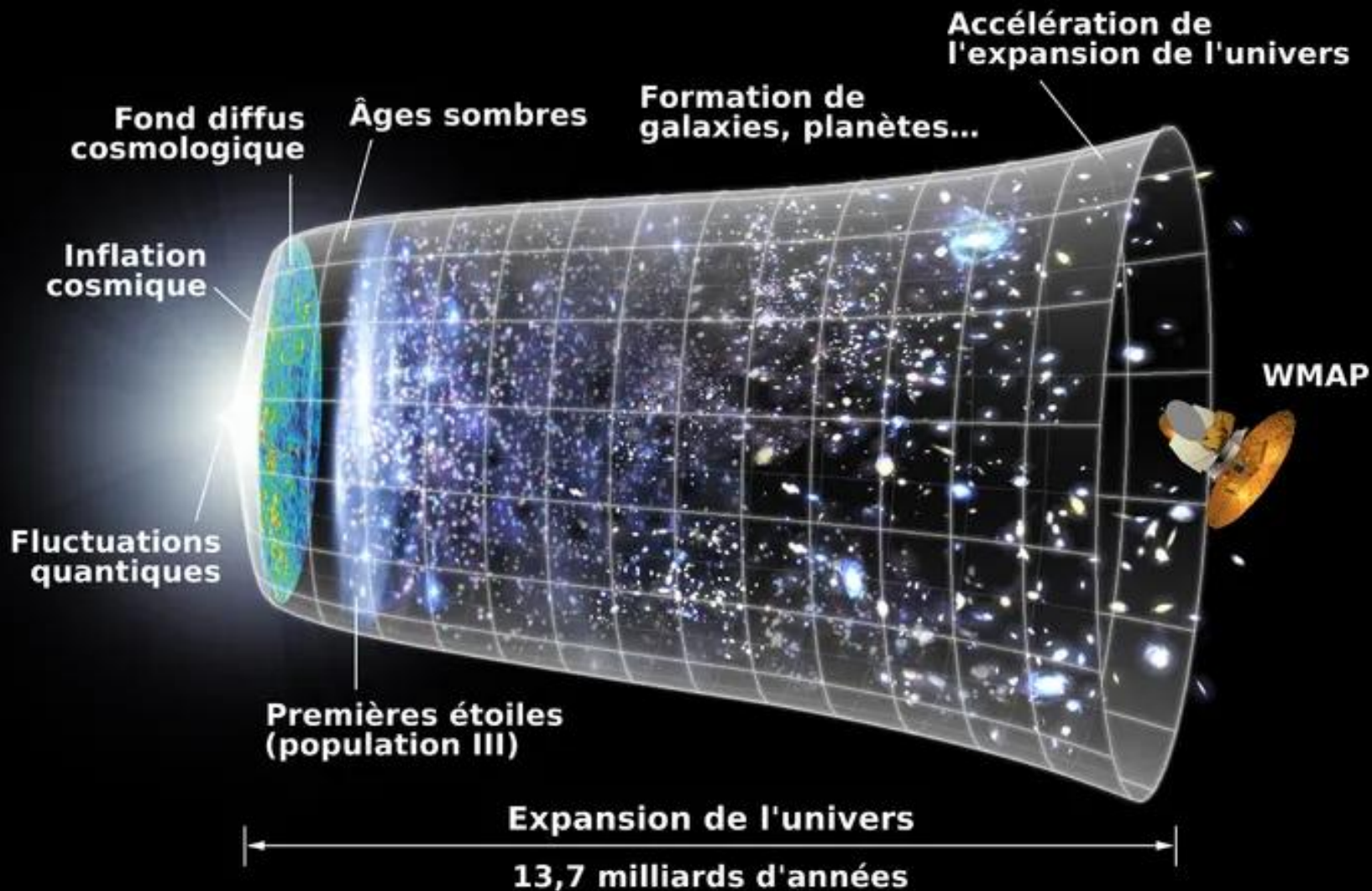


Conditions physiques différentes

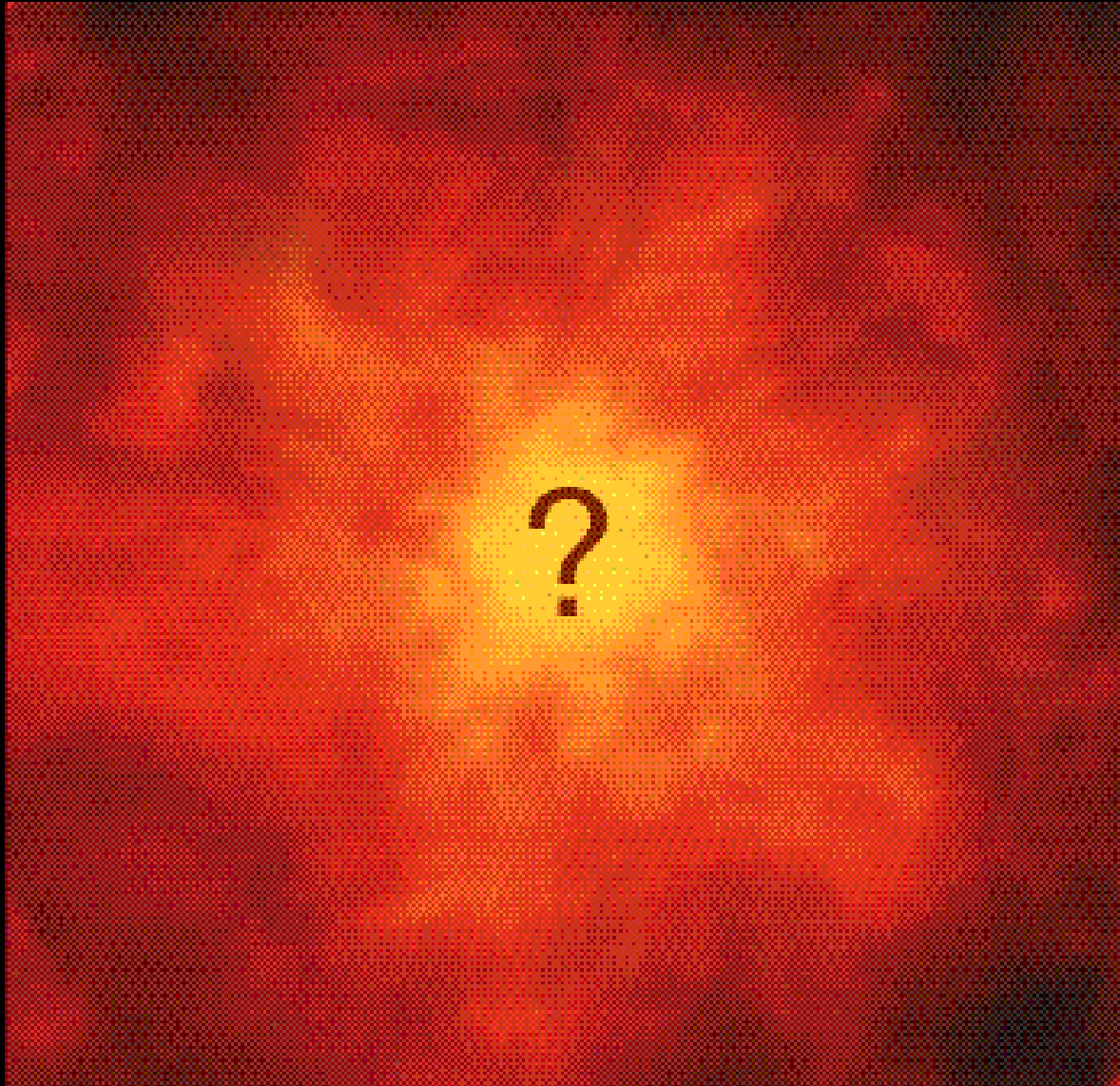
L'Univers évolue !



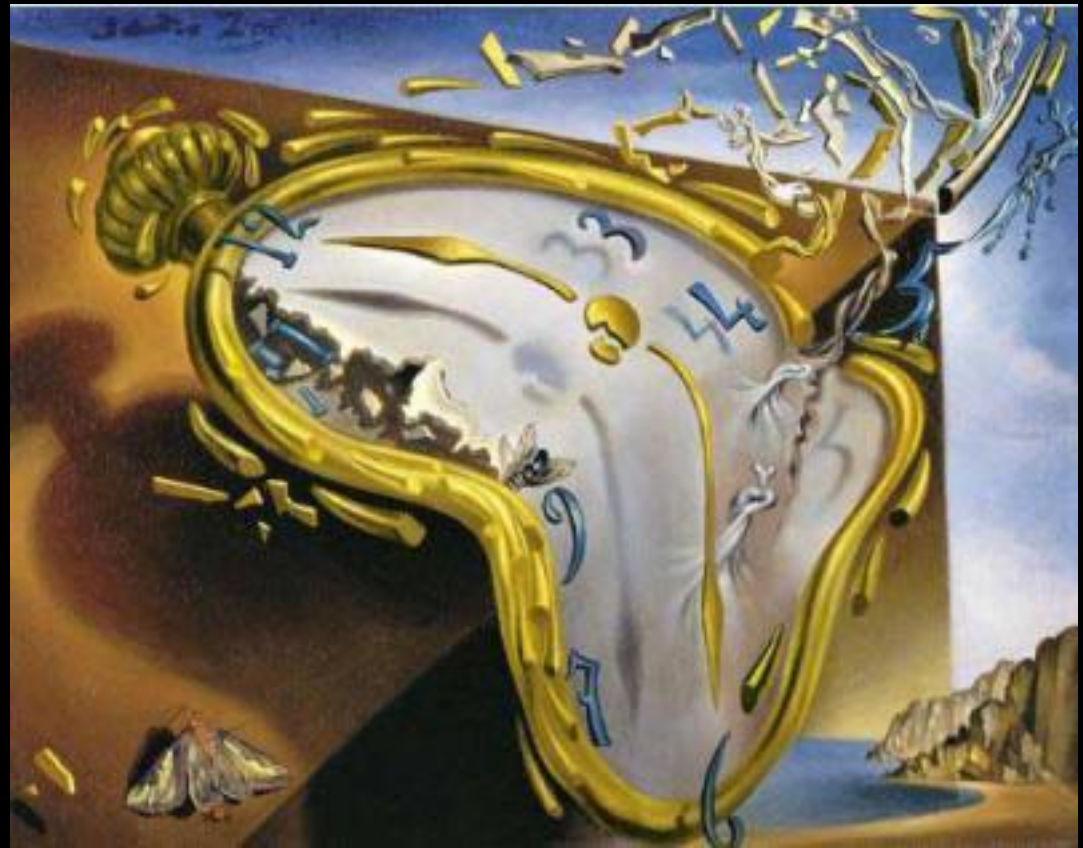
Possibilité de raconter
une histoire de l'Univers ...



Conditions initiales ... ?



On déclenche
le chronomètre !



« La persistance de la mémoire
Salvadore Dali - Musée Figueres

Température et densité ... « infinies »

$$t = 10^{-4} \text{ s} \quad (0.0001 \text{ s})$$

Transition Quarks - Hadrons

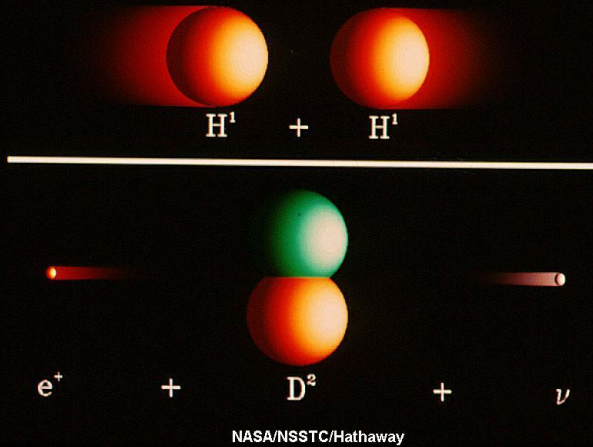
Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

	Q	S	Contenu en quarks	Masse MeV/c^2	Durée de vie s	Modes de désintégration
<i>p</i>	+1	0	<i>uud</i>	938,27	∞	
<i>n</i>	0	0	<i>udd</i>	939,57	888,6	<i>p\bar{p}</i>
Λ	0	-1	<i>uds</i>	1115,7	$2,63 \cdot 10^{-10}$	$p\pi^-, n\pi^0$
Σ^+	+1	-1	<i>uus</i>	1189,4	$0,8 \cdot 10^{-10}$	$n\pi^+, p\pi^0$
Σ^0	+0	-1	<i>uds</i>	1192,5	$7,4 \cdot 10^{-20}$	$\Lambda\gamma$
Σ^-	-1	-1	<i>dds</i>	1197,4	$1,5 \cdot 10^{-10}$	$n\pi^-$
Ξ^0	0	-2	<i>ssu</i>	1314,9	$2,9 \cdot 10^{10}$	$\Lambda\pi^0$
Ξ^-	-1	-2	<i>ssd</i>	1321,3	$1,6 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda\pi^-$
Δ^{++}	+2	0	<i>uuu</i>	1231	$0,6 \cdot 10^{-23}$	$p\pi^+$
Δ^+	+1	0	<i>uud</i>	1235	$0,6 \cdot 10^{-23}$	$p\pi^0, n\pi^+$
Δ^0	0	0	<i>udd</i>	1234	$0,6 \cdot 10^{-23}$	$p\pi^-, n\pi^0$
Δ^-	-1	0	<i>ddd</i>	1234	$0,6 \cdot 10^{-23}$	$n\pi^-$
Σ^{*+}	+1	-1	<i>uus</i>	1383	$2 \cdot 10^{-23}$	$\Lambda\pi^+$
Σ^{*0}	0	-1	<i>uds</i>	1384	$2 \cdot 10^{-23}$	$\Lambda\pi^0$
Σ^{*-}	-1	-1	<i>dds</i>	1387	$2 \cdot 10^{-23}$	$\Lambda\pi^-$
Ξ^{*0}	0	-2	<i>ssu</i>	1532	$7 \cdot 10^{-23}$	$\Xi^-\pi^+, \Xi^0\pi^0$
Ξ^{*-}	-1	-2	<i>ssd</i>	1535	$7 \cdot 10^{-23}$	$\Xi^-\pi^0, \Xi^0\pi^-$
Ω	-1	-3	<i>sss</i>	1672	$0,8 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda K^-, \Xi^0\pi^-, \Xi^-\pi^0$

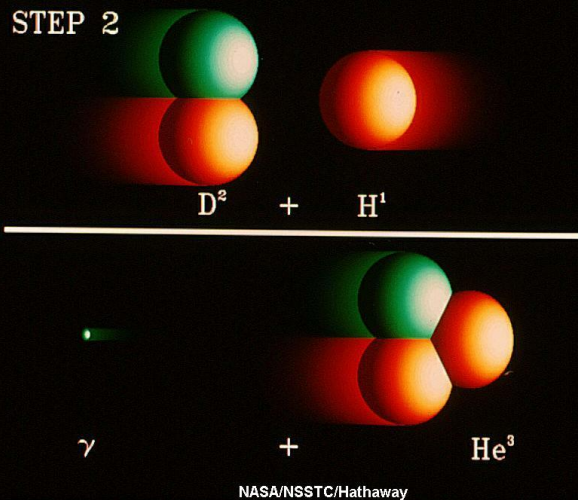
$t = 100 \text{ s}$

Début de la nucléosynthèse primordiale

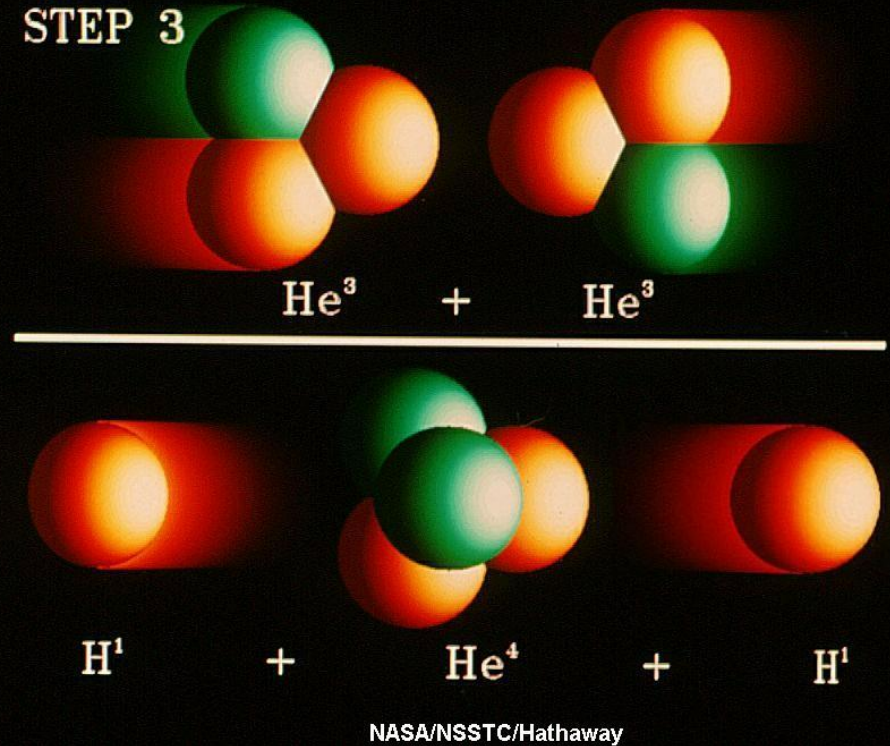
STEP 1



STEP 2



STEP 3



t = 5 minutes

Fin de la nucléosynthèse primordiale

NOYAUX FORMÉS

Noyaux d'Hydrogène (protons) $\approx 89 \%$

Noyaux d'Helium $\approx 11 \%$

Noyaux de Deuterium $\approx 3 \cdot 10^{-5} \%$

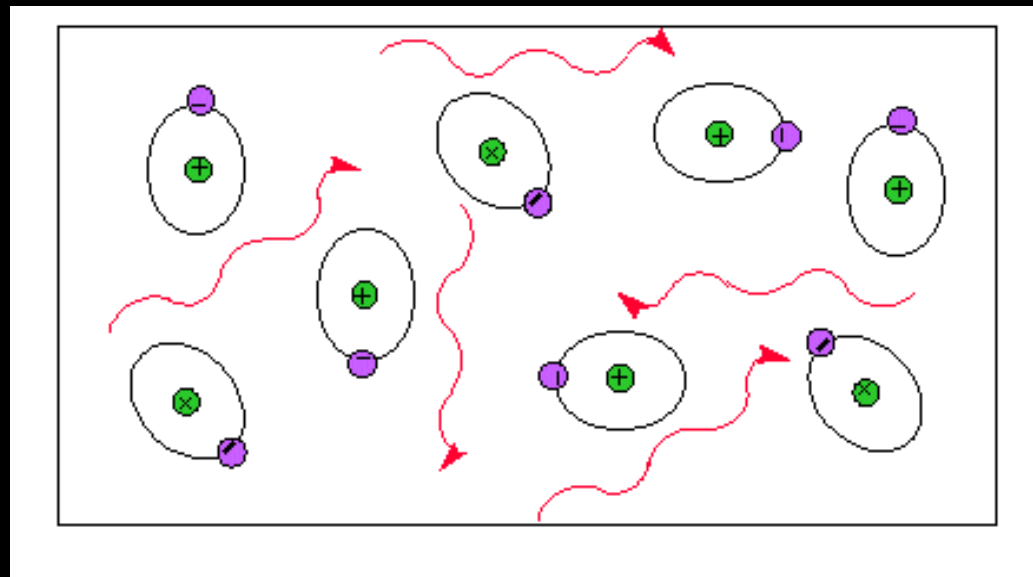
Noyaux de Lithium $\approx 3 \cdot 10^{-10} \%$

UNIVERS PRIMORDIAL OPAQUE AU RAYONNEMENT

Les électrons libres vont se « combiner »
avec les noyaux primordiaux He, H, D et Li



Formation d'atomes (système lié noyaux + électrons)
Découplage électrons-photons



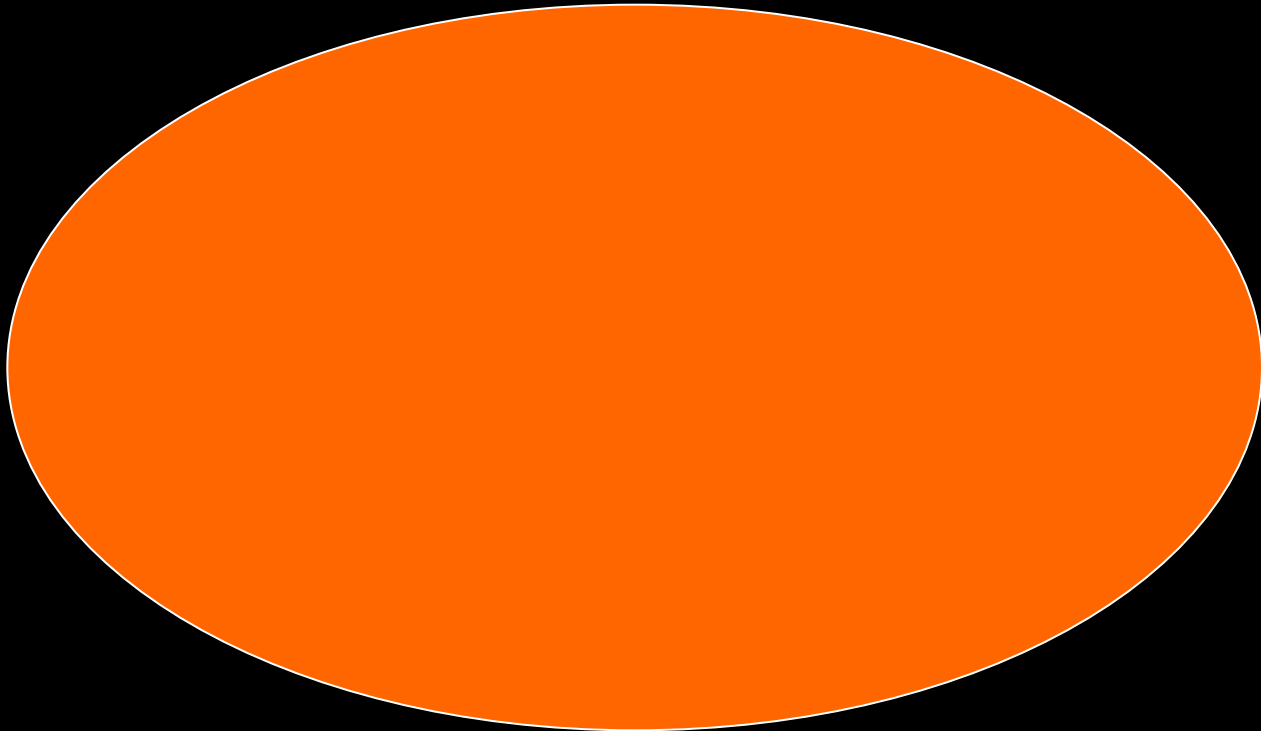
$t = 300\ 000$ ans

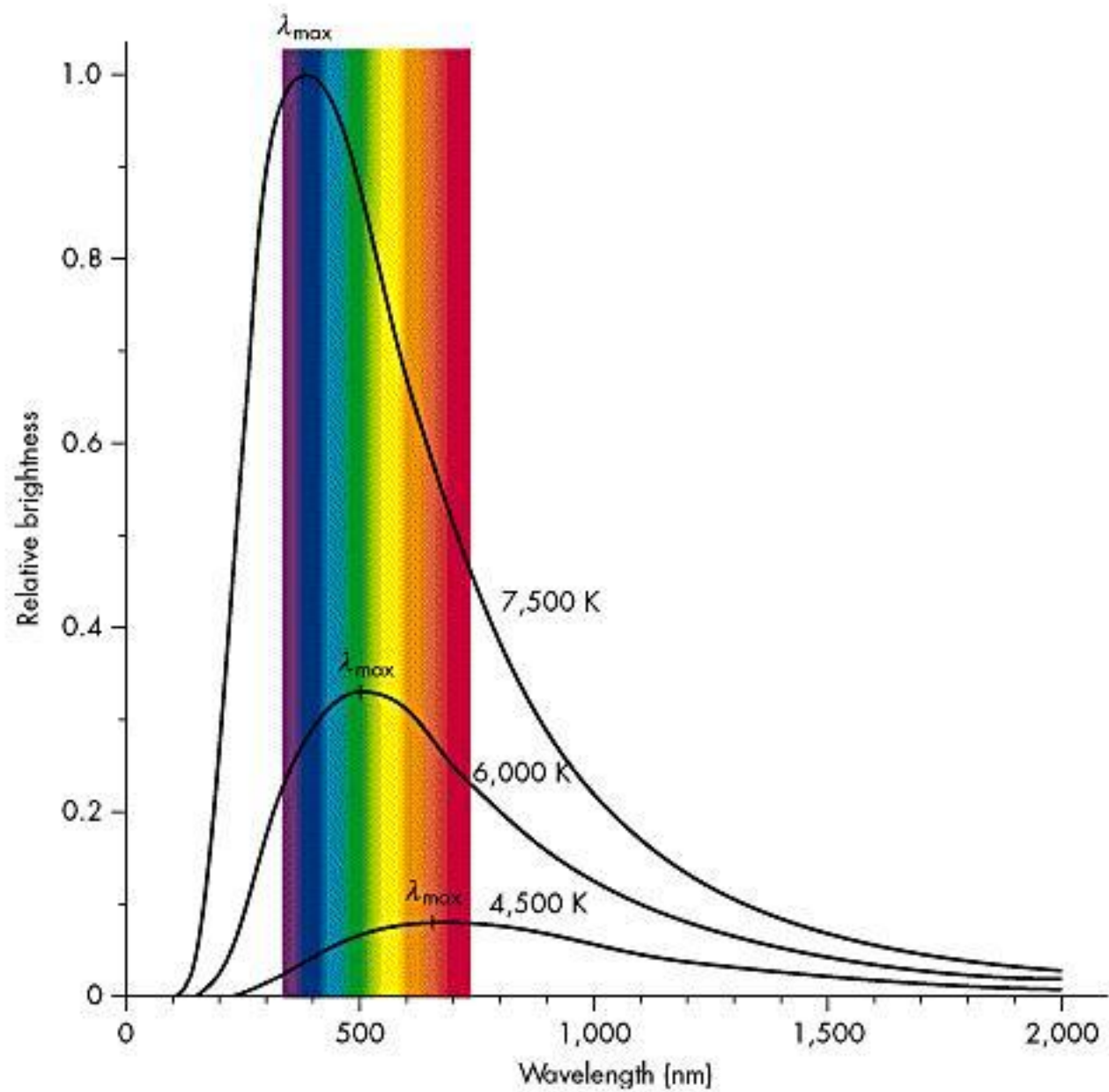
rayonnement se propage

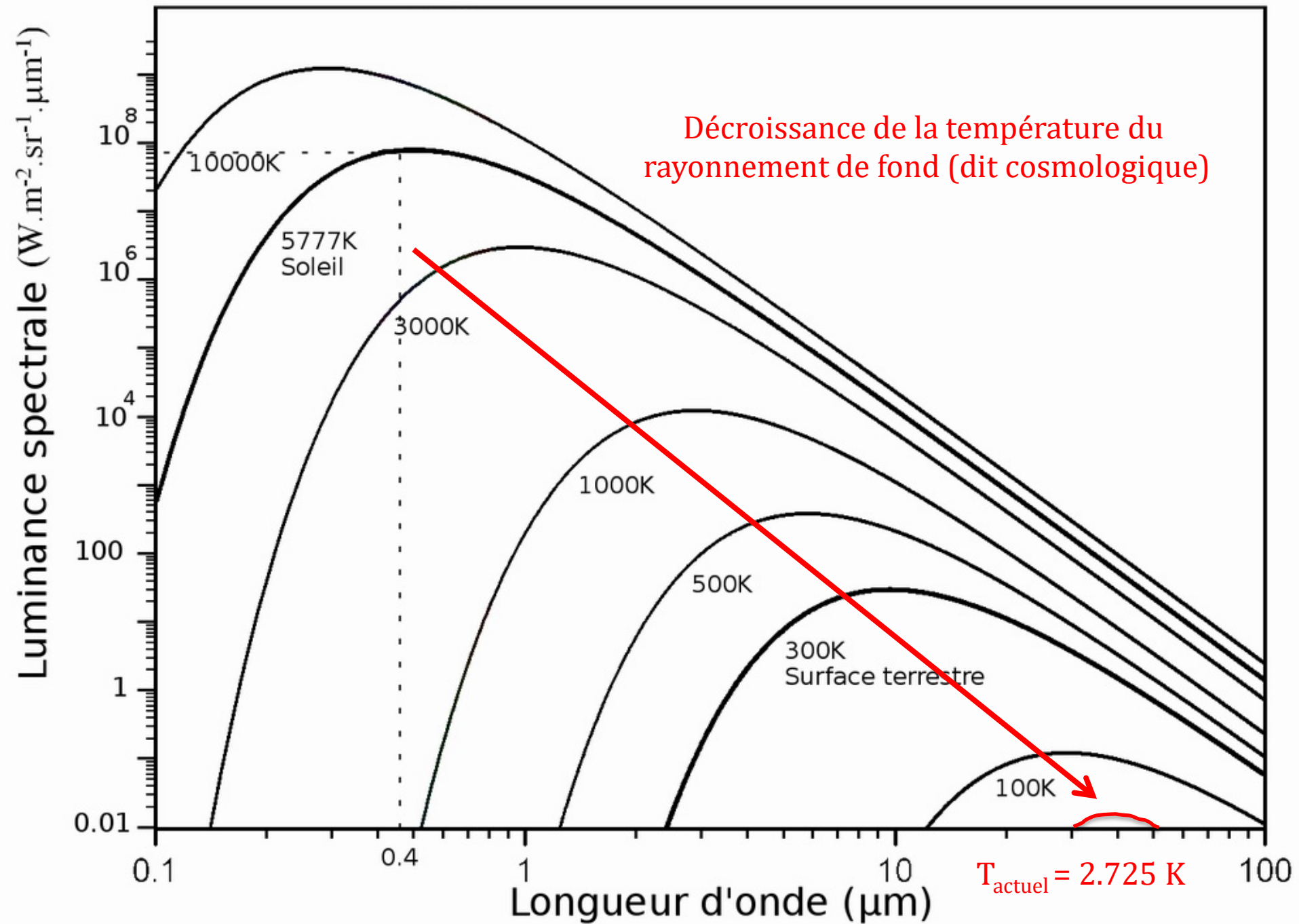
L'UNIVERS DEVIENT TRANSPARENT À LA LUMIÈRE

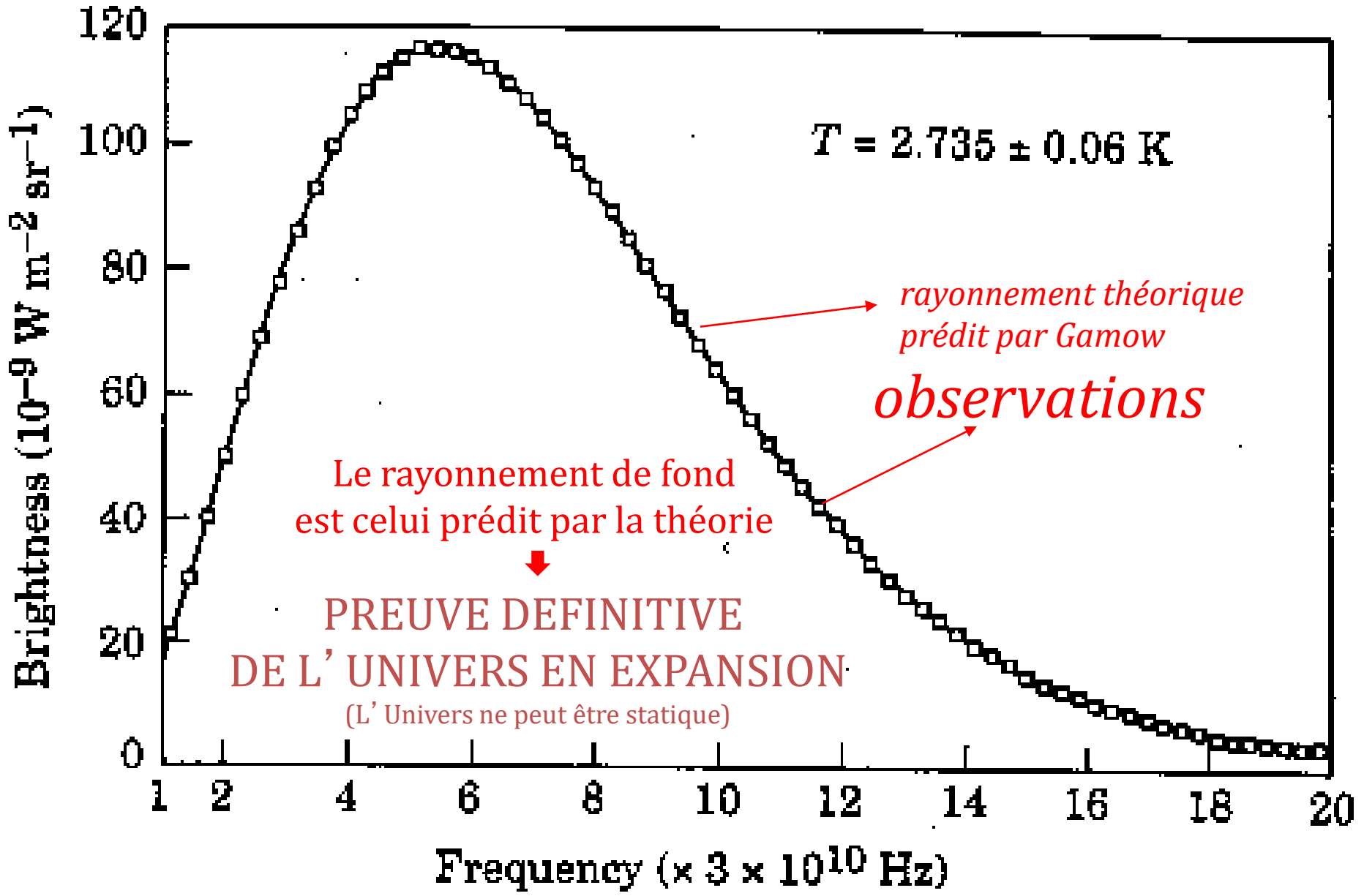
Constitution d'un rayonnement de fond

La première lumière de l'Univers !









Prix Nobel de Physique 2006

*Contribution à la mesure du rayonnement
de fond cosmologique*



John Mather
(NASA)
Satellite COBE

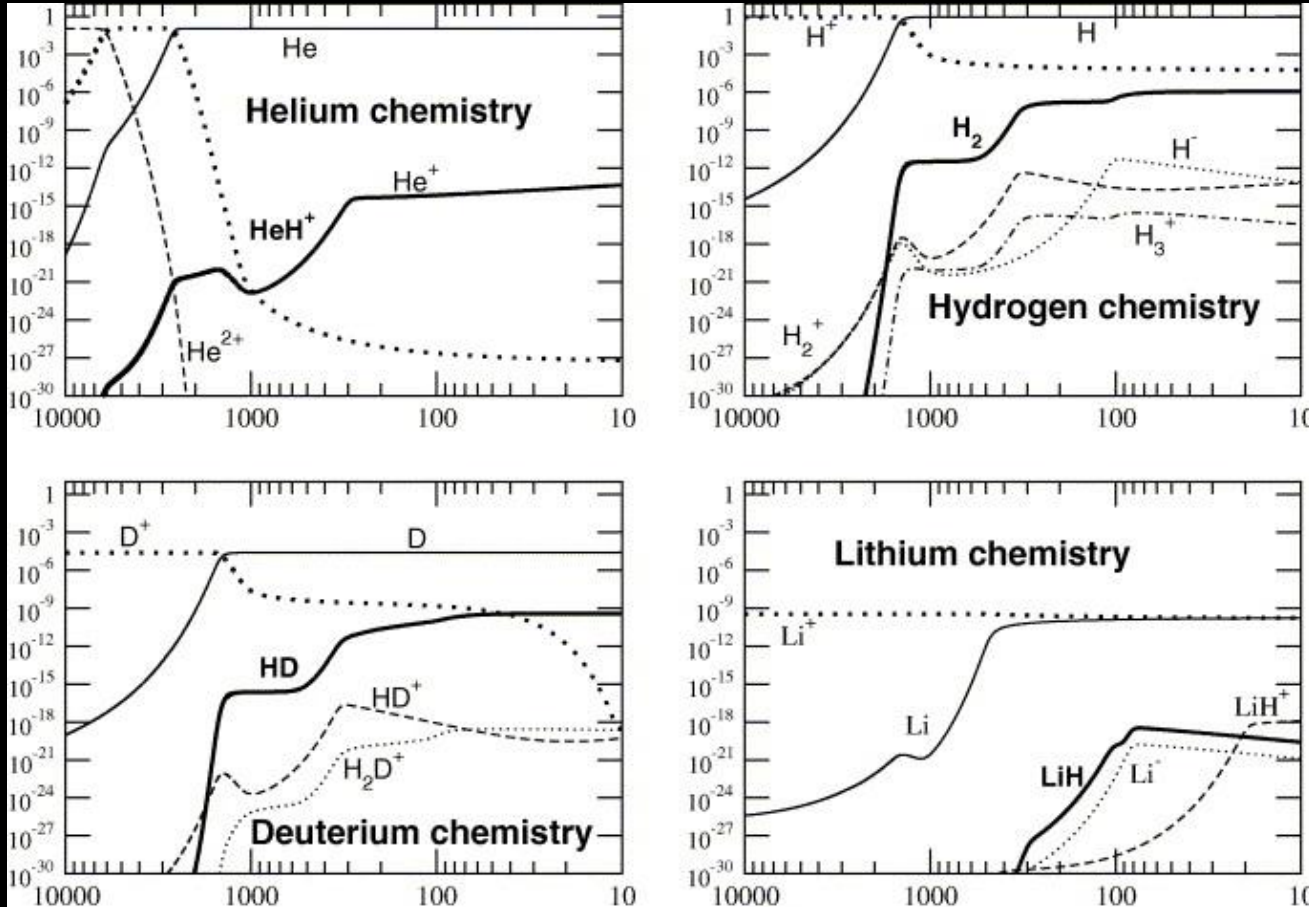


Georges Smoot
(Université Berkeley & Paris)
Satellite WMAP



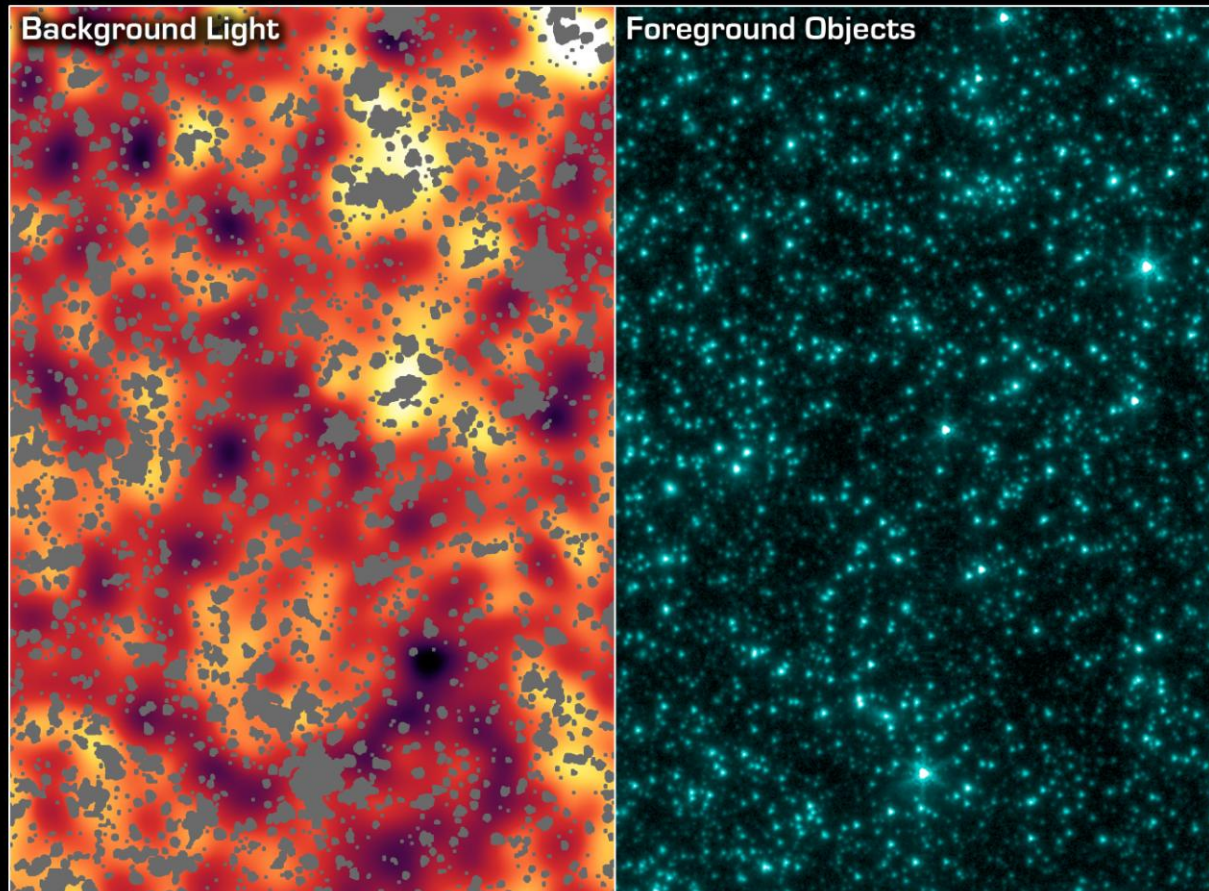
t = 1 à 15 millions d'années

Formation des molécules H₂ - HD - LiH



t = 50 millions d'années

Étoiles Primordiales

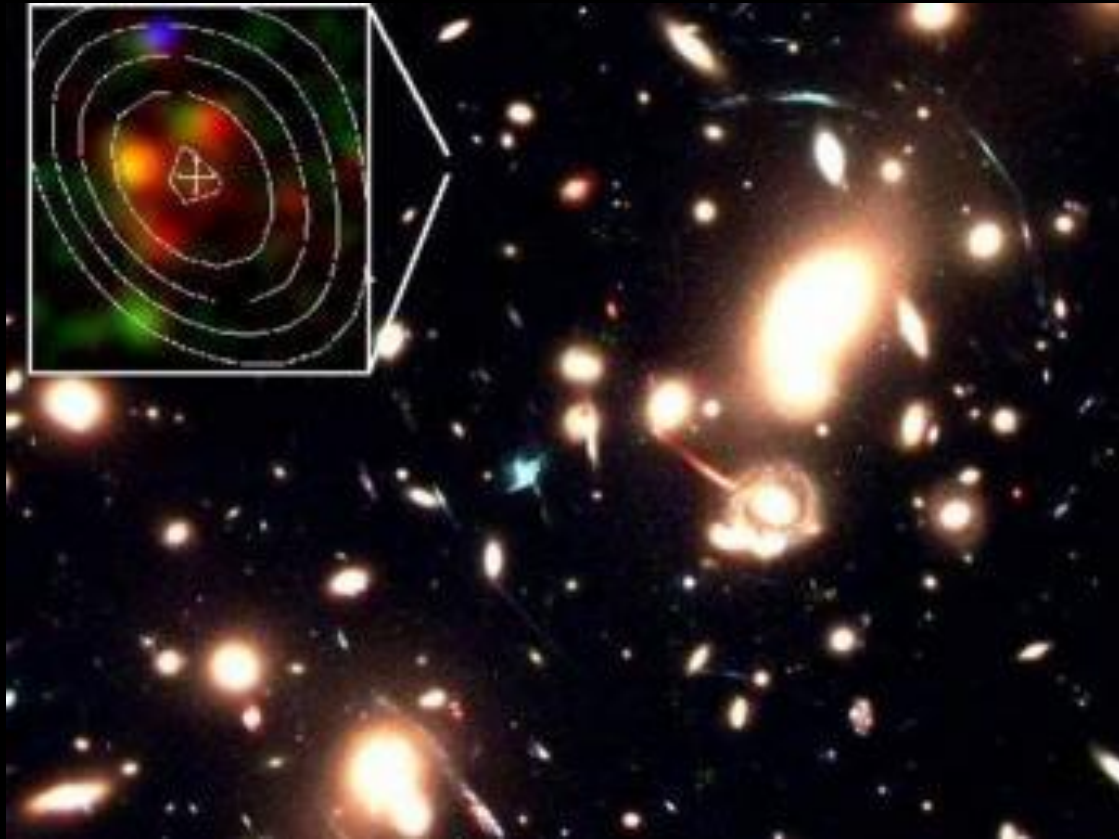


First Light after the Universe's "Dark Ages"
NASA / JPL-Caltech / A. Kashlinsky (GSFC)

Spitzer Space Telescope • IRAC
ssc2006-22a

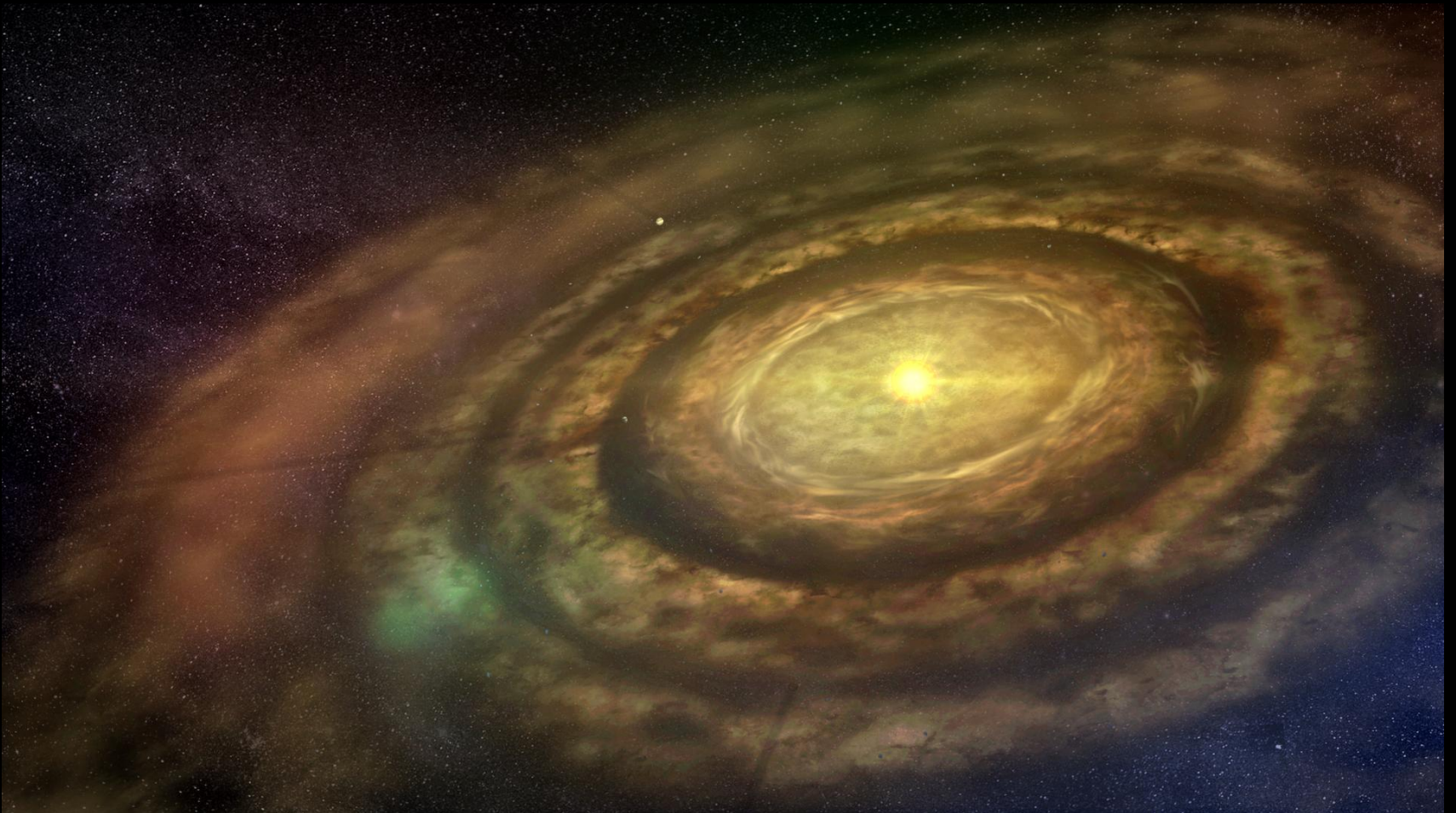
t = 1 milliards d'années

Galaxies Primordiales



$t = 8$ milliards d'années

Formation du système solaire
dans notre Galaxie



t = 9 milliards d'années

Formation de la Terre autour du Soleil



$t = 10$ milliards d'années

Apparition des protozoaires sur Terre



t = 13 milliards d'années

Organismes multicellulaires sur Terre



Fossile de Dickinsonia Costata (Adélaïde, Australie)

t = 13.693 milliards d'années

Toumai



$t = 13.699\ 994$ milliards d'années



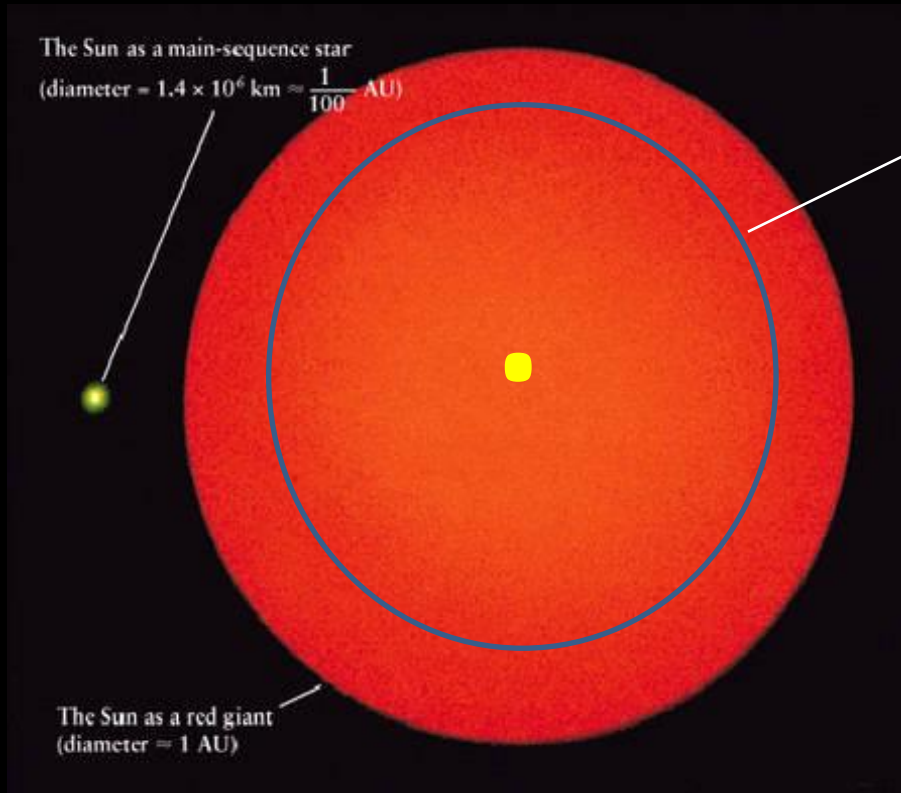
t = 13.7 milliards d'années



Et le futur ?

t = 18 milliards d'années

Le Soleil devient une géante rouge



Destruction de la Terre dans
5 milliards d'années

$$R_{\mu\nu} - g_{\mu\nu} \left(\frac{1}{2} R_S + \Lambda \right) = -8\pi G T_{\mu\nu},$$

Λ ?

Une Energie noire qui représenterait 70 %
du contenu énergétique global



BIG CRUNCH

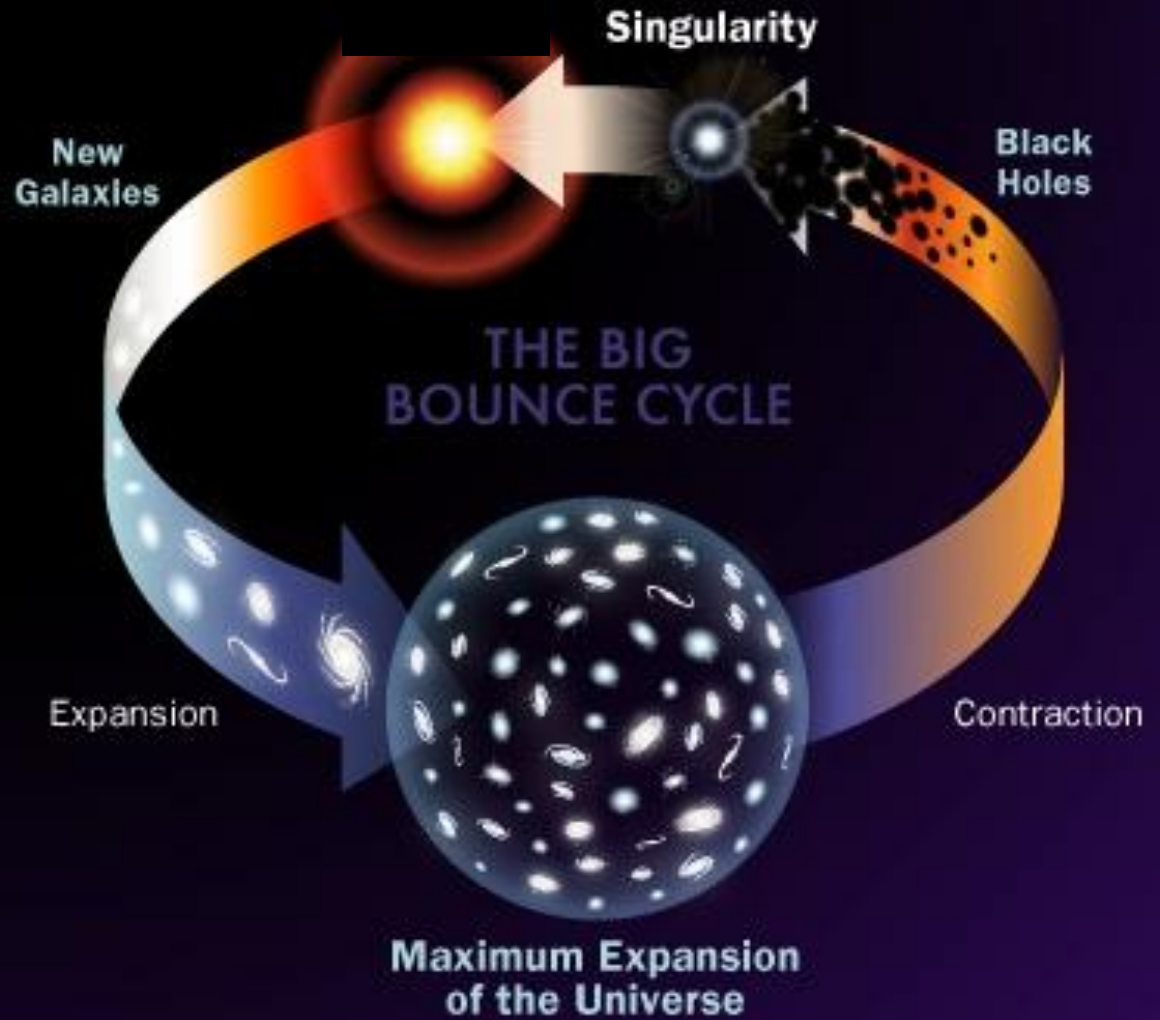
BIG RIP

BIG FREEZE

Big Crunch

ou

Singularité Tu étais,
Singularité Tu retourneras



Big Rip

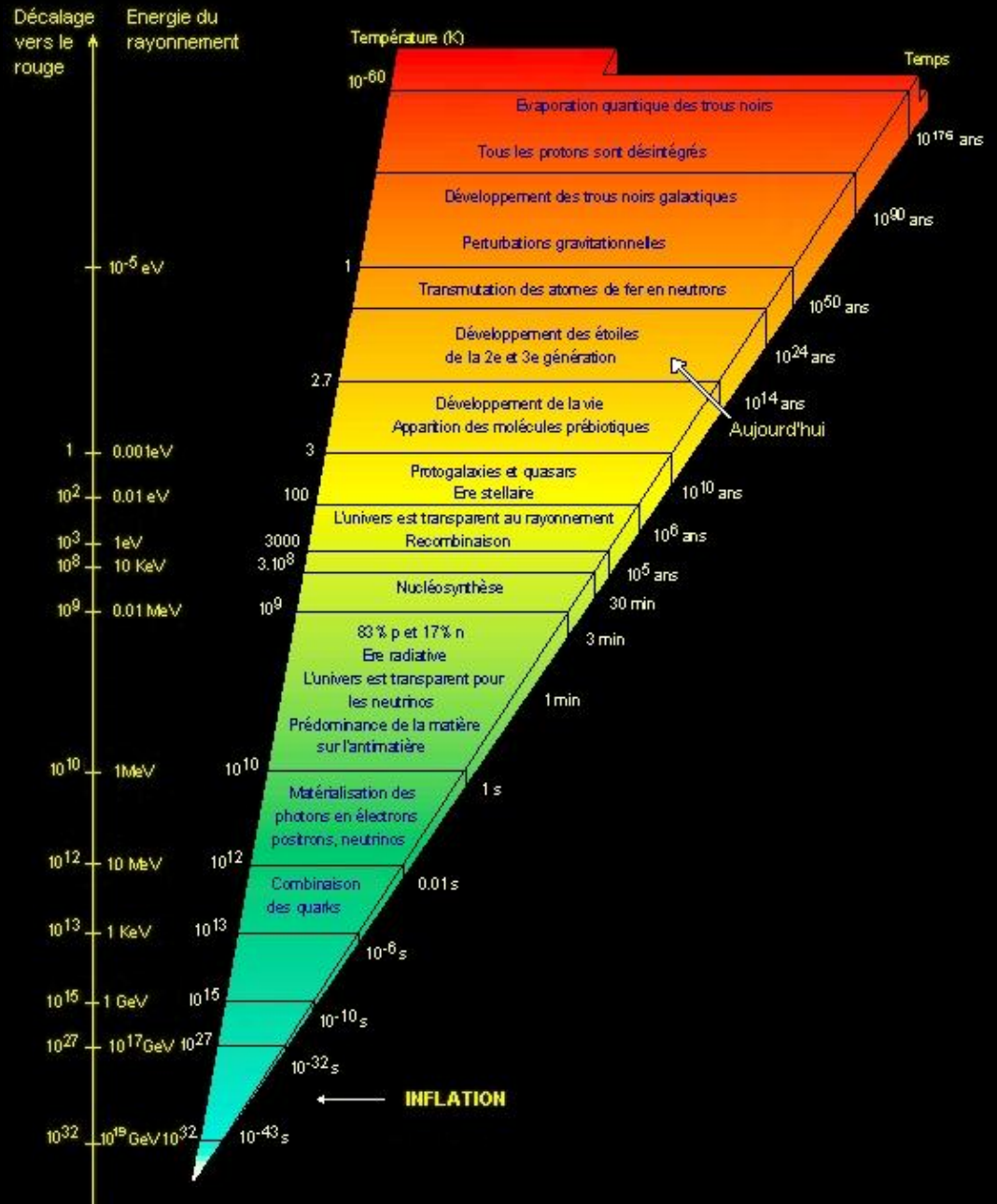
ou

La matière
se « déchire »

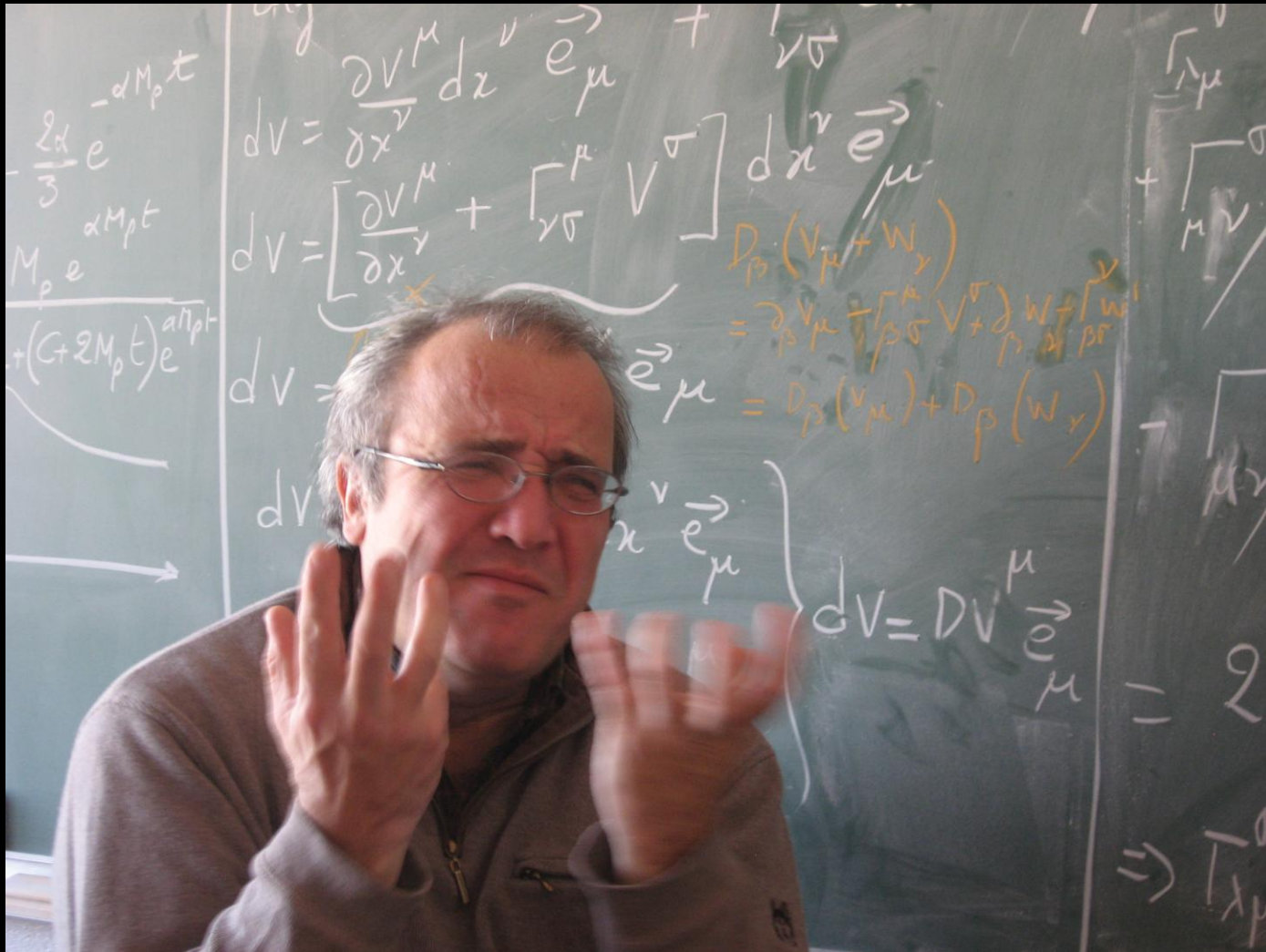


L' énergie sombre augmente de plus en plus
Emballement de l' expansion
Les objets deviennent
de moins en moins liés ...

Big Freeze ou La Mort Glacée

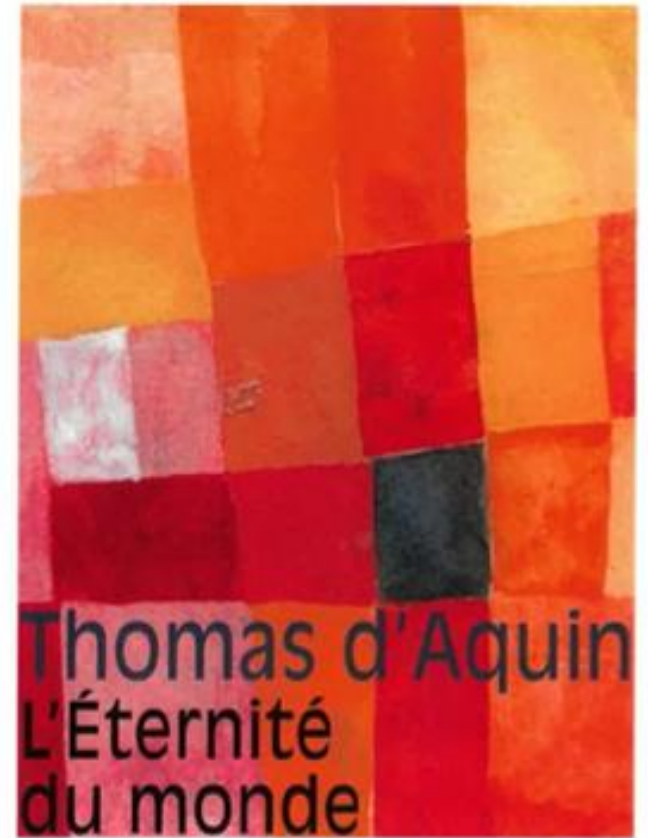


Quel est la place de l'homme ?



Saint Thomas d'Aquin
pose la question
de la durée du monde

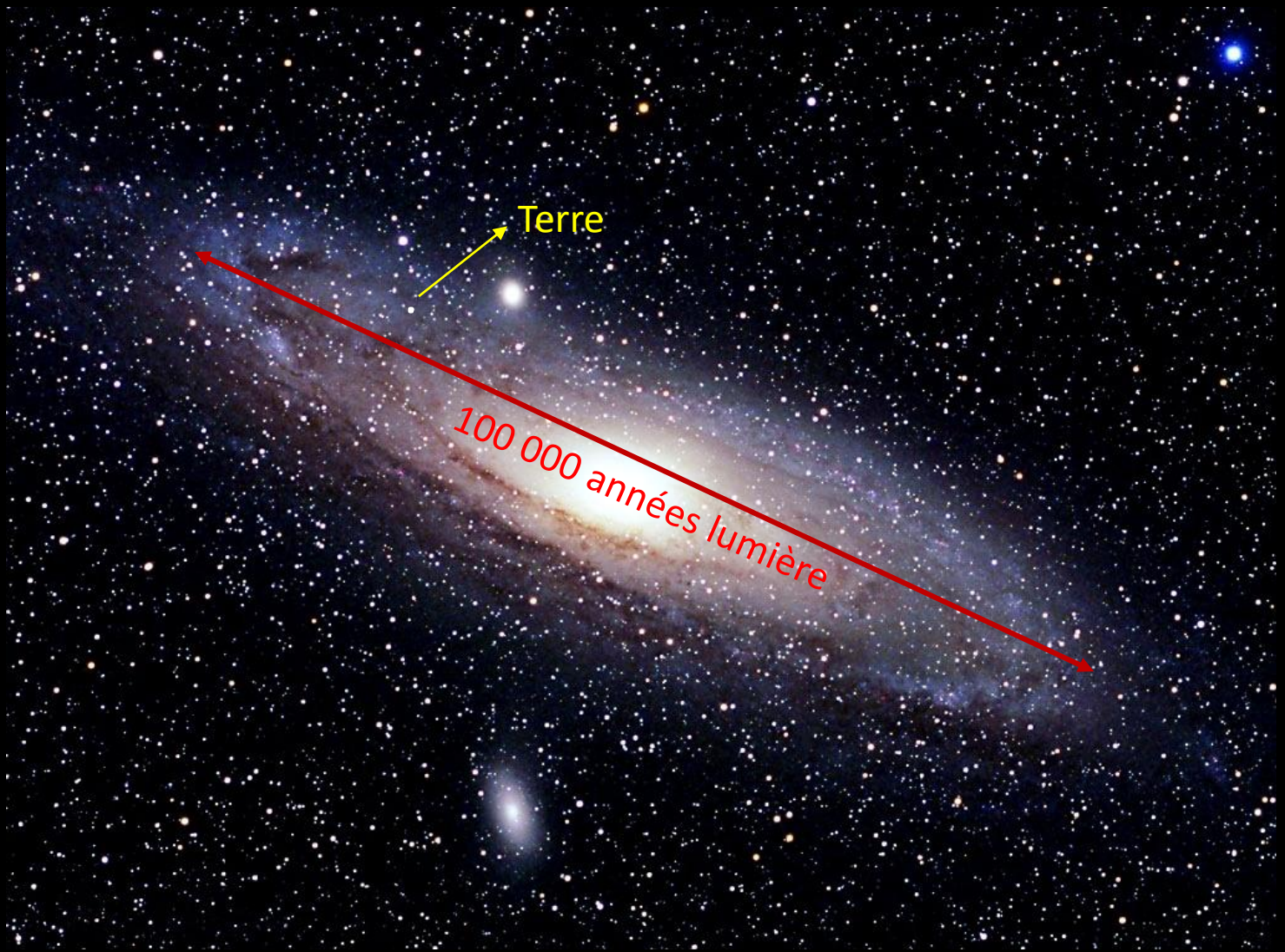
- Soit **le monde possède une durée illimitée**, autrement dit le monde existe depuis toujours, de toute éternité, ce qui signifie que **l'être qui appartient à notre Univers n'a jamais eu aucun commencement, n'a jamais été non-être.**
- Soit **le monde possède une durée limitée**, autrement dit le monde existe depuis un commencement quelconque, ce qui signifie que **l'être qui appartient à notre Univers a succédé au non-être, donc que cet être a été d'abord non existant, puis est devenu existant.**



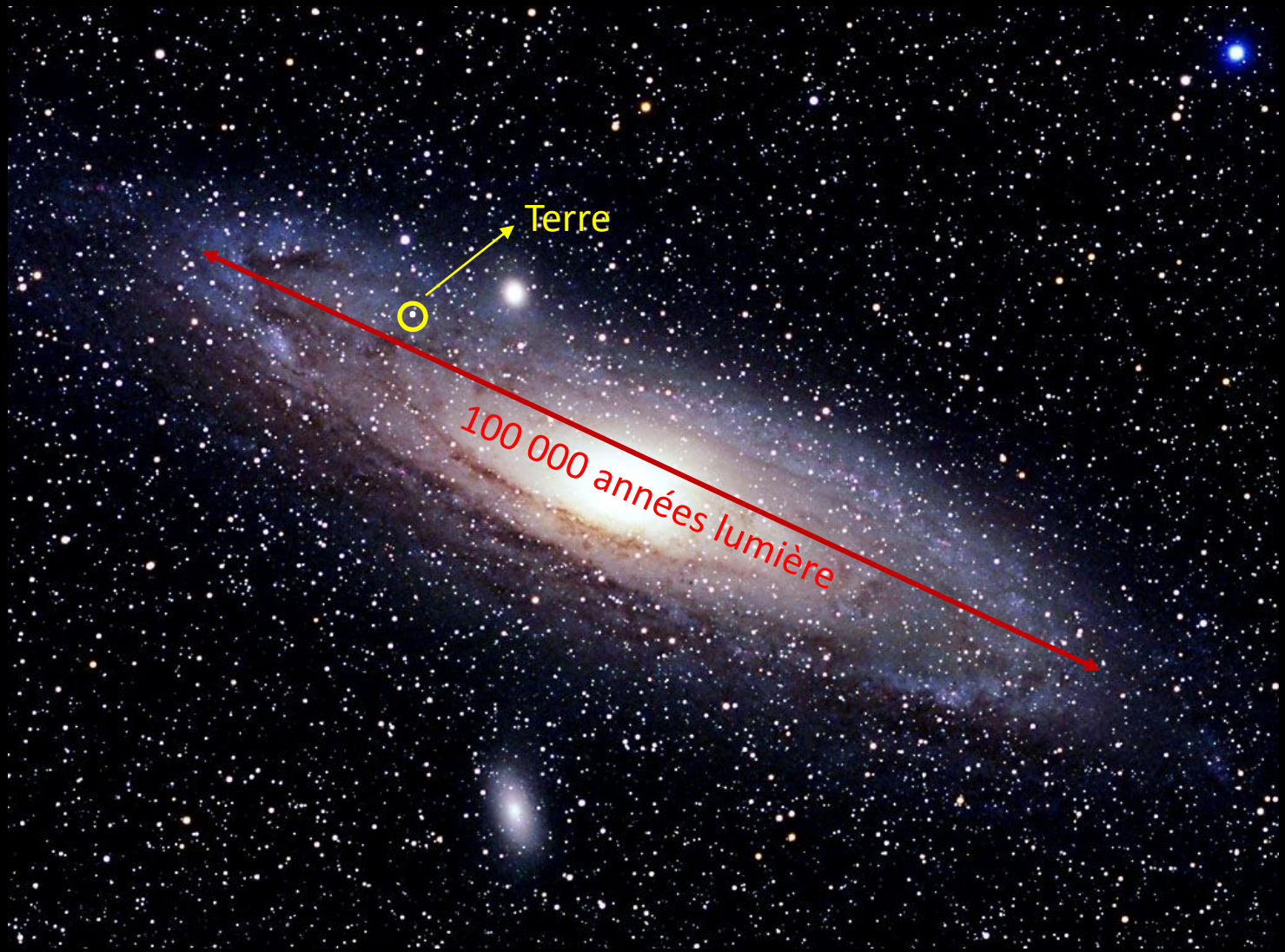
VRIN

tes philosophiques

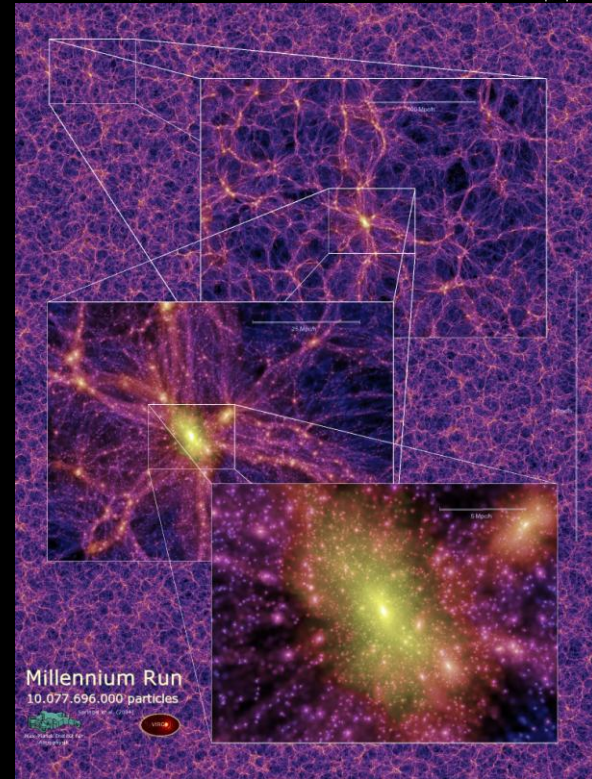
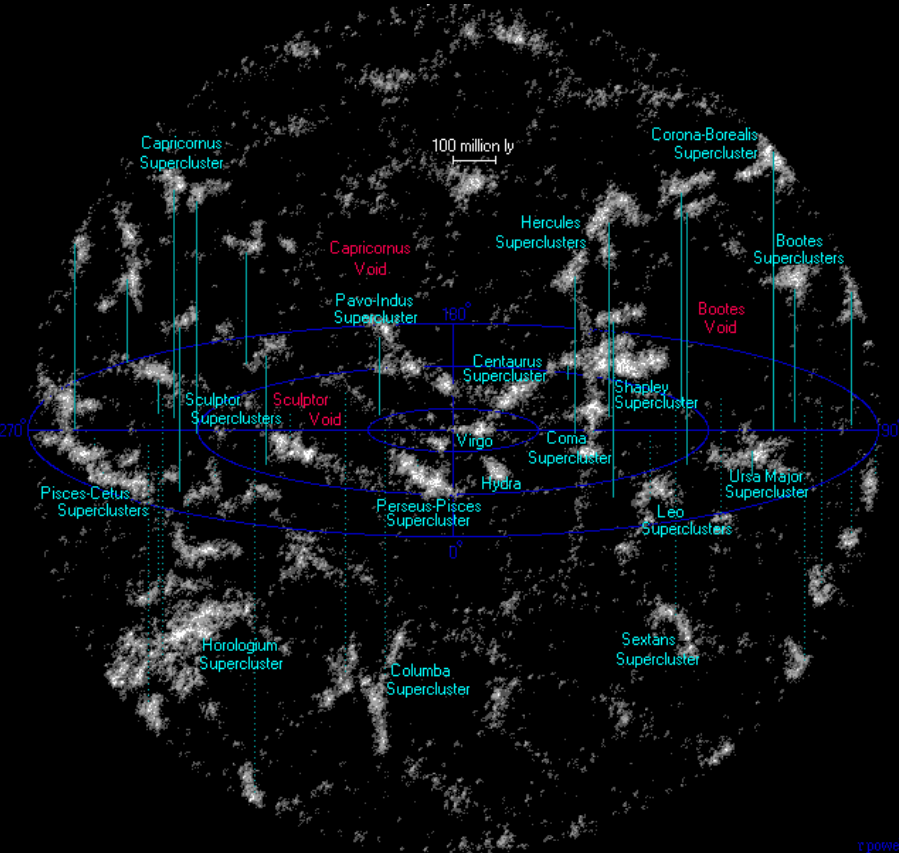
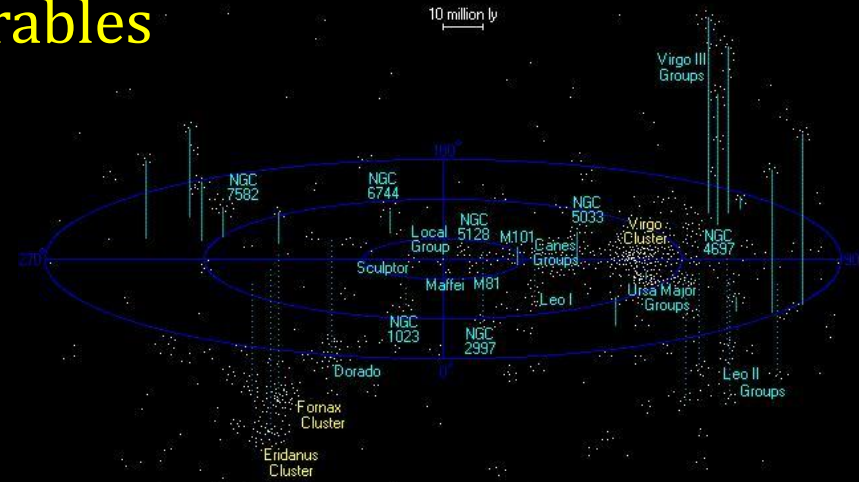
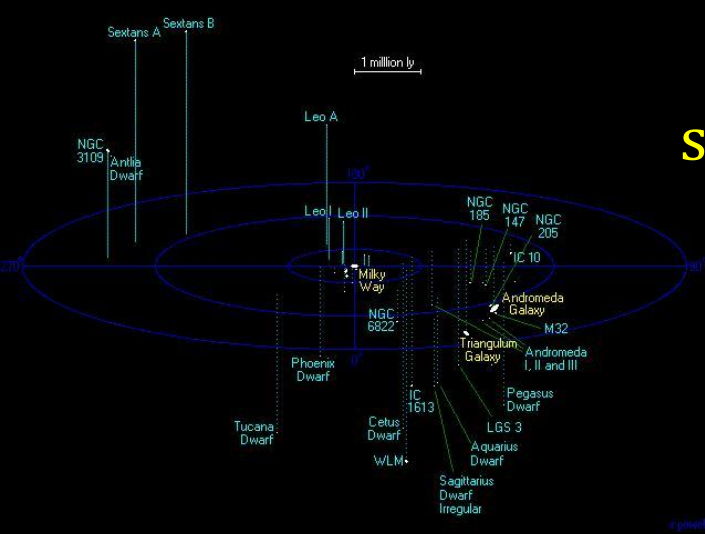
Sommes nous seuls ?



Sphère de Marconi (150 années lumière)



Les distances sont considérables



Paradoxe de Fermi



Enrico FERMI
(1901-1954)

Pourquoi l'humanité n'a, jusqu'à présent, trouvé aucune trace de civilisations extraterrestres, alors que le Soleil est plus jeune que beaucoup d'étoiles situées dans notre Galaxie ?

Selon Enrico FERMI, des civilisations plus avancées auraient du apparaître parmi les système planétaires plus âgés et laisser des traces visibles depuis la Terre telles les ondes radio.

« Si il y avait des civilisations extraterrestres, leurs représentants devraient être déjà sur Terre.
Ou sont-ils donc ? »

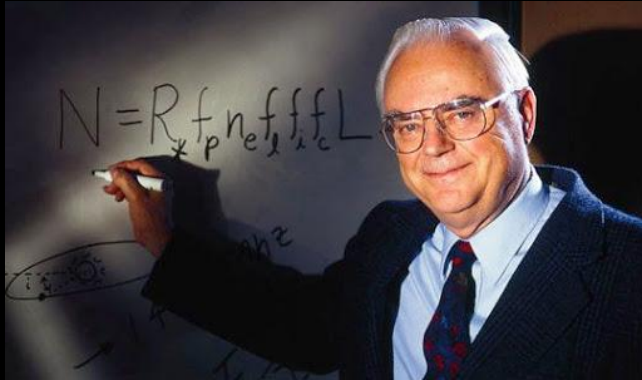
Paradoxe de Fermi



Carl SAGAN
(1934-1996)

- Il se peut que la probabilité d'apparition d'une civilisation technologiquement avancée soit très faible. Une chance de se produire dans un Univers tel que le notre.
- Il se peut que les extraterrestres existent mais que, pour une raison ou une autre, la communication et le voyage interstellaire soient impossibles ou ne soit pas jugés souhaitables (cout ...).
- Il se peut que la vie existe ailleurs, mais en des lieux rendant sa détection difficile (ex: Océans protégés par une couche de glace).
- Il se peut que les extraterrestres existent et nous rendent visite mais d'une manière indétectable avec les moyens techniques actuels.

Équation de Drake



Frank DRAKE
(1930-)

Équation d'estimation du nombre potentiel de civilisations dans notre Galaxie avec qui nous pourrions entrer en contact.

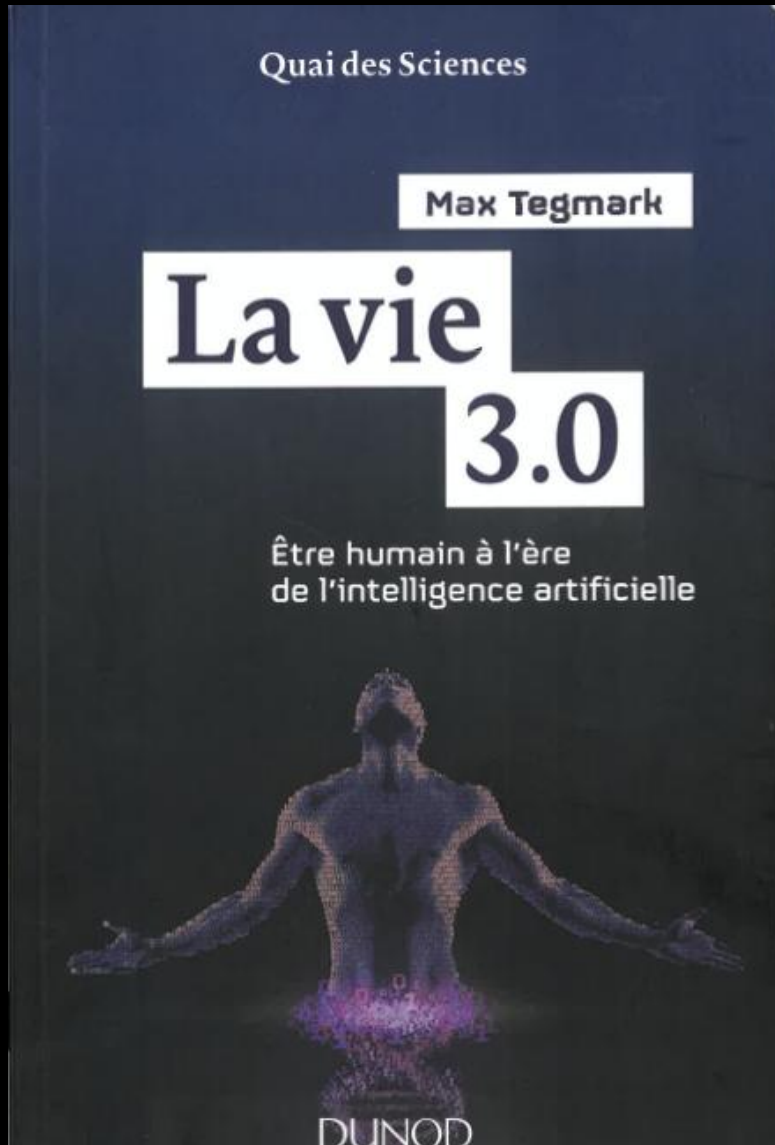
$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

- R^* est le nombre d'étoiles qui se forment annuellement dans notre galaxie ;
- f_p est la part des étoiles dotées de planètes ;
- n_e est l'espérance du nombre de planètes potentiellement propices à la vie par étoile ;
- f_l est la part de ces planètes où la vie apparaît effectivement ;
- f_i est la part de ces planètes où apparaît la vie intelligente ;
- f_c est la part de ces planètes capables et désireuses de communiquer ;
- L est la durée de vie moyenne d'une civilisation, en années.

- $R^* = 10$ /an ;
- $f_p = 0,5$;
- $n_e = 2$;
- $f_l = 1$;
- $f_i = f_c = 0,01$;
- $L = 10\ 000$ ans.

Ce qui donne $N = 10$ civilisations en mesure de communiquer dans la Voie Lactée.

Intelligence Artificielle



De quelle façon l'intelligence artificielle va-t-elle s'immiscer dans notre société ?

Les machines finiront-elles par nous surpasser ?

Ne sommes-nous pas en train de fabriquer ce qui fera notre perte ?

Rôle de l'IA au niveau de l'Univers ?

future
of life
INSTITUTE

Sa mission est de catalyser et de soutenir les recherches et les initiatives pour préserver la vie et développer des visions optimistes de l'avenir, en particulier des façons positives de développer et d'utiliser de nouvelles technologies.

Fondateurs : Max TEGMARK, Stephen HAWKING, Franck WILCZEK, Jaan TALLIN

Donateur : Elon MUSK

Y-A-T-IL INTENTIONALITÉ DE L'UNIVERS ?

- Les mathématiques sont très cohérentes ...
(N'y a-t-il une réalité sous-jacente)

- Nombre fondamentaux π , G , c , h
hasard ou intentionnalité ?

- Calcul des grands nombre de Dirac :

$$m_e c^2 / (H_0 h) = \text{taille de l'Univers observable}$$

La taille de l'Univers observable varie au cours du temps !

Masse des électrons $m_e = m_e(t)$: fonction du temps t ?

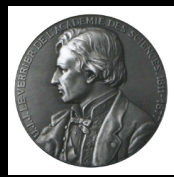
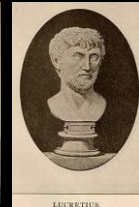
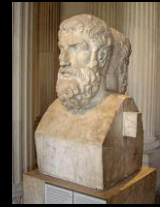
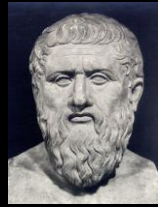
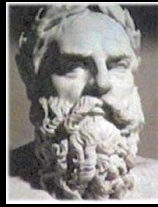
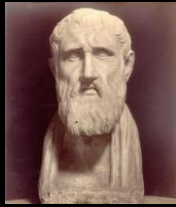
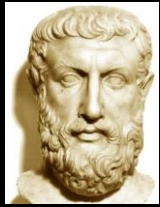
Vitesse de la lumière $c = c(t)$: fonction du temps t ?

Taux de croissance de l'Univers $H_0 = H_0(t)$: fonction du temps t ?

Constante de Planck $h = h(t)$; fonction du temps

Constante de la gravité $G = G(t)$: fonction du temps

Les constantes de la Physique pourraient varier au cours du temps



Merci Toumai



L'homme futur ?



© « L'Inconnu aux grandes oreilles » par Ch'Ko (2012)
artiste sculpteur peintre montpelliérain - collection privée
www.art-chko.com

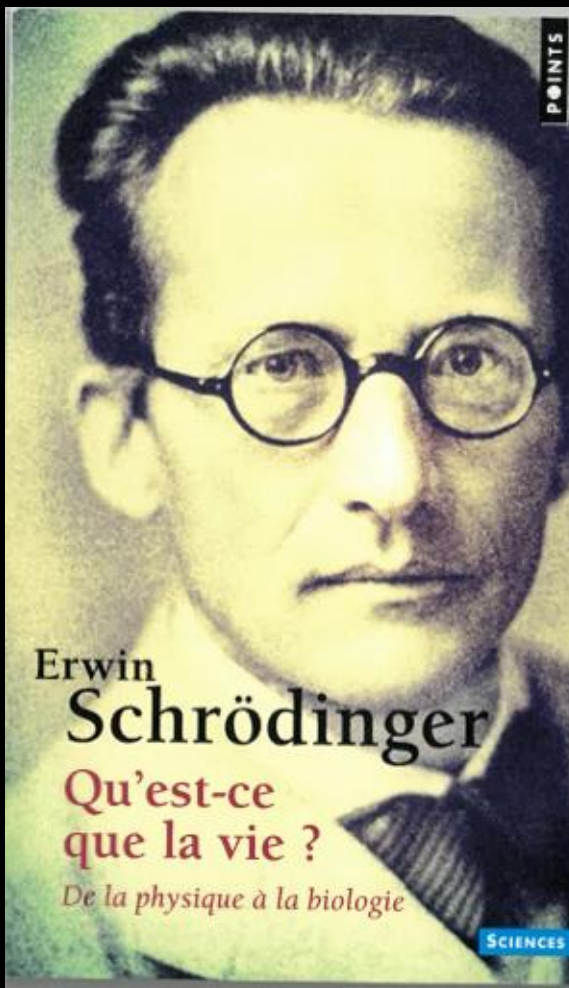
Erwin
Schrödinger

Physique quantique
et représentation
du monde

POINTS



SCIENCES



POINTS

Erwin
Schrödinger

Qu'est-ce
que la vie ?

De la physique à la biologie

SCIENCES

J.R.
DOS SANTOS

SIGNE
DE VIE

POCKET