

L'origine et l'évolution de l'univers

Julieta Fierro, Susana Deustua, Beatriz Garcia

Union Astronomique Internationale

Université Nationale Autonome du Mexique, Mexique

Space Telescope Science Institute, États-Unis

ITeDA et Université Technologique Nationale, Argentine



L'univers est tout :

Espace

Matière

Énergie

Le temps



Il est en évolution continue.

Chaque objet dans l'univers change,
ainsi que nos idées à leur sujet.

Cela fait moins d'un siècle que nous avons suffisamment d'observations pour quantifier l'univers et essayer de faire la science sur ce sujet.



Les dernières décennies, nous avons des informations sur l'univers et nous pouvons l'étudier. Avant, il n'y avait que des spéculations.



Notre appréciation intuitive de l'univers n'est pas le modèle standard du Big Bang.

Historiquement, les cultures tentent d'expliquer l'univers. Par exemple, les Babyloniens pensaient que la Terre est plate, avec certaines élévations, et soutenue par des éléphants qui, à leur tour, sont placés sur une tortue entourée par un serpent. Ils expliquaient les tremblements de terre avec des réarrangements d'éléphants.



Test du modèle :

L'ombre d'un éléphant et d'une tortue, ne ressemble jamais à l'ombre de la Terre sur la Lune.

Seule une sphère a toujours une ombre circulaire. Démonstration d'une éclipse lunaire



Les progrès de la science

- Réfléchissant
- Penser aux questions que nous avons sur la nature
- Expérimentation
- Penser aux résultats
- Socialiser les nouvelles connaissances à travers des articles
- Lorsque d'autres penseurs commentent favorablement nos idées, la connaissance est consolidée. Aussi quand nous apprenons de nos erreurs.



Le modèle standard du Big Bang

■ C'est le modèle le plus simple et qui explique les observations :

- Expansion
- Cosmic background radiation
- Chemical abundances
- Isotropie

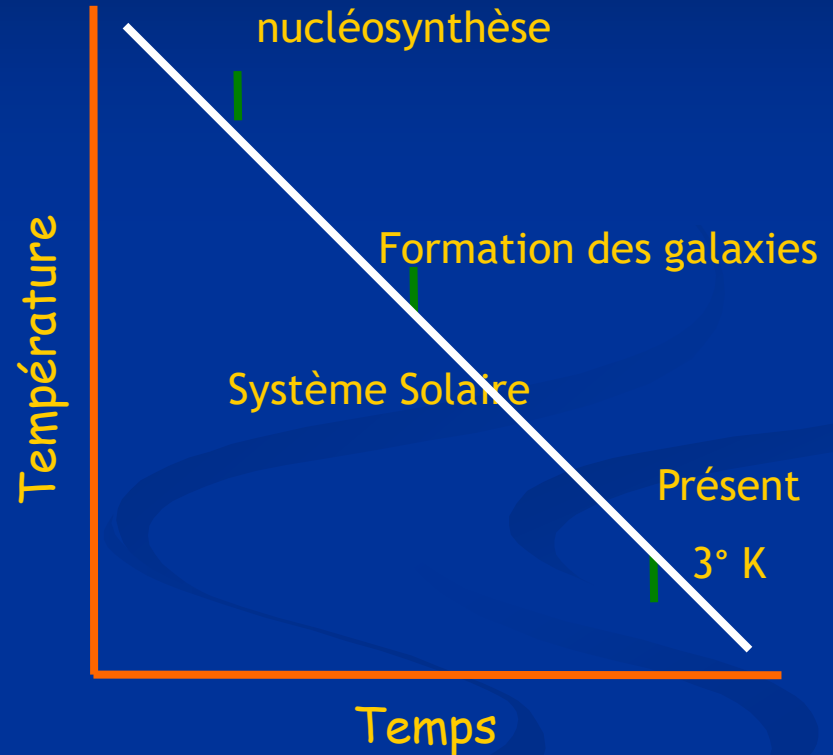
■ Il existe d'autres modèles



□ La science ne prétend pas avoir la vérité - elle est inaccessible.

Expansion de l'Univers

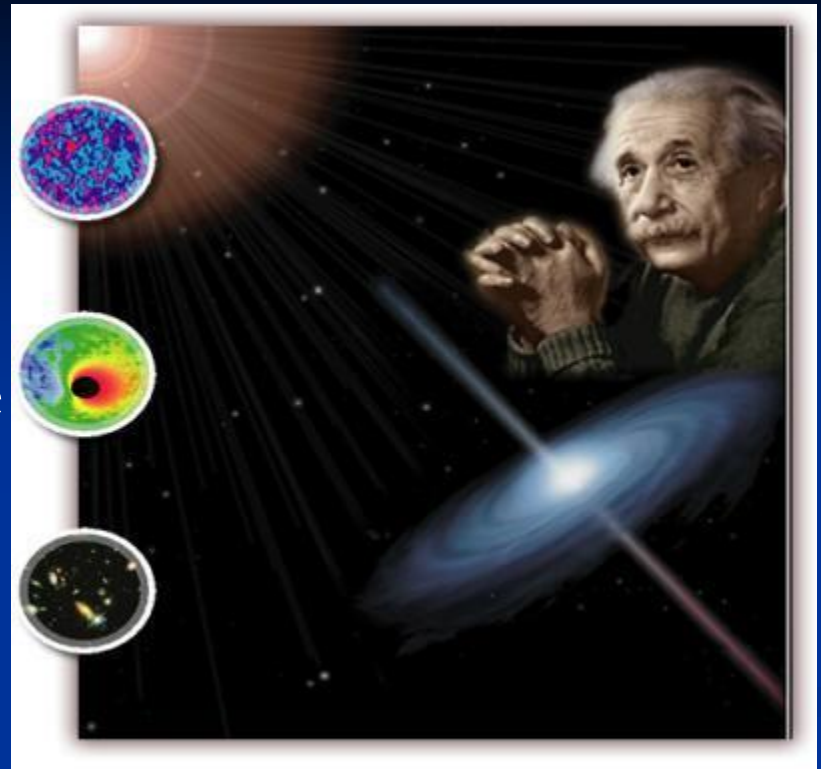
- ❑ L'Univers a été formé il ya 14.000 millions d'années.
- ❑ Tout a commencé quand l'énergie a été libérée de l'aspirateur
- ❑ Ceci a été développé et refroidi dans le procédé
- ❑ En conséquence, cette énergie a été transformée en matière



La Physique étudié sur Terre et appliquée au reste de l'univers est : l'astrophysique.

Albert Einstein a découvert que l'énergie peut être convertie en matière et vice versa. Au début de l'univers, l'énergie du vide a été convertit en matière.

À l'intérieur des étoiles, l'énergie se transforme en matière, c'est pourquoi elles brillent.



Le lien entre la matière et l'énergie

$$E = mc^2$$

q , leptons

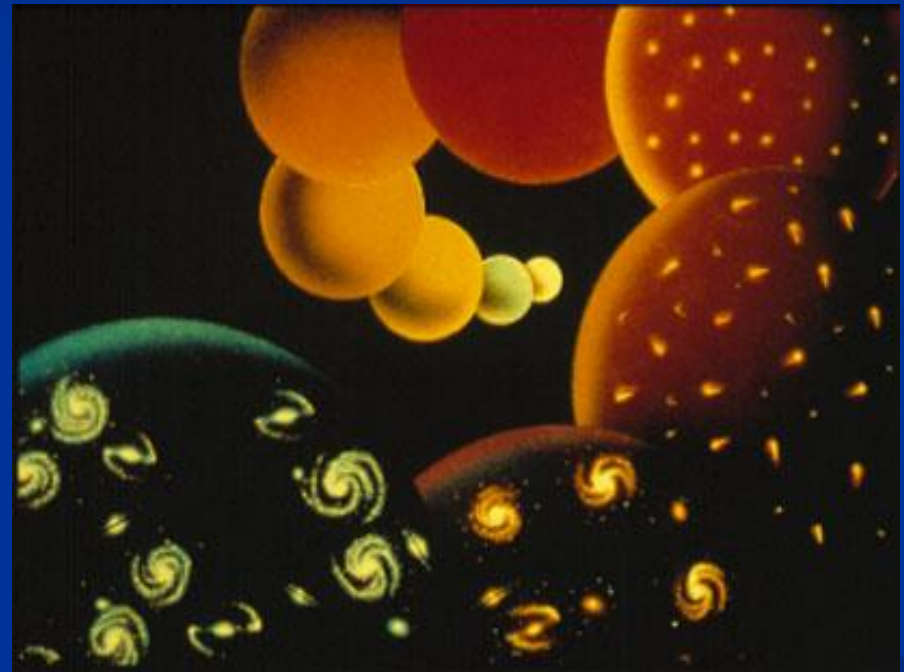
p⁺ n e⁻



Au commencement toute la matière était ionisée

Plus tard, il a été
recombiné pour former
des atomes neutres

Les atomes formaient des
nuages, et à l'intérieur, les
premières galaxies avec
les premières étoiles.



Plus tard, les planètes rocheuses (comme la Terre)
se sont formées et la première vie est apparue.



Evolution chimique

Protons, neutrons et électrons formés dans la première minute de l'Univers. Ils formaient les atomes les plus simples, H et He.

$$E = mc^2$$

H – Formé par un proton p^+

H – Devient He + 2ν + $2e^+$ + 2γ

- Le reste des éléments ont été formé à l'intérieur des étoiles par des réactions thermonucléaires.
- Les atomes les plus lourds, comme l'uranium, se produisent lorsque les étoiles explosent et éjectent des particules qui entrent en collision, formant de nouveaux éléments.
- Des milliers d'années se sont écoulées après le Big Bang, quand des éléments autres que l'hydrogène et l'hélium ont été formés par l'évolution stellaire.



La physique et la cosmologie

Nous pouvons expliquer la question de la vie quotidienne avec des quarks, des constituants de protons, des neutrons et des leptons (l'un des plus connus étant l'électron) et leurs interactions, comme l'électromagnétisme.

Family			Interaction
lepton	électron	neutrino	Force Electromagnétique
quarks	haut	bas	Force forte
baryon	proton	neutron	Force faible, force forte

Cette simplicité du modèle aide à comprendre comment était le début de l'univers, où l'énergie se transformait en matière et la matière en énergie.



Grâce à des observations, nous apprenons

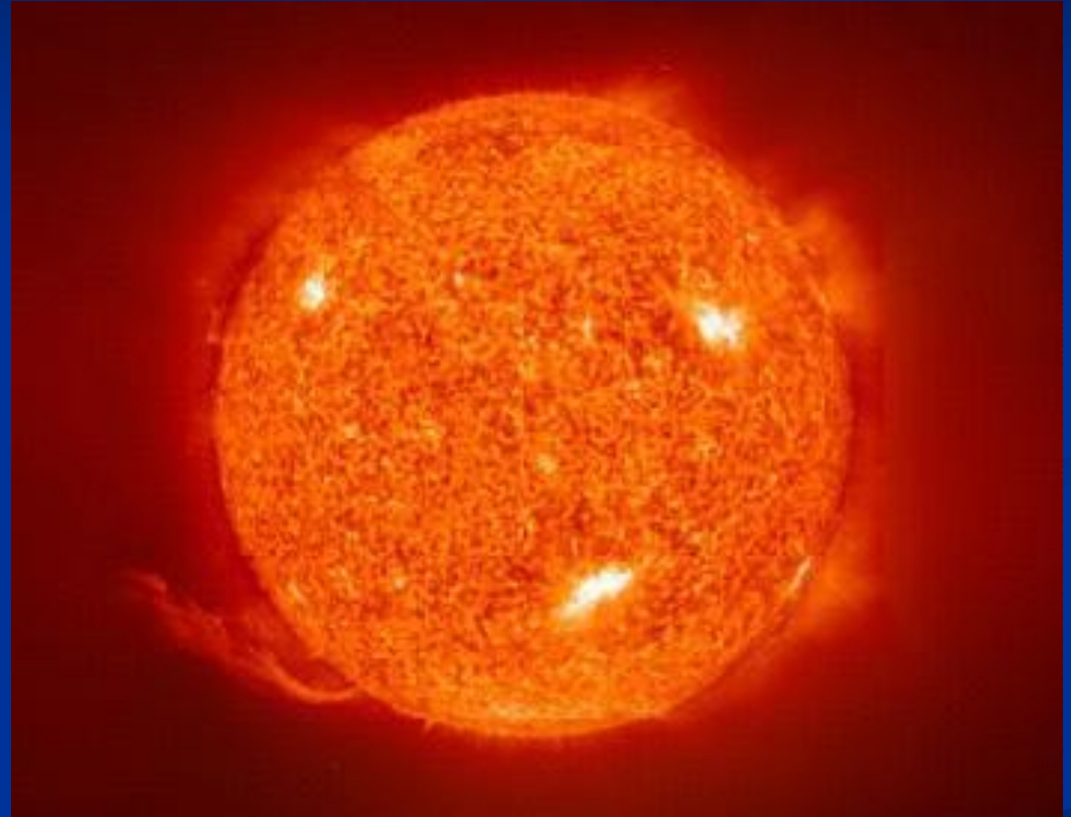
- Les propriétés physiques des objets célestes
- Tailles et distances
- Fois et âges
- Taux d'expansion de l'univers
- Température du rayonnement de fond
- Composition chimique
- Structure de l'Univers
- Pourquoi la nuit est sombre
- L'existence de matière noire et d'énergie sombre



Le Soleil

Les objets les plus étudiés sont les plus brillants – c'est plus facile à faire.

Le Soleil et le reste des étoiles sont les objets les plus connus.



Planètes extrasolaires



En plus des étoiles, au cours des dernières années, des centaines de planètes ont été découvertes autour d'autres étoiles, non parce qu'elles émettent de la lumière, mais parce qu'elles perturbent les orbites stellaires et les courbes de lumière.

La vie



Une autre propriété de l'Univers est la vie.

Nous n'avons pas encore découvert la vie en dehors de la Terre.

Nous pensons qu'il faut de l'eau car elle facilite l'échange de substances et la formation de complexes moléculaires.



Matière Interstellaire

L'espace entre les étoiles n'est pas vide, il est rempli par la matière interstellaire. Elle permet la formation de nouvelles étoiles.

Les étoiles naissent à l'intérieur des nuages de gaz et de poussière. Les nuages sont comprimés formant de nouvelles étoiles. Ils passent la plus grande partie de leur vie à transformer leur noyau d'hydrogène en hélium et en énergie.

Plus tard, le carbone, l'azote et l'oxygène - les éléments qui nous composent.



Cycle de vie d'une étoile semblable à celui du soleil



Lorsque les étoiles épuisent leur carburant, elles s'éjectent dans les particules d'espace environnantes créées à l'intérieur d'elles.

Après chaque génération stellaire, le milieu interstellaire - où naissent les nouvelles étoiles - devient plus abondant.

Amas

De nombreuses étoiles sont agglomérées en grappes contenant entre 100 et 1 000 000 d'étoiles



Jewel Box,
amas ouvert



Omega Centauri,
amas globulaire



Galaxies

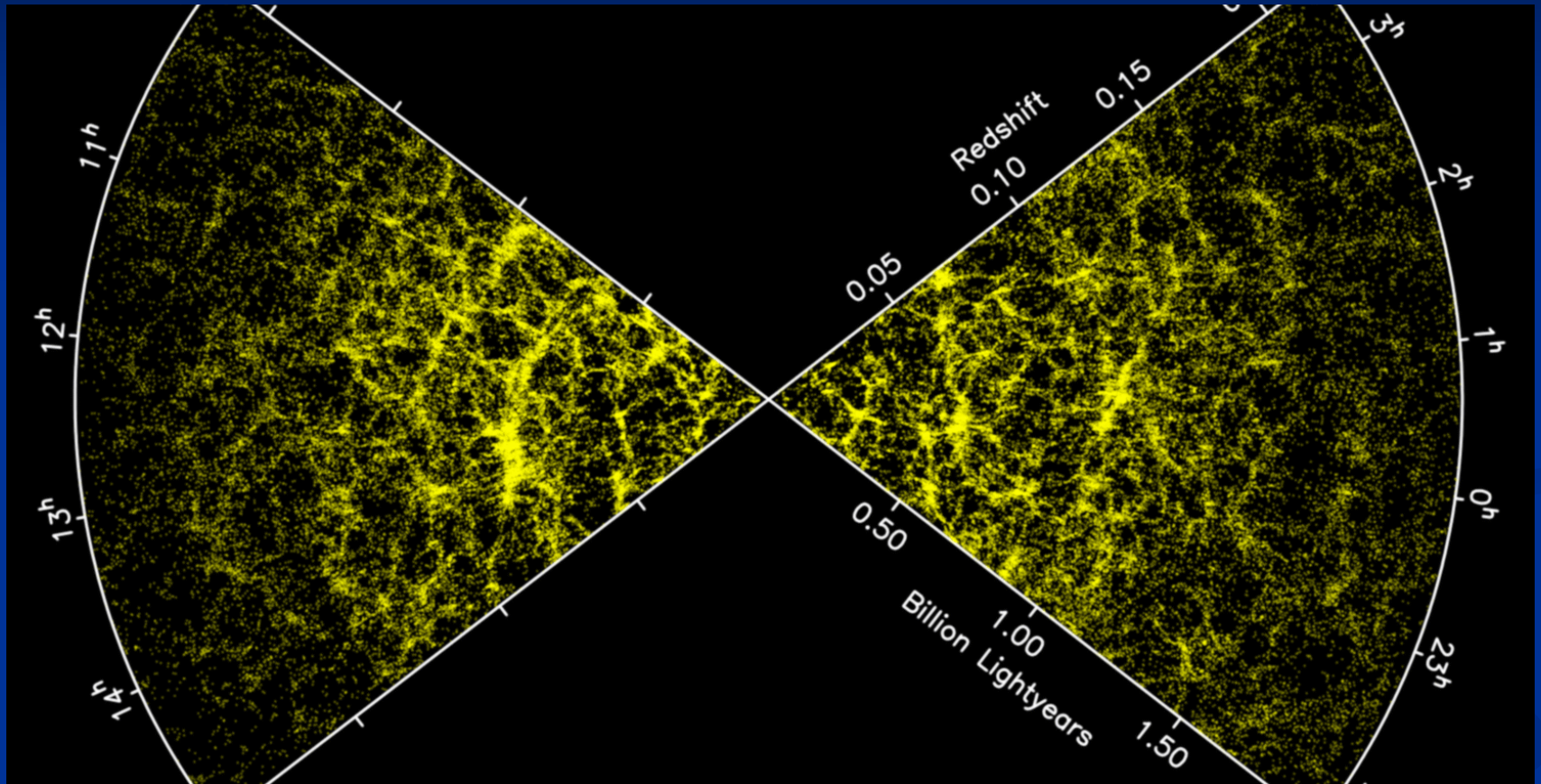
Les conglomérats par excellence sont les galaxies, la spirale comme la nôtre, ont > 100 milliards d'étoiles, chacune avec ses planètes, ses satellites et ses comètes, le gaz, la poussière et la plus grande partie de la prétendue matière noire



Whirlpool Galaxie Spirale
Source: Téléscope Spatial Hubble



Univers filamenteux



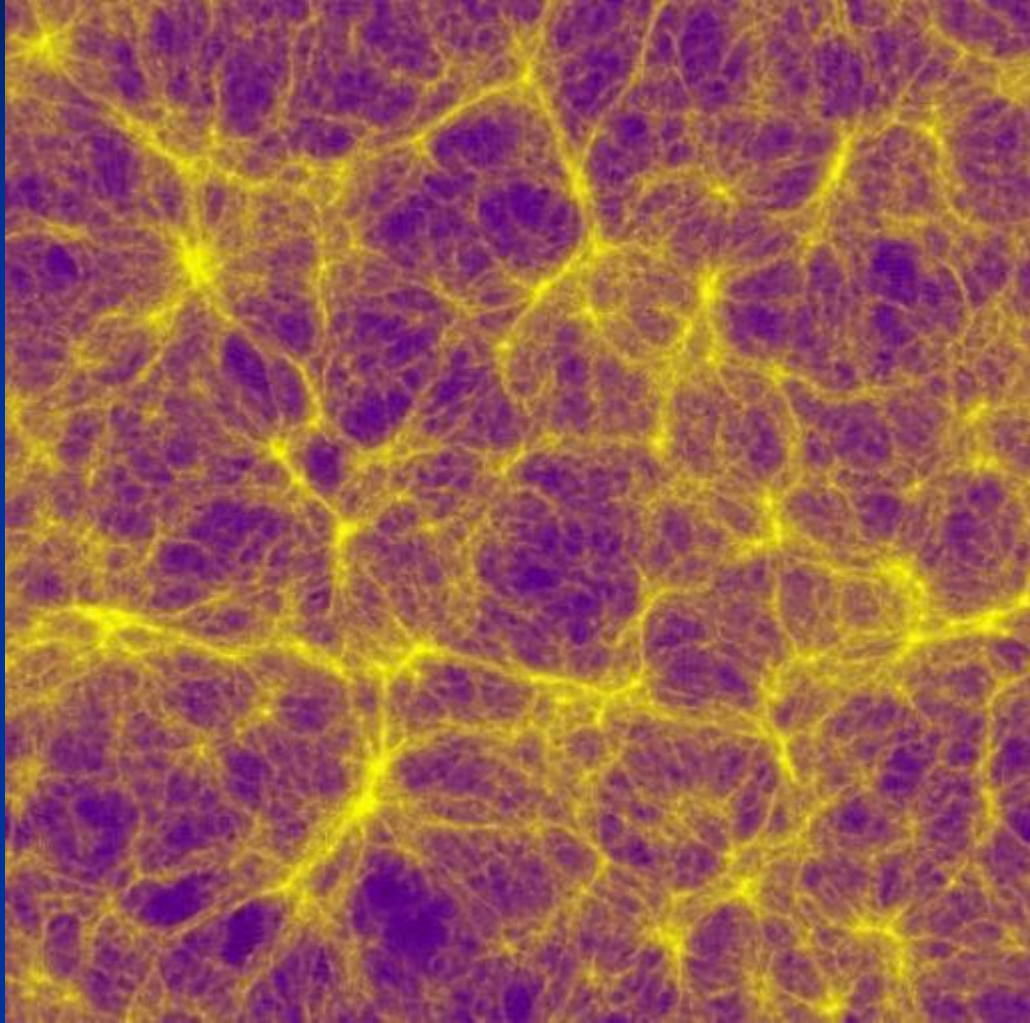
Les groupes de galaxies sont disposés dans ce qu'on appelle l'univers filamenteux

C'est comme si l'Univers était un bain à bulles où la matière entoure l'espace manquant de galaxies et que le temps passe de manière à ce que la matière remplit le volume



À mesure que l'Univers se dilate, l'espace entre les grappes de galaxies augmente et l'Univers se dissout plus

Modèle de l'Univers filamentaire



Les amas et superamas de galaxies se trouvent dans les filaments, comme sur la surface d'une bulle.

Source: Projet Millennium de l'institut Max Planck.



²⁴ Structure de l'univers: synthèse

- Les étoiles sont en amas.
- Les amas stellaires sont à l'intérieur des galaxies.
- Les galaxies forment des amas, formées de quelques galaxies ou de milliers d'entre elles.
- Les plus grandes structures de l'Univers sont des filaments, formés par des amas et des super amas de galaxies.



Tailles dans le cosmos

Nous pouvons estimer la taille d'un mètre, semblable à la taille d'un enfant, et aussi une unité mille fois plus grande, un kilomètre ...



... distance mille fois plus grande, mille kilomètres, peut être traversée par avion en quelques heures.

Pour arriver à la Lune nous avons besoin de trois jours mais de plusieurs années pour la distance entre le Soleil et Jupiter.

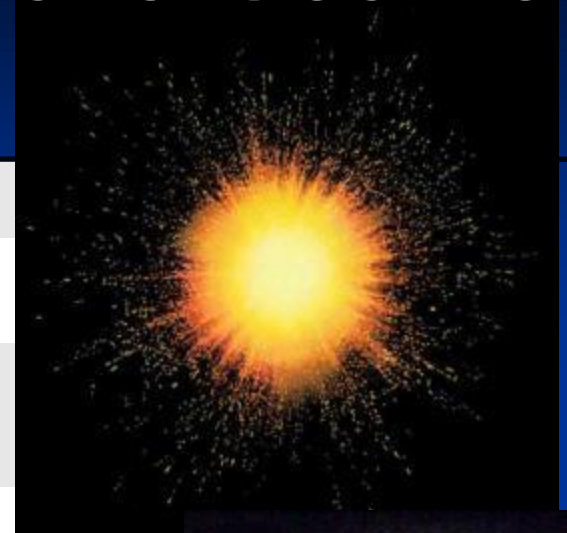


La distance aux étoiles voisines est mille fois plus élevée



Le temps en années dans le Cosmos

Big bang	14 000 000 000
Formation de Galaxie	13 000 000 000
Formation du Système Solaire	4 600 000 000
Apparaition de la vie sur Terre	3 800 000 000
Apparaition de la vie développée	500 000 000
Apparaition des dinosaurs	350 000 000
L'extinction de Crétacé	65 000 000
Apparaition de l'Homme	120 000



L'Apparaition de l'Homme est très récente

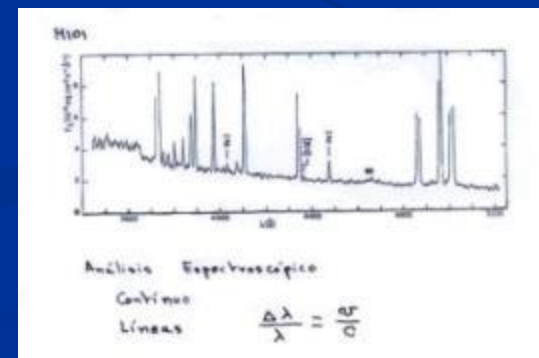
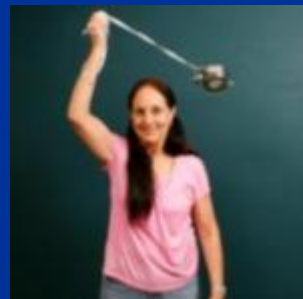
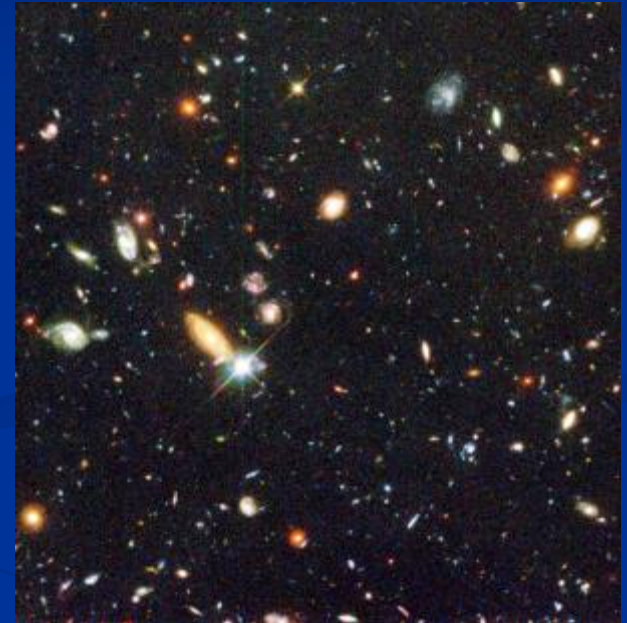


Observation de l'Univers

Vous pouvez prendre une image pour déterminer la position ou l'apparence d'une étoile, ou la quantité de lumière émise.

Les spectres peuvent déterminer la vitesse des étoiles. C'est ce qu'on appelle l'effet Doppler de la lumière.

En analysant le rayonnement que les étoiles et les galaxies émettent, réfléchissent ou absorbent, nous découvrons leur nature.
(Effet Doppler)



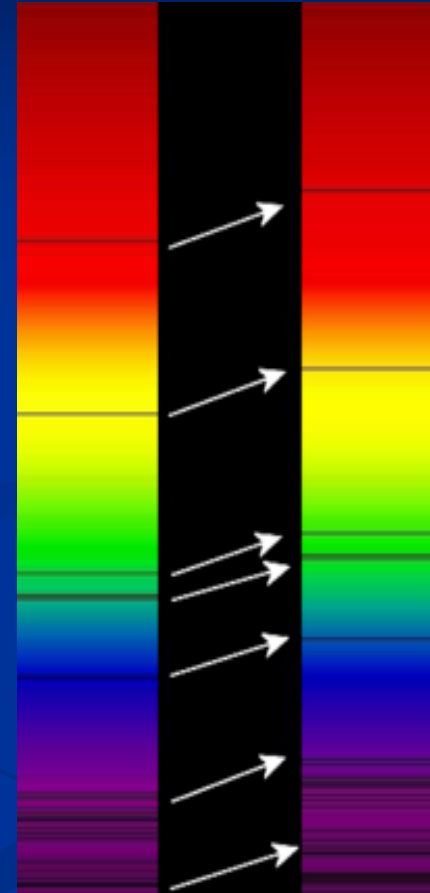
Piliers du modèle standard

Expansion de l'univers

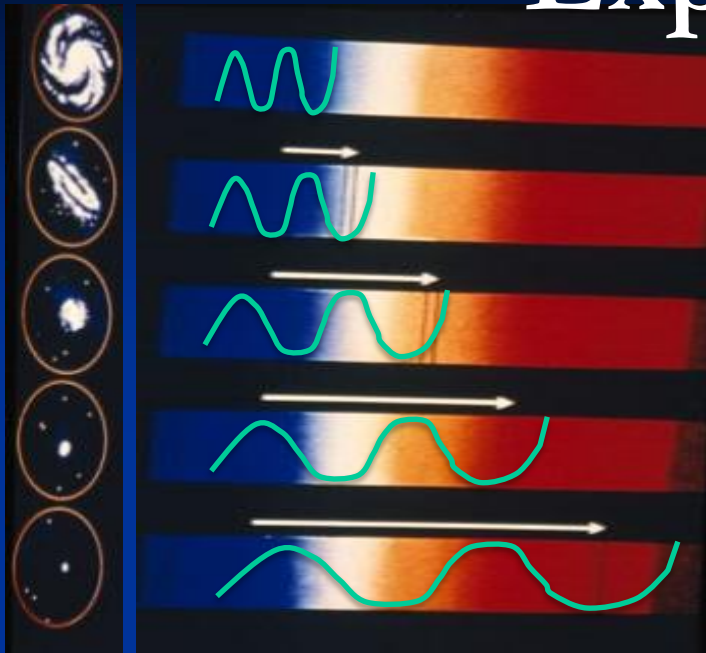
Le changement Doppler vers le rouge démontre l'expansion (si les étoiles sont proches de l'observateur, la lumière est plus bleue, en s'éloignant elle est plus rouge). Les groupes de galaxies s'éloignent les uns des autres et s'ils sont plus loin, ils s'éloignent plus vite

Abondance chimique dans l'Univers

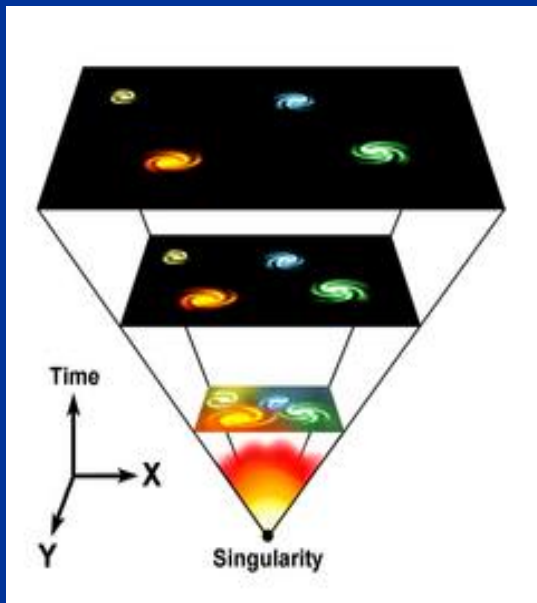
Dans les premières minutes du Cosmos, seulement H et He ont été formés; L'expansion a arrêté la production: le rayonnement a perdu l'énergie et il n'était plus possible de se transformer en protons et neutrons. C, N et O ont été créés à l'intérieur des étoiles et ont été mélangés avec le milieu interstellaire lorsque les étoiles sont mortes.



Expansion du Cosmos



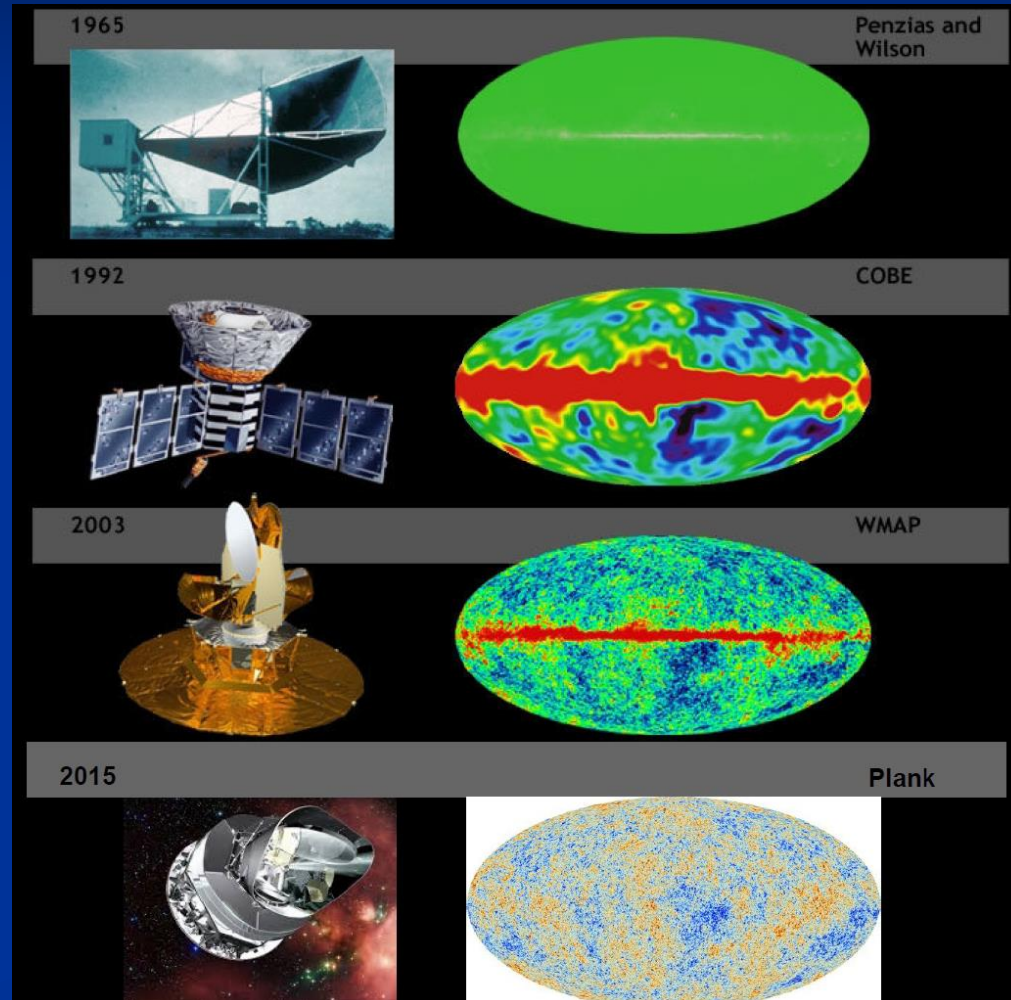
L'espace s'étend, et aussi les photons de rayonnement sont étirés. Ce qui dans le passé étaient de minuscules rayons gamma de longueur d'onde, aujourd'hui nous les observons comme des ondes radio.



En mesurant l'expansion cosmique, nous pouvons calculer l'âge de l'Univers, 14 milliards d'années. Cette estimation est supérieure à l'âge mesuré pour les étoiles les plus anciennes

Le fond diffus cosmologique(CMB)

- Les missions COBE, WMAP et PLANCK ont fait une carte du ciel des radiations CMB, toujours plus détaillées, détectant de petites fluctuations: des empreintes de morceaux de matière à partir desquelles des galaxies commençaient à se former



L'univers a-t-il de frontières ?



Une condition nécessaire à la stabilité de l'Univers est qu'elle est en expansion continue.

Autrement, il cesserait d'exister comme nous le voyons maintenant. L'expansion de l'univers est l'un des piliers du modèle standard du Big Bang

Mais ... il n'y a pas de centre à son expansion



La Gravité domine-t-elle l'Univers ?



L'Univers contient de la masse, donc il a une énorme force gravitationnelle. La gravité attire.

L'expansion du big bang compense la gravité

L'univers s'accélère et la source d'énergie responsable de cette accélération est inconnue.



Lorsque nous observons des galaxies lointaines, nous regardons comment elles étaient dans le passé. Les galaxies proches sont différentes des galaxies lointaines



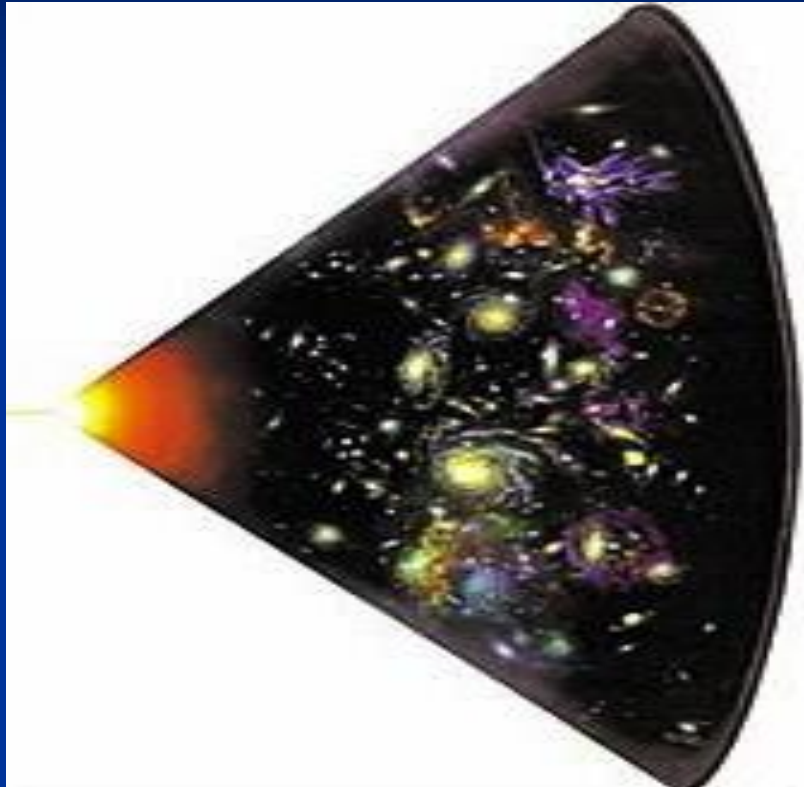
Nearby, Galaxie Spirale



Les galaxies éloignées sont petites et amorphes



Evolution



Il y a une limite au-delà de laquelle nous n'avons pas d'informations sur le Cosmos.

Nous ne pouvons pas observer les étoiles dont la lumière prend plus de quatorze milliards d'années pour nous atteindre.

Si notre univers était petit, nous aurions seulement des informations sur une petite section, et si elle était infinie, ce serait minuscule.



La partie INVISIBLE de l'univers, composée à 95% de matière noire et d'énergie noire, est détectée en raison de son action sur les objets VISIBLE.

Nous ne savons pas le type de matériel dont-il est fabriqué en dehors



Surface de la mer



C'est comme si nous étions des biologistes marins, mais on ne peut voir que la surface de la mer

Fond de la mer



Si nous regardons de plus près. Nous pourrions découvrir une grande diversité

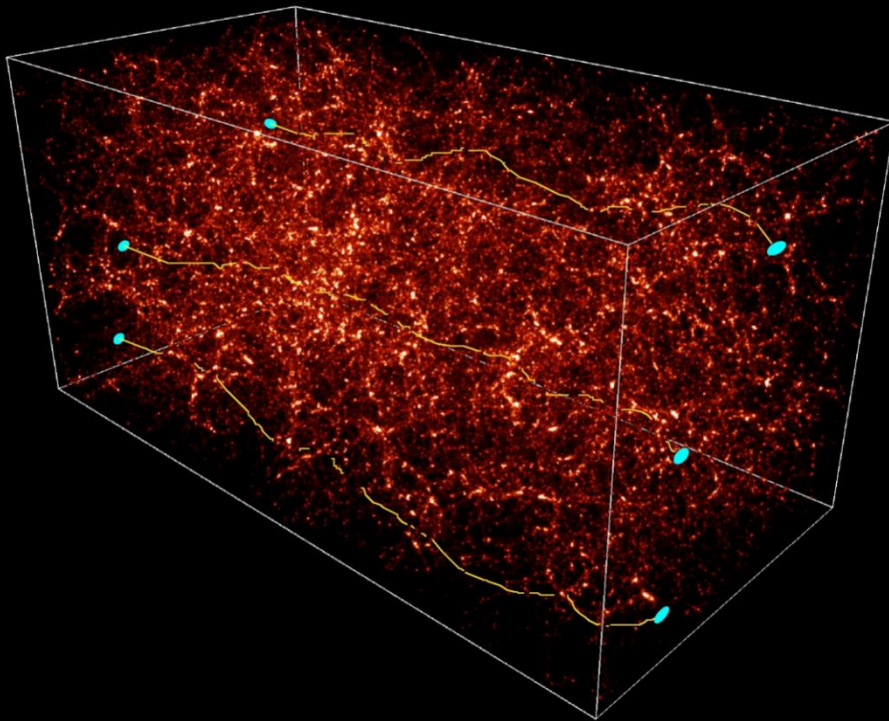


La matière Noire

Nous savons que pour chaque objet astronomique détecté il y a mille autres dont nous n'avons aucune information, seulement la masse contenu. Nous ne connaissons pas sa forme et sa distribution

On pense que la matière noire a une distribution filamenteuse. Les formes bleues sont des galaxies lointaines. Les lignes jaunes sont les chemins de la lumière émise par les galaxies. Sans matière noire ils seraient droits.

DEFLECTION OF LIGHT RAYS CROSSING THE UNIVERSE, EMITTED BY DISTANT GALAXIES



SIMULATION: COURTESY NIC GROUP, S. COLOMBI, IAP.



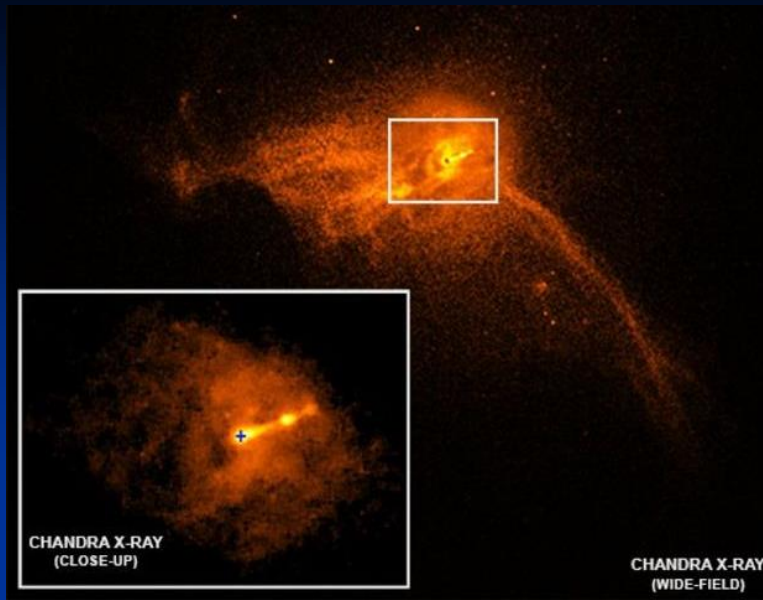
Les étoiles se déplacent autour du centre galactique parce que sa masse les attire. Les amas de galaxies restent limités en raison de la force gravitationnelle.

La matière noire n'est pas visible, mais peut être détectée par la gravité



Il y a des objets qui se déplacent autour d'autres objets que nous ne pouvons pas voir. Par exemple, il y'a des étoiles et des amas d'étoiles qui se déplacent autour des trous noirs





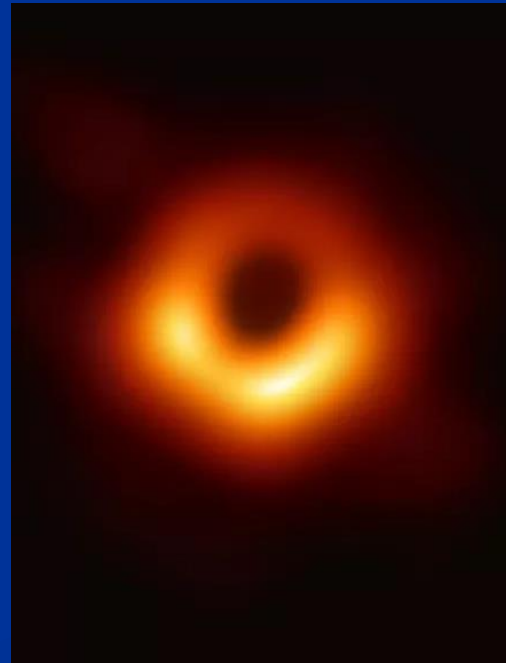
Un consortium de plus de 200 chercheurs scientifiques et 60 institutions, provenant de 18 pays et de 6 continents, font partie du télescope Event Horizon: 8 radiotélescopes sur toute la planète.

Le centre de la M87 est à 53,5 millions a.l. du Soleil.

(crédit: NASA/CXC/Villanova University/J. Neilsen)

"Ombre" du trou noir super massif au centre de M87 est 6,5 milliards de fois plus massive que notre Soleil.

(crédit : Event Horizon Telescope)



La première image jamais prise d'un trou noir super massif a été présentée à une conférence de presse le 10 avril 2019

Evolution de l'univers

Sur l'échelle du temps, notre univers continuera à se développer. Sa vitesse d'expansion augmente, l'expansion est accélérée. L'énergie responsable de cette accélération est encore inconnue. Nous l'appelons : énergie sombre.

Après quelques trillions d'années, toute matière interstellaire sera consommée et la formation stellaire s'arrêtera.

Les protons se désagrègeront et les trous noirs s'évaporeront.

Notre univers sera immense, peuplé d'exotisme
Matière et ondes radio à faible énergie.



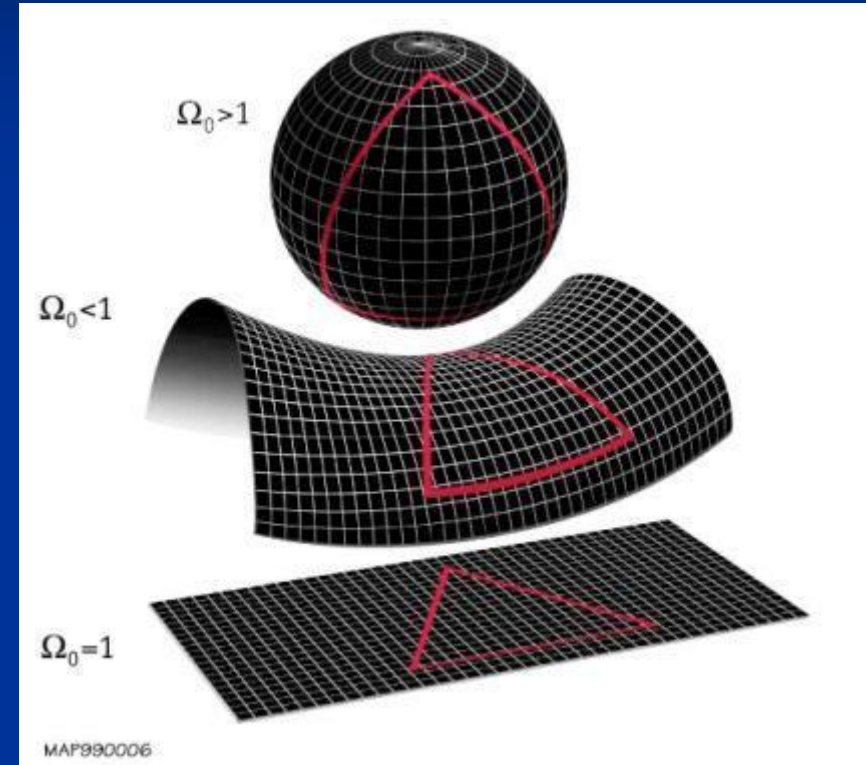
Géométrie de l'univers dépend de la constante universelle

Fermé $\rightarrow \Omega > 1$

Ouvert $\rightarrow \Omega < 1$

Plat $\rightarrow \Omega = 1$

(Prédit par l'inflation
Théorique et coïncidant
avec les observations)



L'évolution dépend du contenu de l'univers

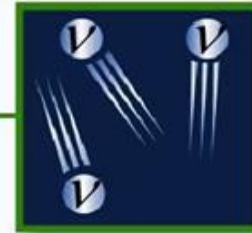
Constante universelle

$$\Omega_{\text{total}} = 1.0$$



Eléments légers

0.03%



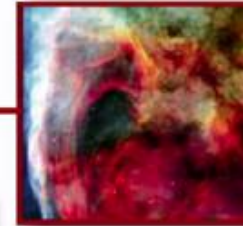
Neutrinos

0.47%



Etoiles

0.5%



H libre et He

4%

Matière Noire

25%

Energie Noire

70%

Un Modèle réussi: Le Big Bang (prédictions-vérifications)

- **Expansion:**
vérifiée au début du 20th siècle par E. Hubble.
- **Rayonnement Cosmique de fond:**
découvert au 20th siècle par Penzias and Wilson.
- **Abondance des éléments chimiques :**
démontrée au 20th siècle.
- **Structure à grande échelle :**
découvert à la fin du 20th siècle.



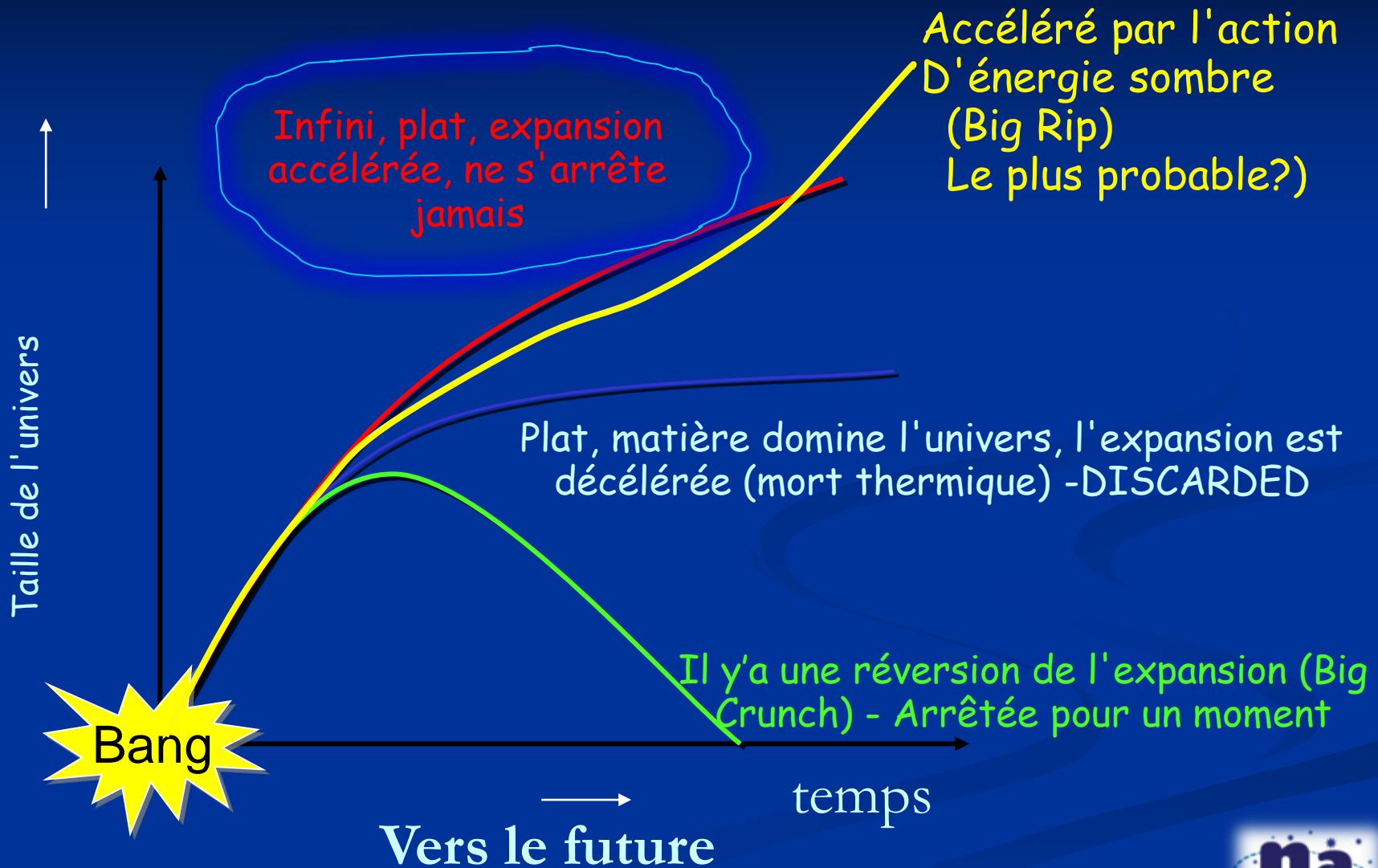
Le destin final de l'univers (scénarios possibles)

- Big Crunch (reversion de l'expansion)
- Plat, mort thermique (l'expansion s'arrête)
- **Infini, plat, en expansion permanente
(c'est le scénario actuellement admis)**
- Big Rip (expansion accélérée)

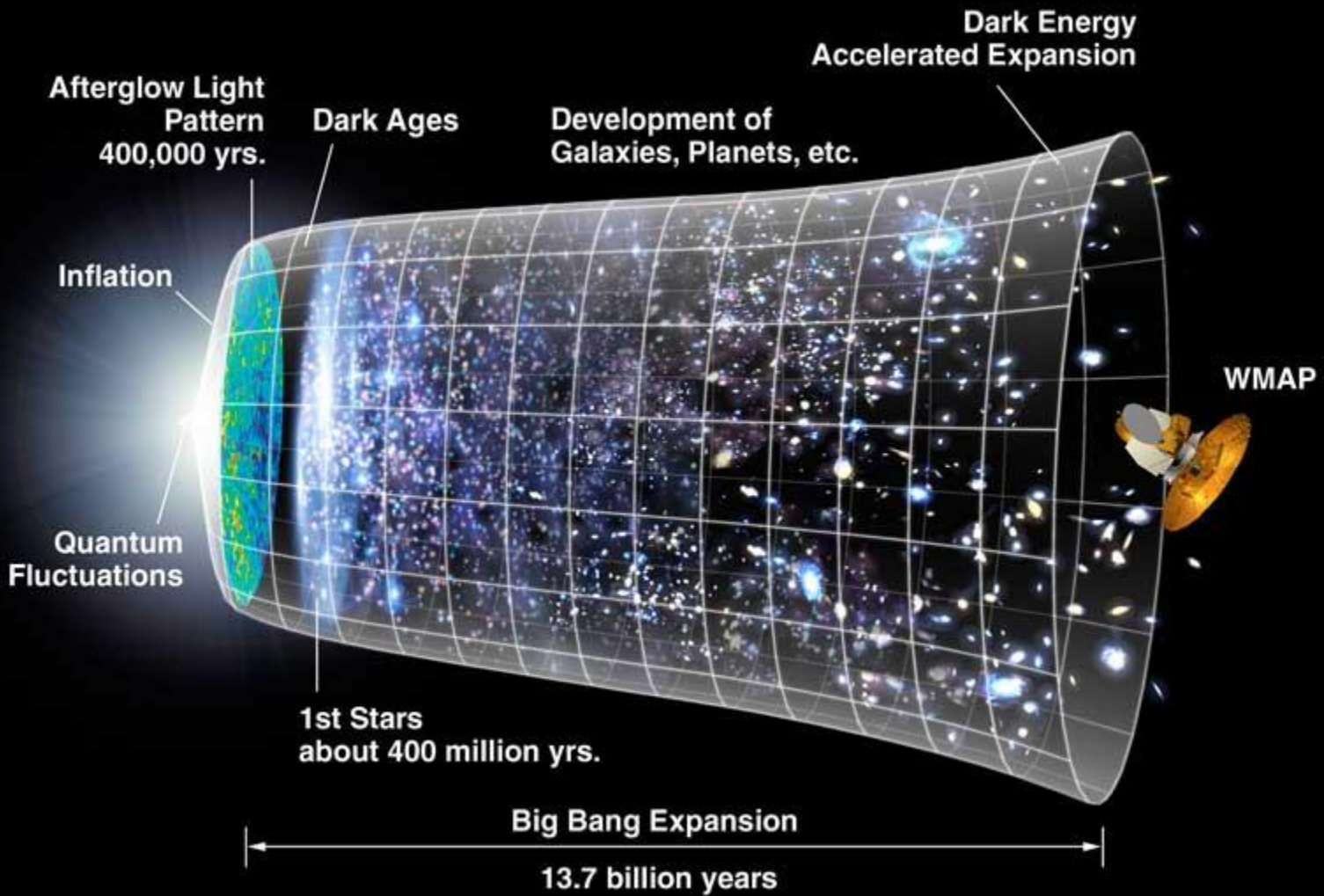
L'avenir dépend du contenu de l'Univers, de la densité critique et de l'existence de l'énergie noire.



Forme et Destin de l'Univers

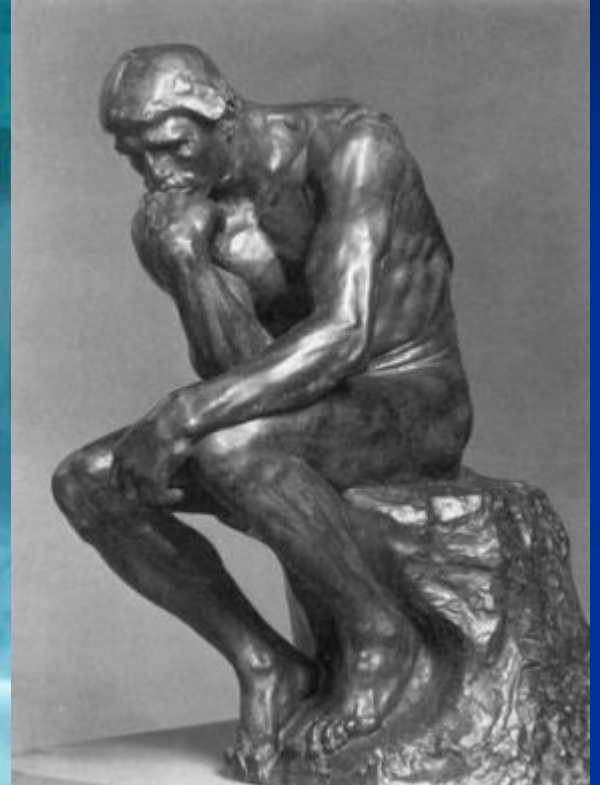


Histoire de l'univers



Épilogue

Nous vivons dans une époque extraordinaire dans laquelle nous pouvons penser à l'univers en utilisant les lois physiques.



Il est possible qu'avec le temps nos idées changent, mais c'est ainsi la science

Merci
pour votre attention!