
Bernard Sadoulet

Dept. of Physics /LBNL UC Berkeley
UC Institute for Nuclear and Particle
Astrophysics and Cosmology (INPAC)
UC Dark Matter Initiative

Le Big Bang: Zones d'ombre et de lumière

Où sommes nous?

Cartographie

A quelle distance? Importance historique du transit de Vénus

D'où venons nous? Le Big Bang: bien établi!

Remonter le temps-> le rayonnement cosmologique

Géométrie: un univers plat et infini!

Composition: 5% de matière, 95% de quelque chose d'autre

Le côté sombre de l'univers: efforts pour l'éclairer

La mystérieuse matière noire

Un convive non invité: L'énergie noire

Conclusions

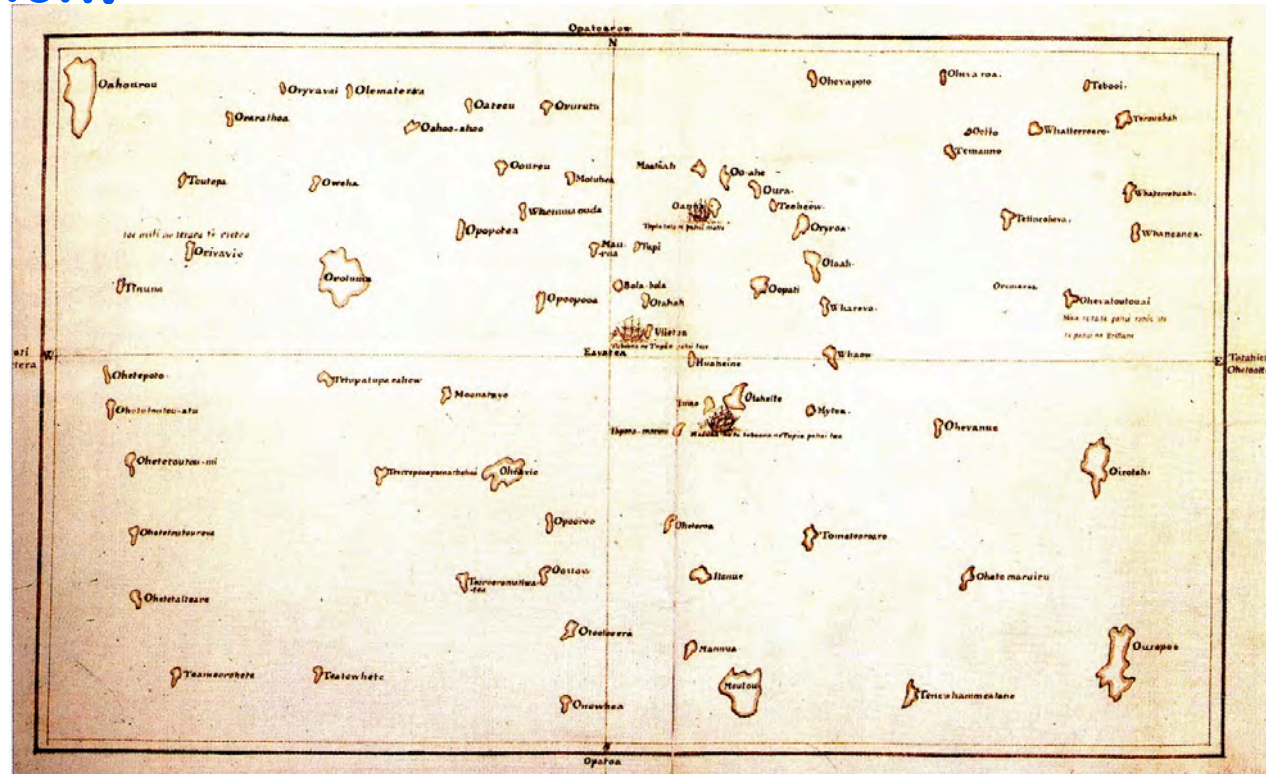
Où sommes nous?

Les origines

Le coté caché

Où Sommes Nous?

Toutes les grandes civilisations se sont posées cette question.



Carte de Tupaia tracée par le Capitaine Cook 1769

from *The Trial of the Cannibal Dog: The Remarkable Story of Captain Cook's Encounters in the South Seas*, Anne Salmond, Yale University Press, 2003

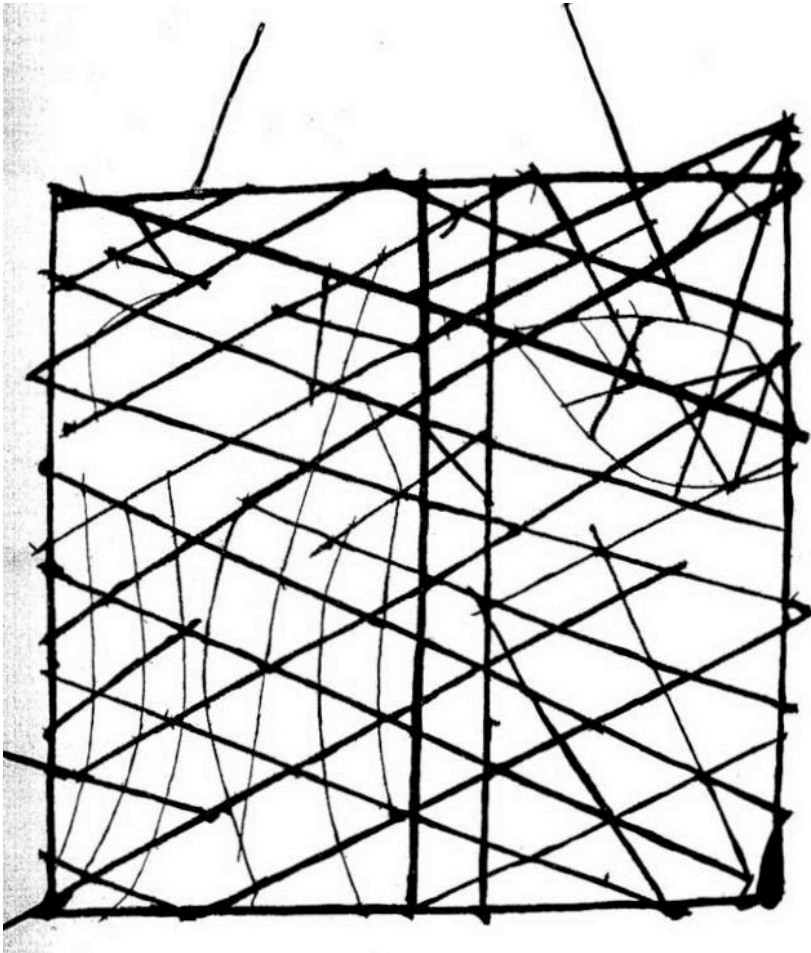
Où sommes nous?

Les origines

Le coté caché

Importance Pratique de l'Astronomie

Précision remarquable (malgré une transposition due à des difficultés de traduction) : Importance de l'astronomie pour les polynésiens



Carte micronésienne des directions,
vents et vagues

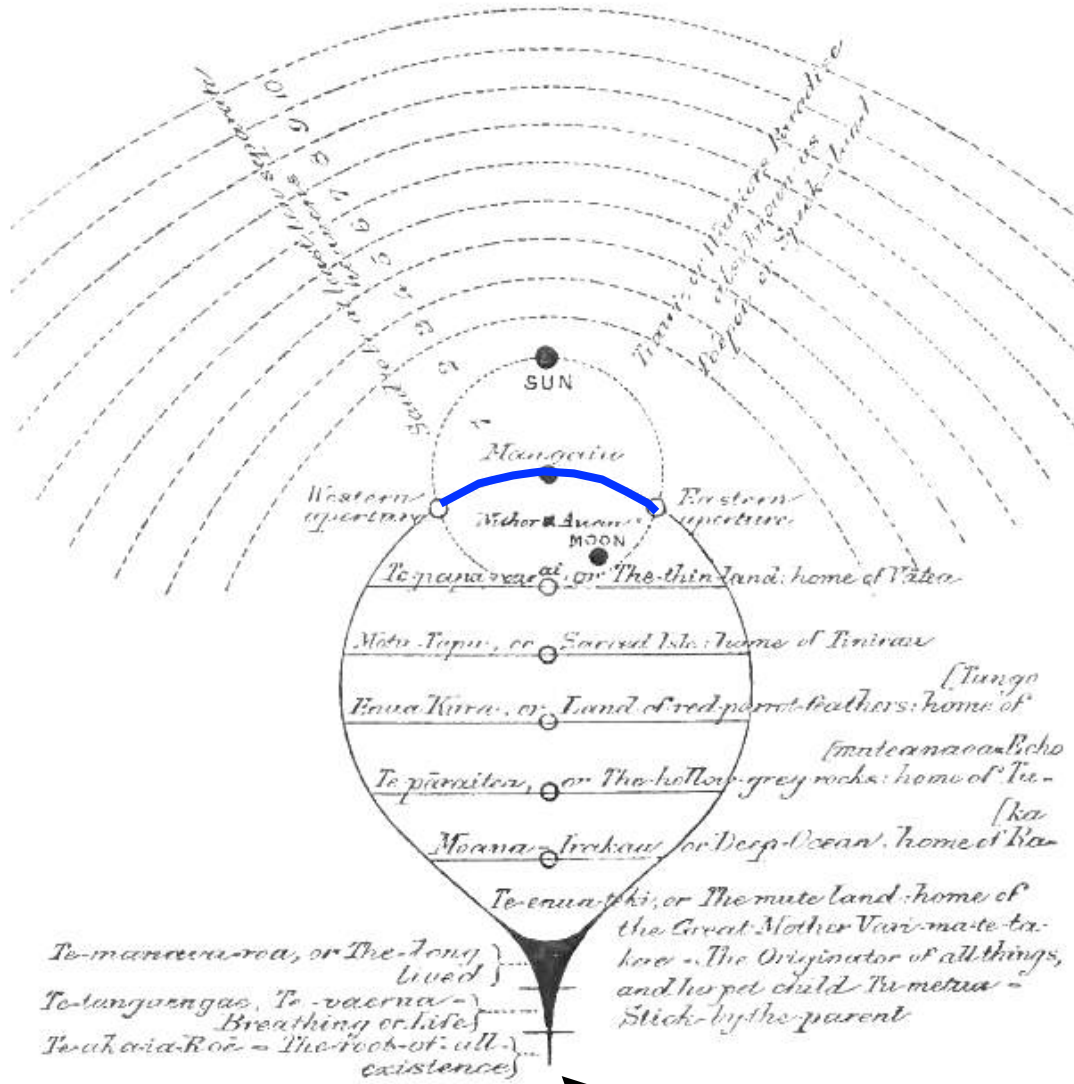
Où sommes nous?

Les origines
Le coté caché

Notre Place Dans L'Univers

Un des exemples
Mangaia (Iles Cook)

Présent dans
beaucoup d'îles



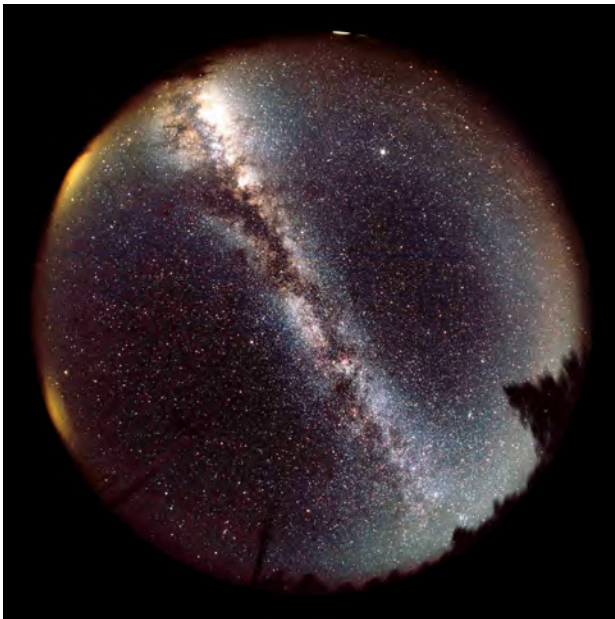
Origine/Soutien de Toutes les Existences

Où sommes nous?

Les origines

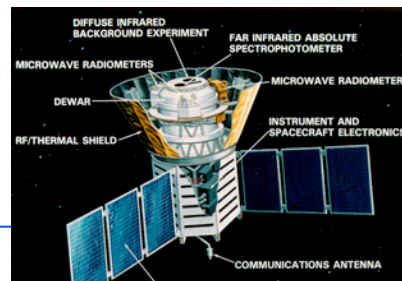
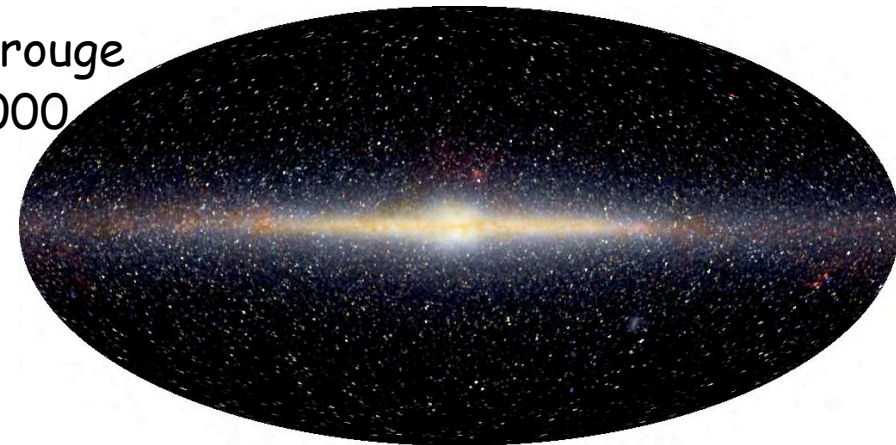
Le coté caché

Vue Moderne



Notre système solaire est dans une galaxie: La Voie Lactée

observation en infrarouge
DIRBE 2000: A 24,000
années lumière du
centre



Où sommes nous?

Les origines

Le coté caché

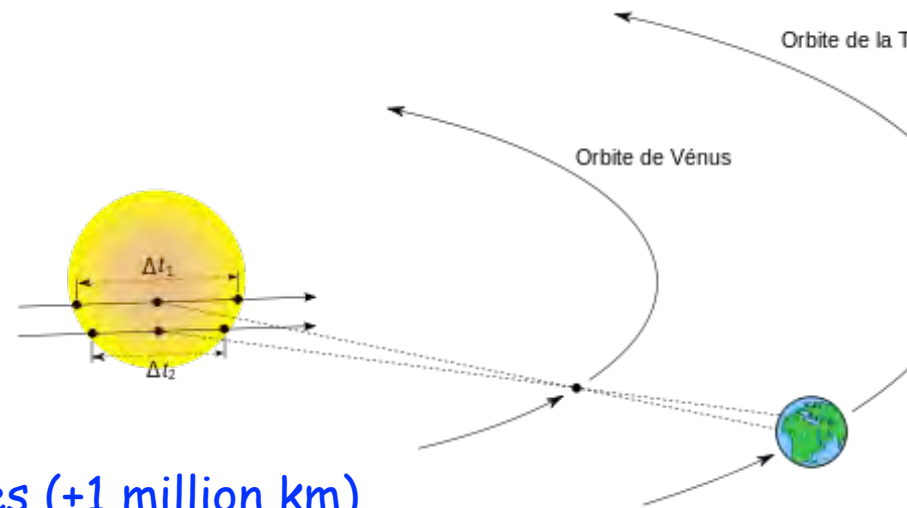
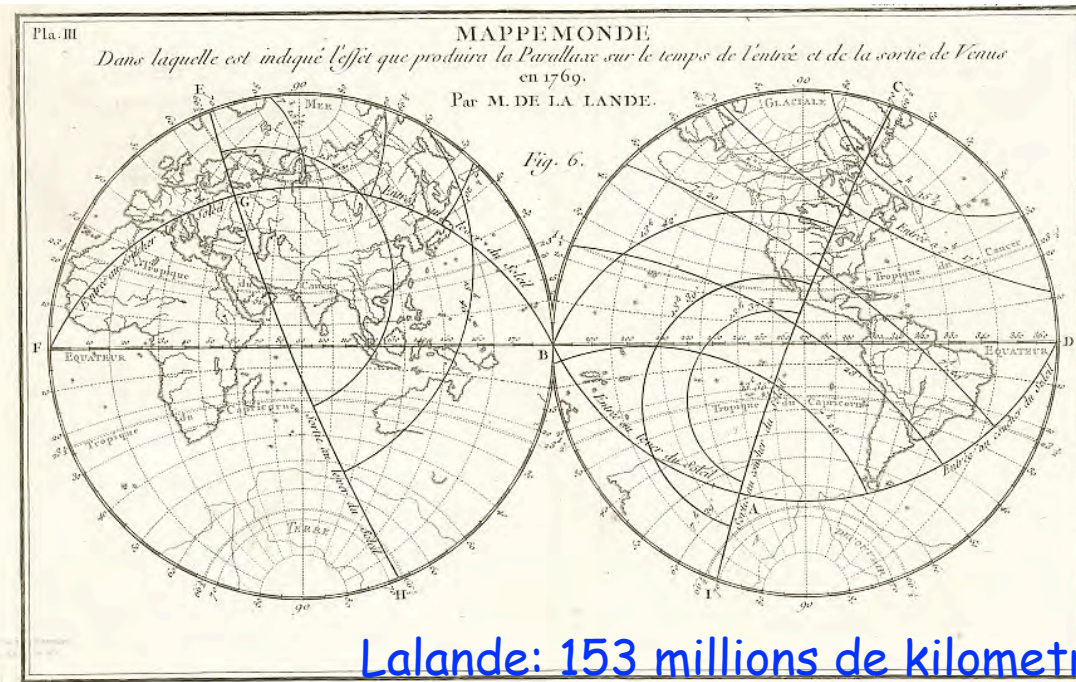
A Quelle Distance?

Les lois de Kepler ne nous donnent pas la taille absolue du système solaire, mais simplement des rapports

Comment mesurer la distance au soleil? Première pour mesurer la distance des étoiles, la taille de la galaxie, la distance des autres galaxies!

Transit de Venus 1761-1769 1864-1872 2004-2012

Capitaine Cook envoyé à Tahiti en 1769 pour avoir une mesure britannique
Malheureusement inconclusif!



Lalande: 153 millions de kilometres (± 1 million km)

Valeur Moderne: 149.5... ± 30 m (Radar)

Au delà de la Voie Lactée

Les nébuleuses(=galaxies) sont elles au dedans ou en dehors de notre galaxie: La Voie Lactée?

Grand Débat de 1920



Curtis



Shapley



Données définitives de
Henrietta Leavitt

Où sommes nous?

Les origines

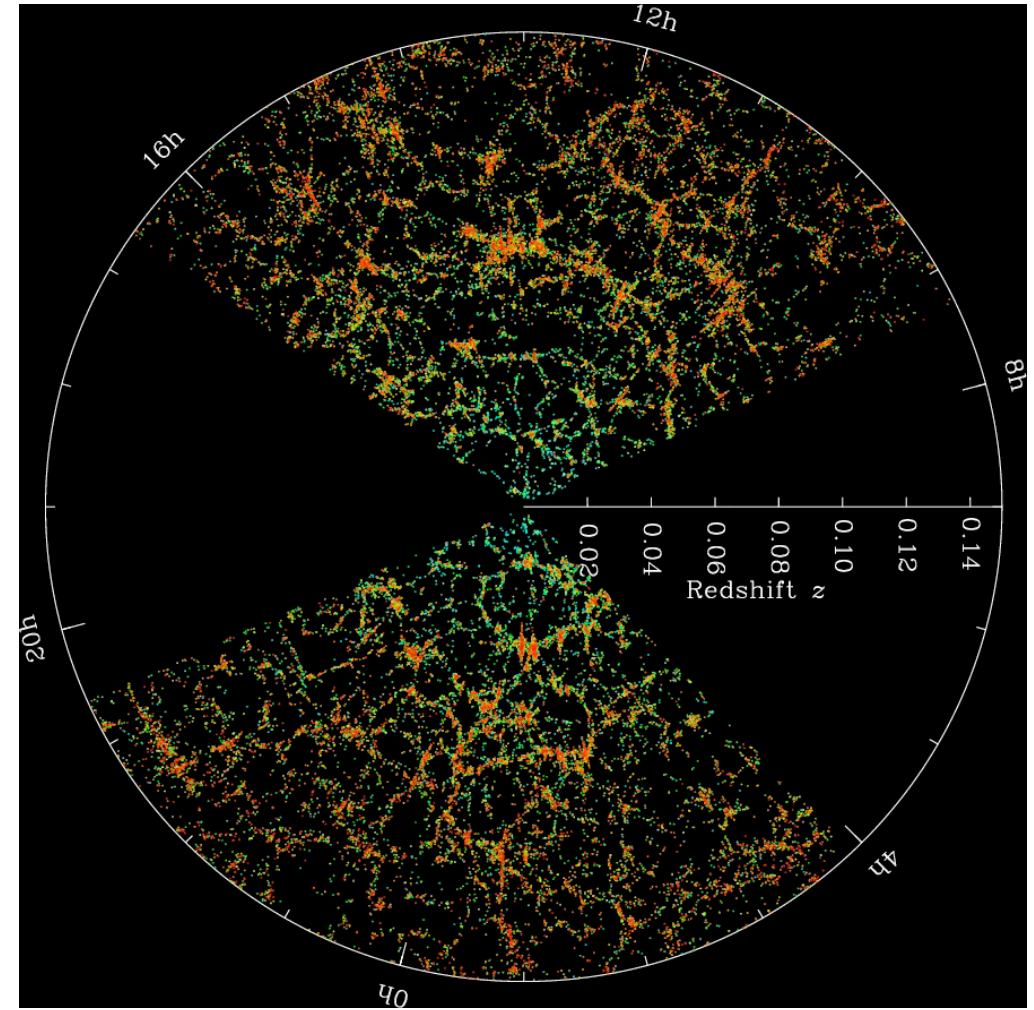
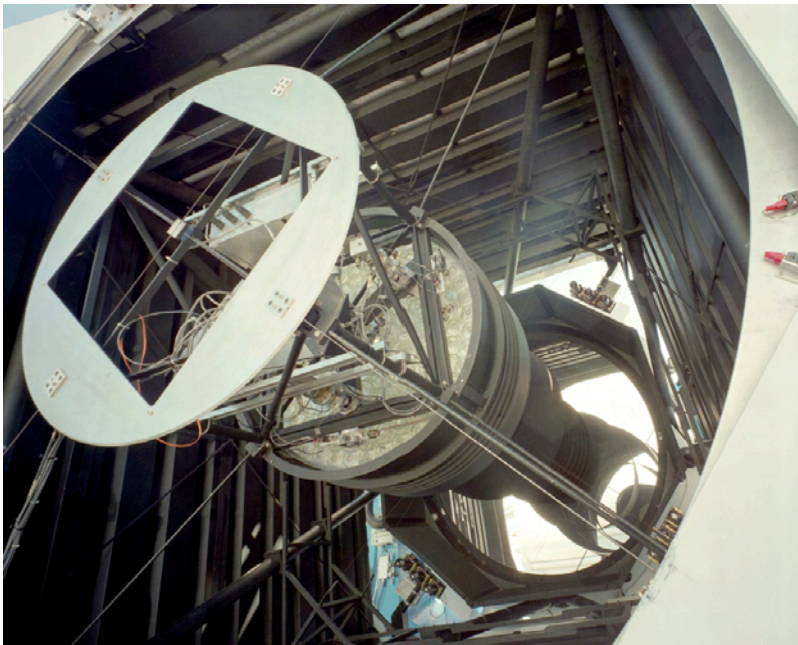
Le coté caché

Cartographie Cosmologique

SLOAN Digital Sky Survey

15.000 degrés carrés

900.000 galaxies



Où sommes nous?

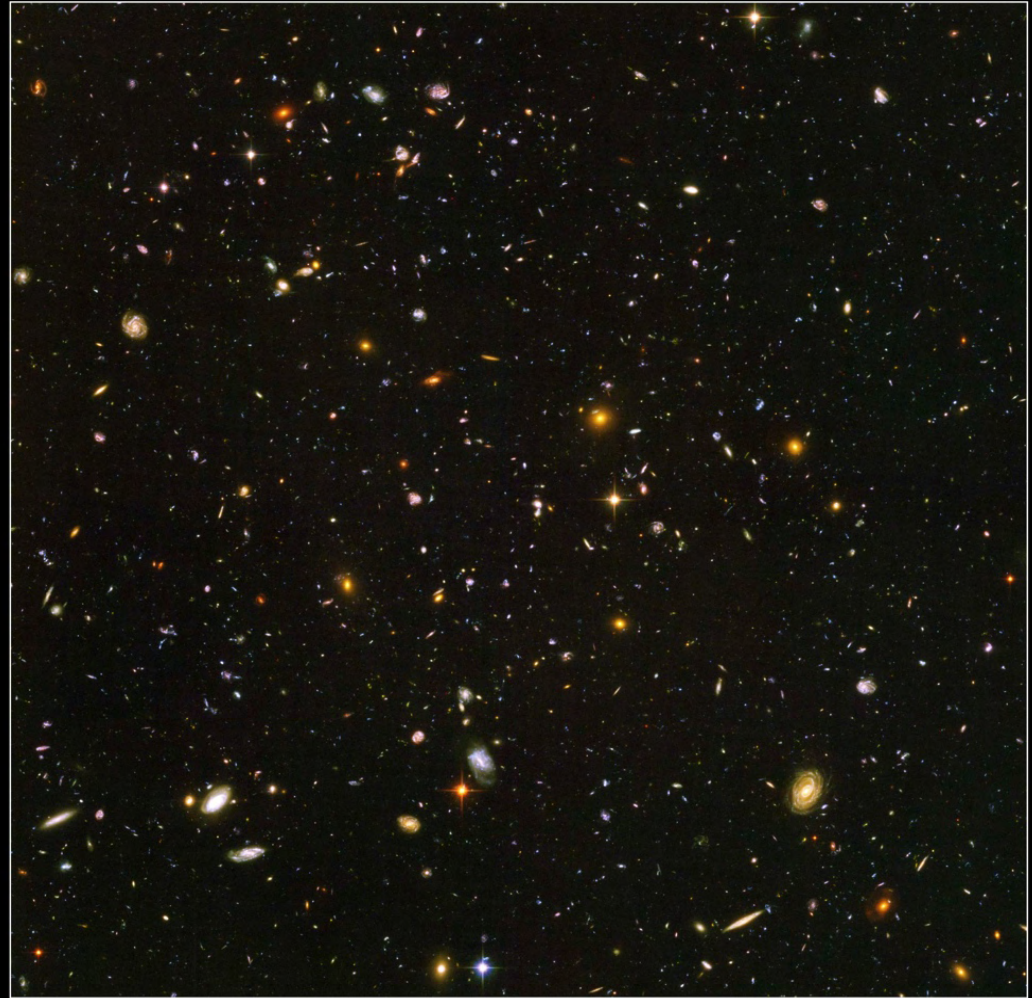
Les origines

Le côté caché

Telescope Hubble (2004)

L'image la plus
sensible que
nous avons du
ciel!

>100 millions de galaxies
visibles dans le ciel



Hubble Ultra Deep Field
Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys

NASA, ESA, S. Beckwith (STScI) and the HUDF Team

STScI-PRC04-07a

Où sommes nous?

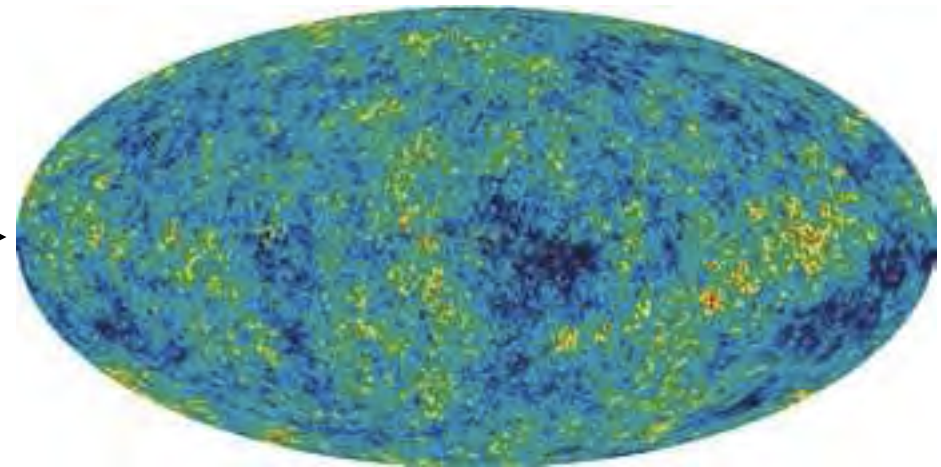
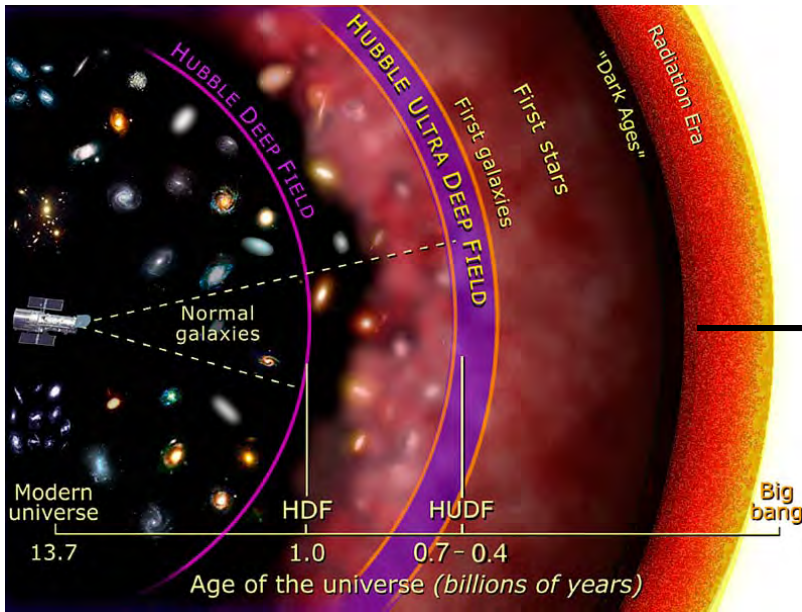
Les origines

Le coté caché

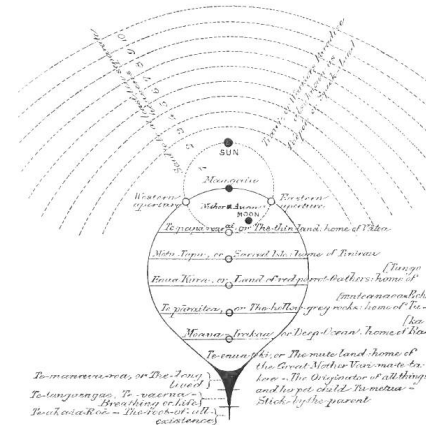
Une machine à remonter le temps

Plus nous observons loin, plus nous voyons l'univers il y a un grand nombre d'années: **un univers de plus en plus jeune!**

Rayonnement cosmologique émis
 ≈ 300.000 ans après le Big Bang



Reminiscent des dix niveaux du ciel polynésien!

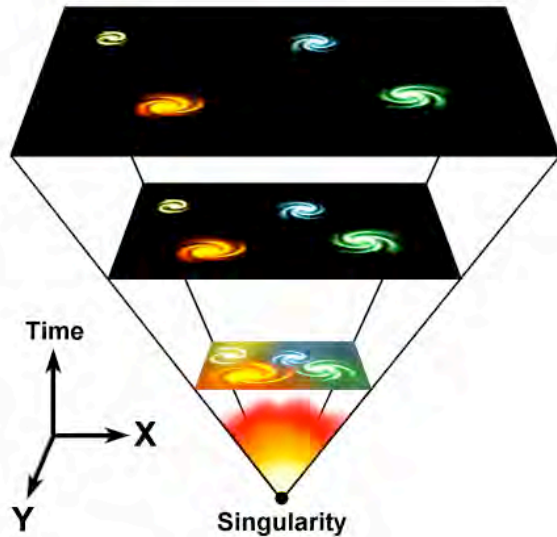


Où sommes nous?

Les origines

Le coté caché

Les origines: Le Big Bang!



Dessiner la distance des objets en fonction du temps

Très forte évidence pour une convergence vers un point:
Le Big Bang



Georges Lemaître

3 raisons principales

La récession des galaxies: L'expansion de Hubble

Le rayonnement cosmologique $\approx 3000\text{K}$.

Maintenant à $\approx 3\text{K}$

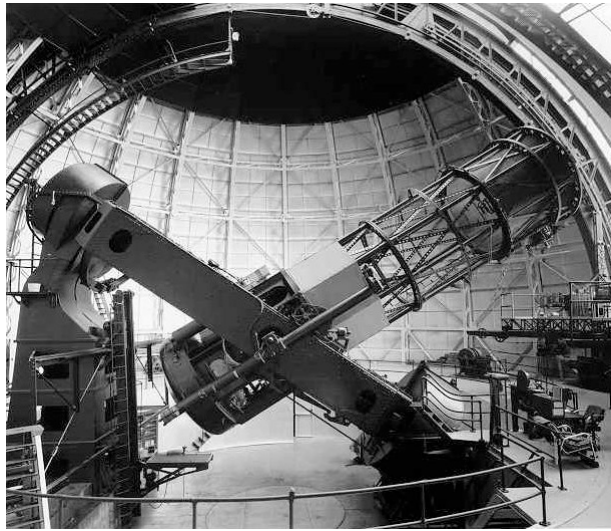
Un "fourneau" nucléaire est nécessaire pour la formation de l'hélium à partir de l'hydrogène primitif

Où sommes nous?

Les origines

Le coté caché

L'expansion de l'Univers



Mount Wilson 2.5 m



Einstein

Hubble

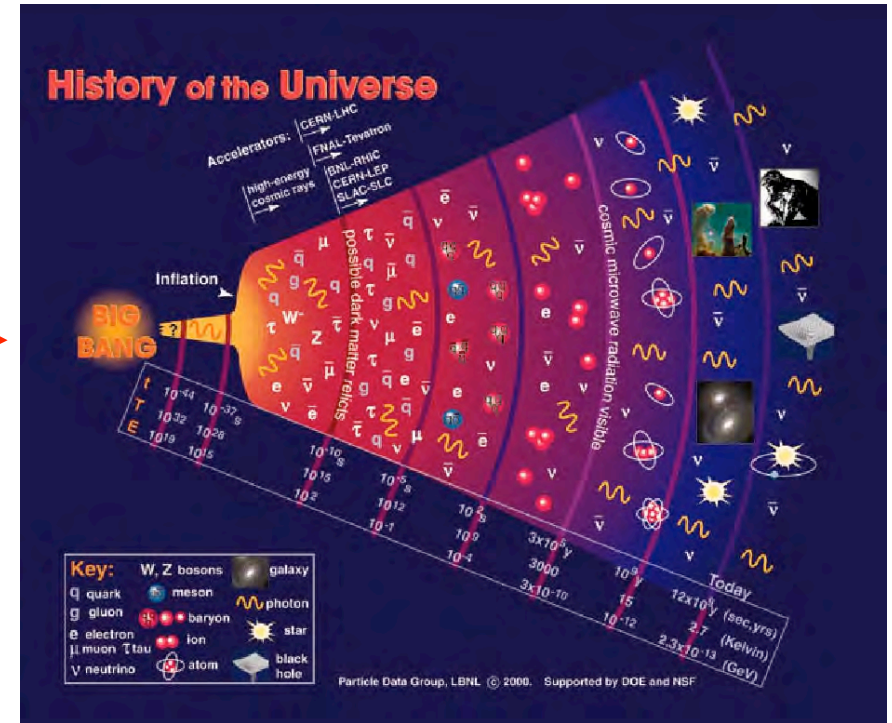
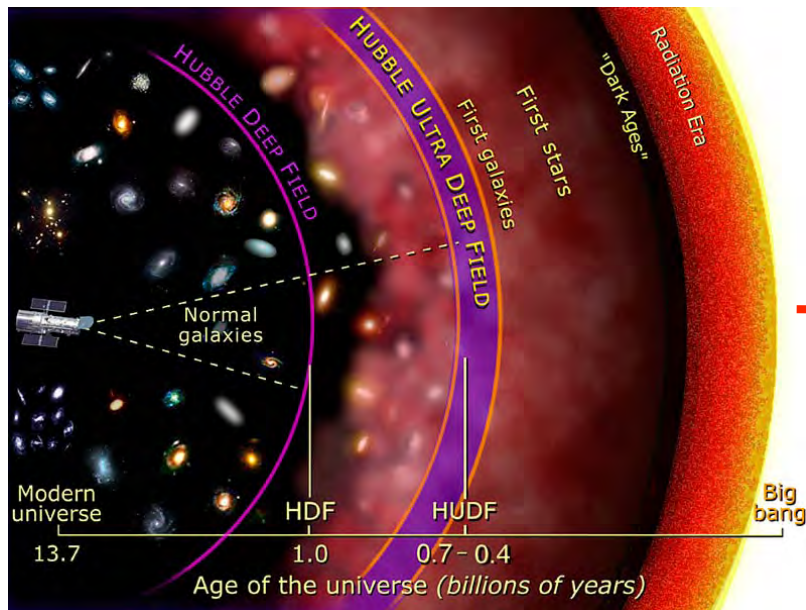
Où sommes nous?

Les origines

Le coté caché

De l'Infiniment Petit à l'Infini Grand

Blaise Pascal



Quelle Géométrie?

Exemple: Les modèles de la Terre plate

Chef Païore (Tuamotu) 1869

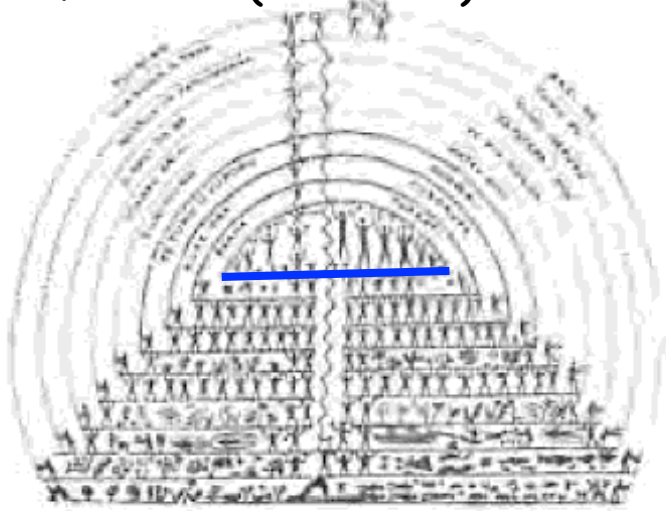
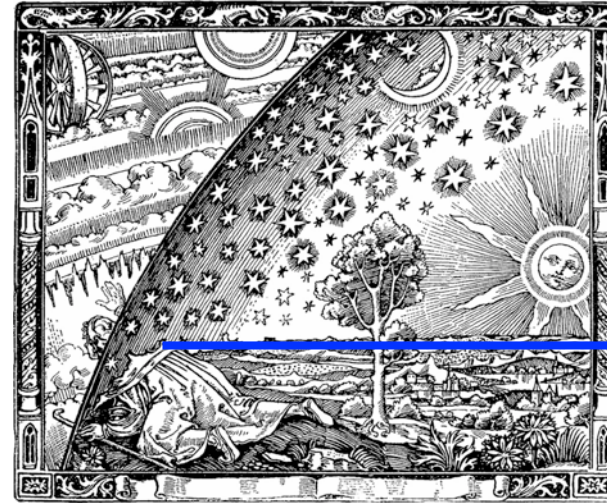


Figure 2.1: Drawing of the Tuamotuan universe as described by Chief Païore in 1869. [Journal of the Polynesian Society]



Flammarion 1888 inspiré par une gravure du 15ème?

Depuis Pythagore ($\approx 570-495$ avant J.C.), compréhension progressive que la Terre est sphérique:

- disparition des bateaux à l'horizon
- éclipses lunaires

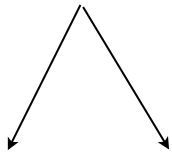
Géométrie de l'Univers?

Relativité Générale

Généralisation de la théorie de Newton

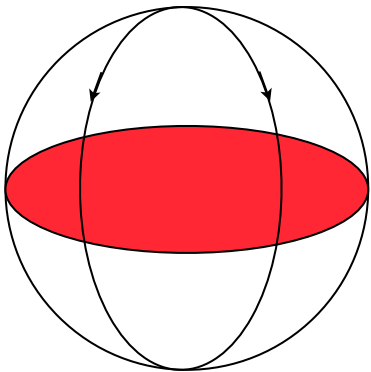
Courbure \leftrightarrow Densité d'énergie: quantité de masse(=énergie) par unité de volume

Courbure $<0 \Rightarrow$ univers fini Courbure ≥ 0 univers infini



Espace Plat

Le chemin le plus court \leftrightarrow densité d'énergie = densité critique
= geodesique = ligne droite $\Omega=1$ Univers infini

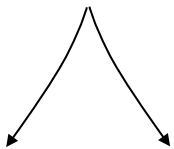


Courbure positive

Le chemin le plus court \leftarrow densité d'énergie $>$ densité critique
est courbe

Les geodesiques convergent
par exemple une sphère

$\Omega > 1$ Univers fini



Courbure negative

Le chemin le plus court \leftarrow densité d'énergie $<$ densité critique
est courbe

Les geodesiques divergent

$\Omega < 1$ Univers infini

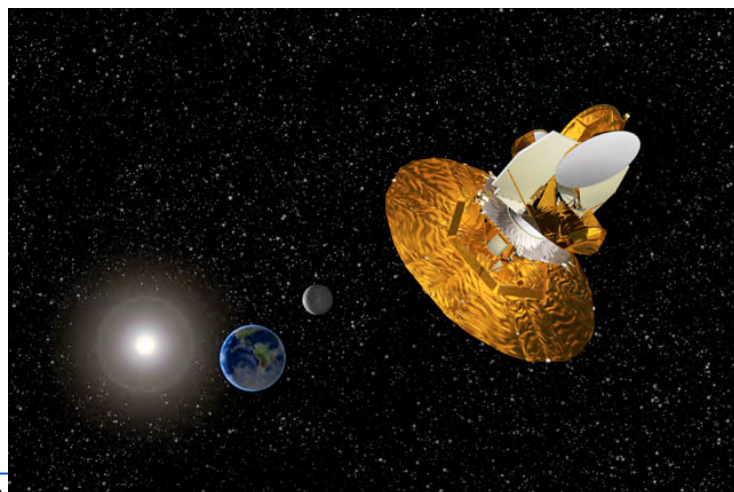
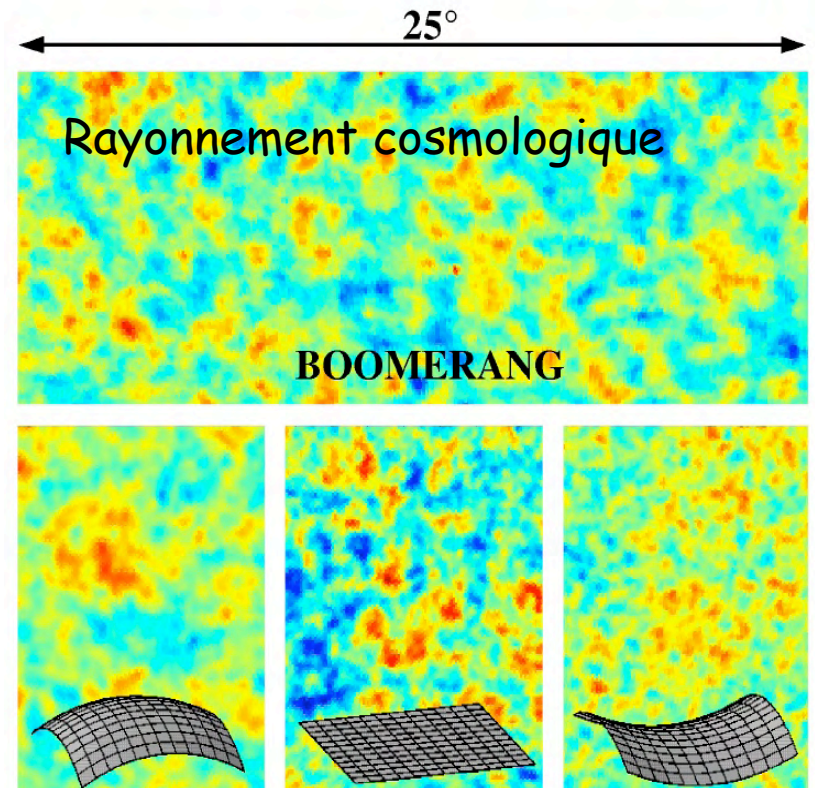
Où sommes nous?

Les origines

Le coté caché

La Géométrie de l'Univers

Boomerang 2001



La taille angulaire des oscillations du plasma implique que les geodesiques sont droites:

=> **L'univers est un espace plat et donc infini!**

$$\text{WMAP} : \Omega_{\text{tot}} = 1.02 \pm 0.2$$

Où sommes nous?

Les origines

Le coté caché

Le Contenu de l'Univers

Vue moderne

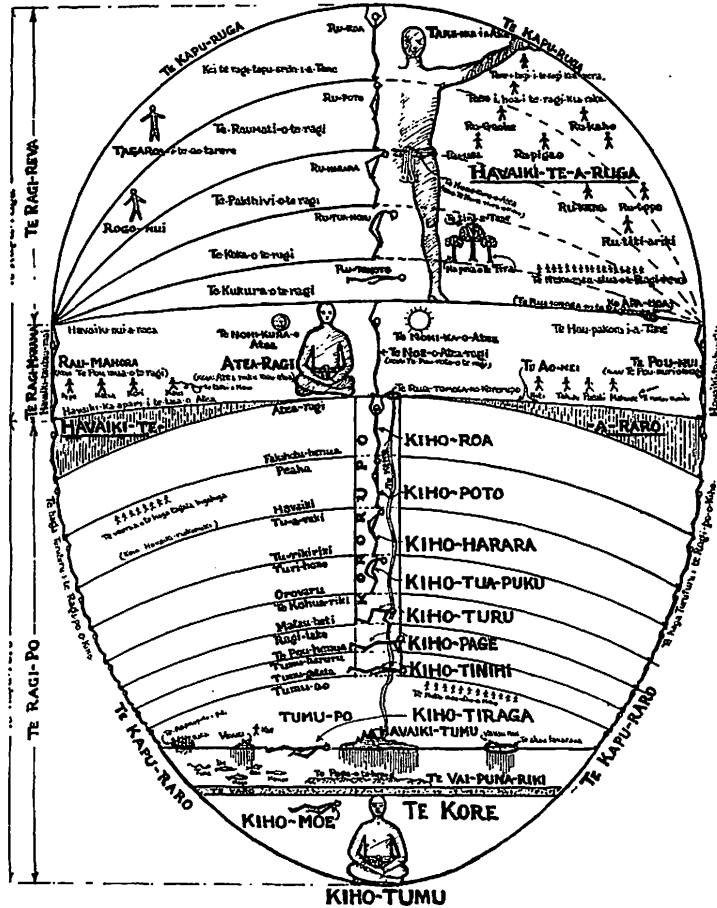
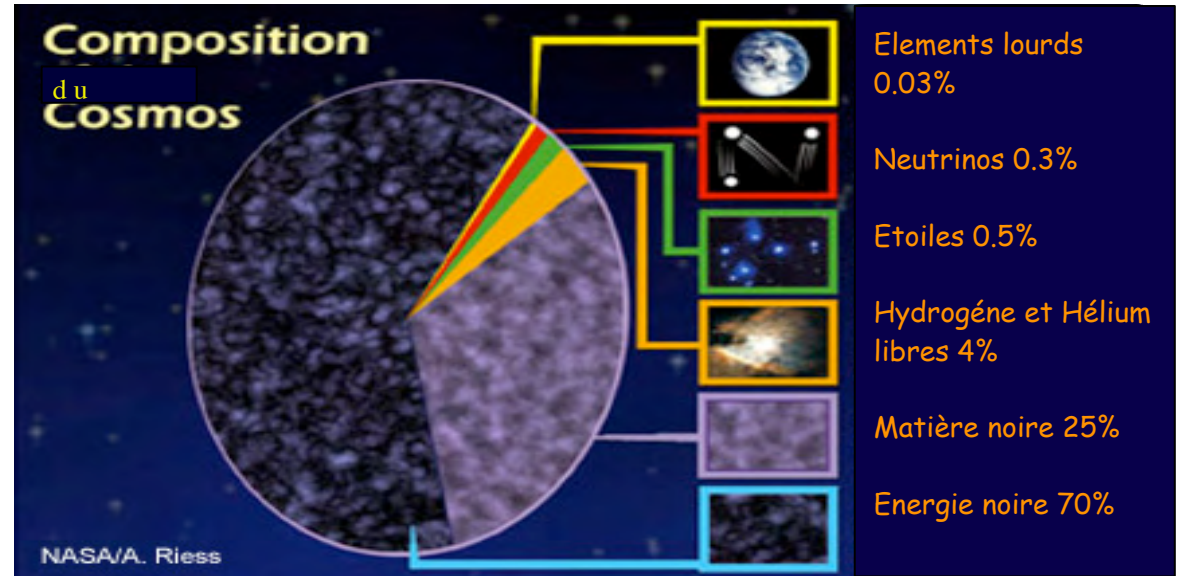


FIGURE 1.—Anaa chart of the universe.

Une autre carte de l'Univers
d'après Praiore
Ile d'Anna



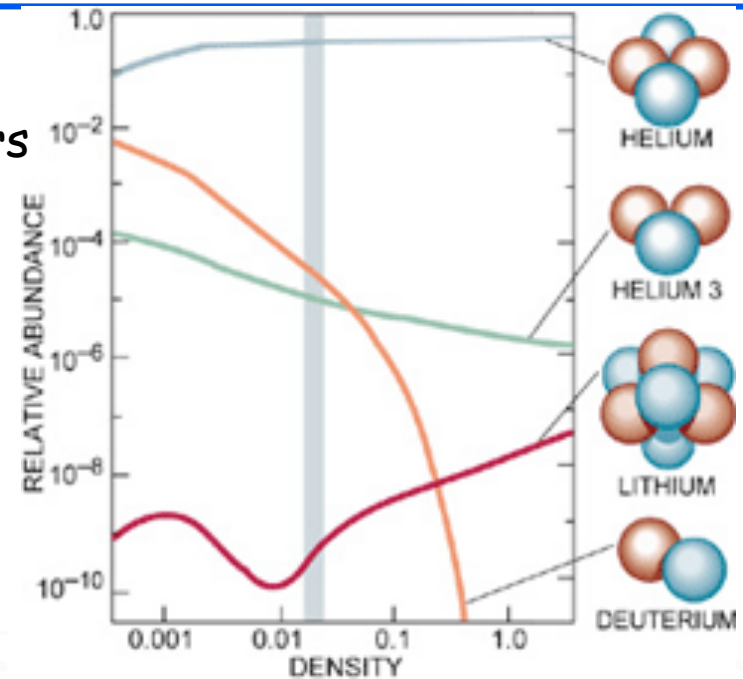
>95% de l'univers est sombre!

Il semble que Pô (=Obscurité) a le dessus sur Ao (= Lumière)

Combien de Matière Ordinaire?

2 méthodes

L'abondance primordiale des éléments légers
(avant la formation d'étoiles)

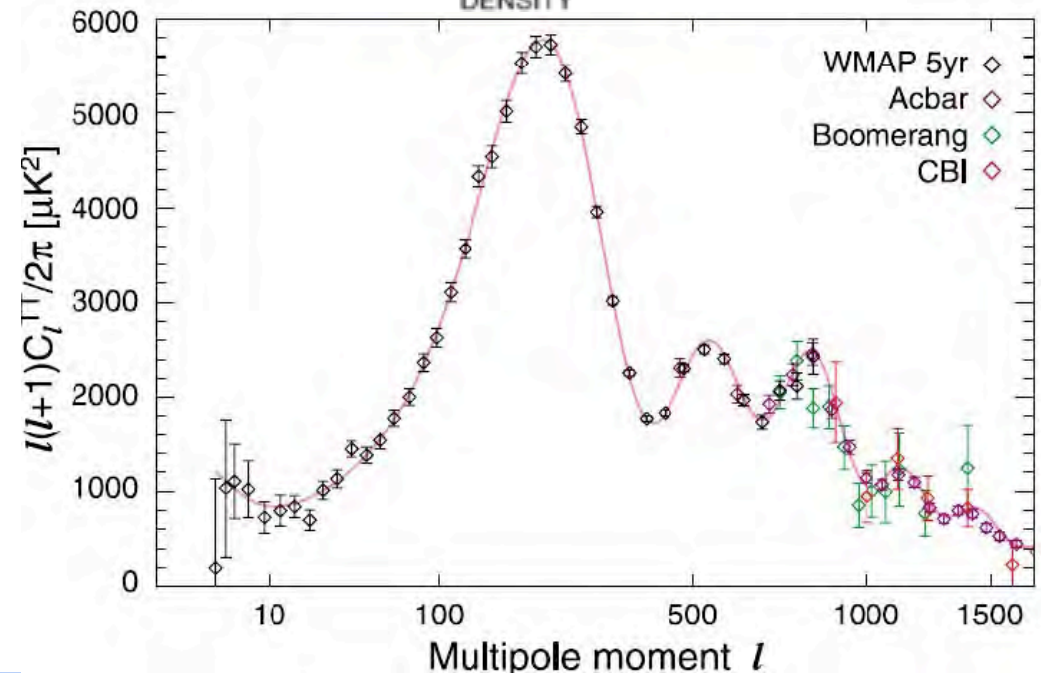


Oscillations du plasma primitif
observé dans le rayonnement
cosmologique

Les deux méthodes sont compatibles

$\rightarrow \Omega_{\text{Matter}} \approx 0.045 \pm 0.002$

Où est le reste?



Où sommes nous?

Les origines

Le coté caché

Essayons de peser les galaxies!

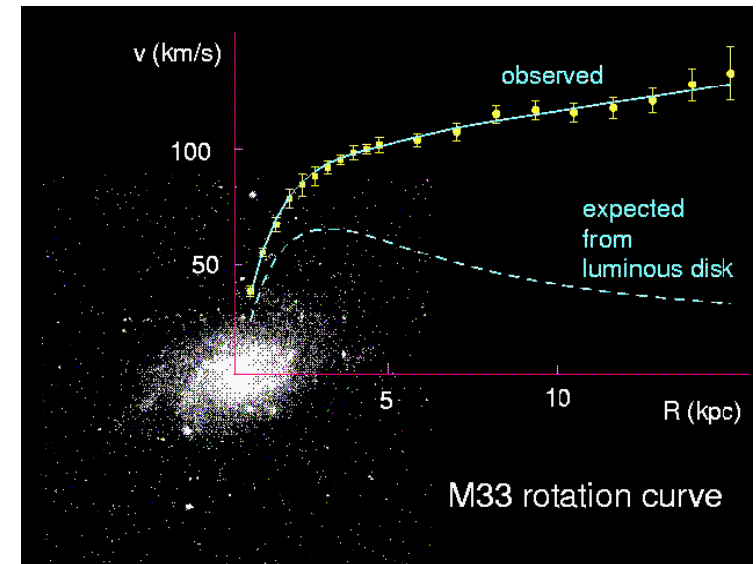
Galaxies spirales

Mesurons les " courbes de rotation"

Vitesse des objets → force centrifuge

Doit être contre balancé par la gravité

⇒ Masse à l'intérieur de l'orbite

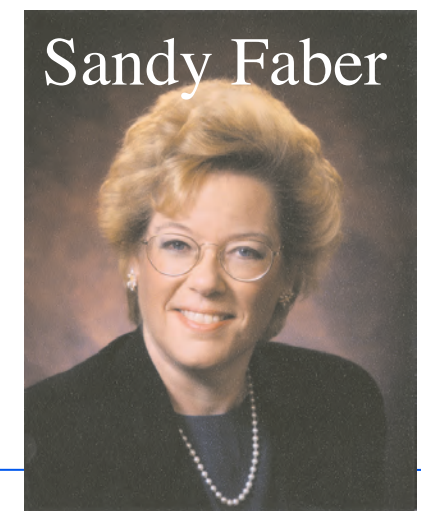
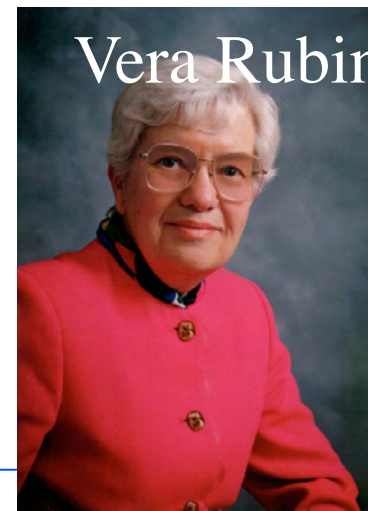


Bergstrom, Rept.Prog.Phys. 63 (2000) 793
E. Corbelli & P. Salucci astro-ph/9909252

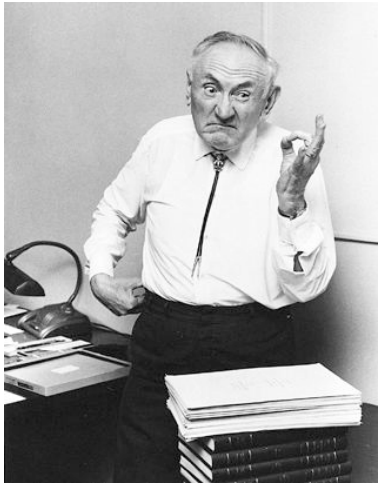
=> bien plus de masse que contenue dans les étoiles

La masse à l'intérieur continue à augmenter avec la distance à partir du centre alors qu'il n'y a plus d'étoiles

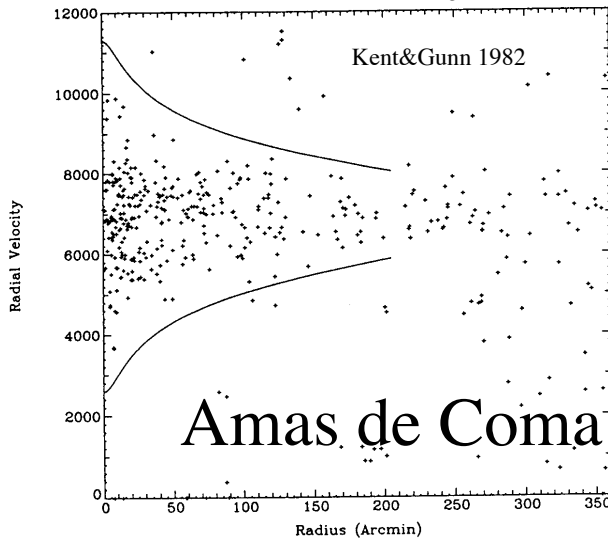
Matière Noire $\Omega_{DM} > 0.02$



Peser les Amas de Galaxies

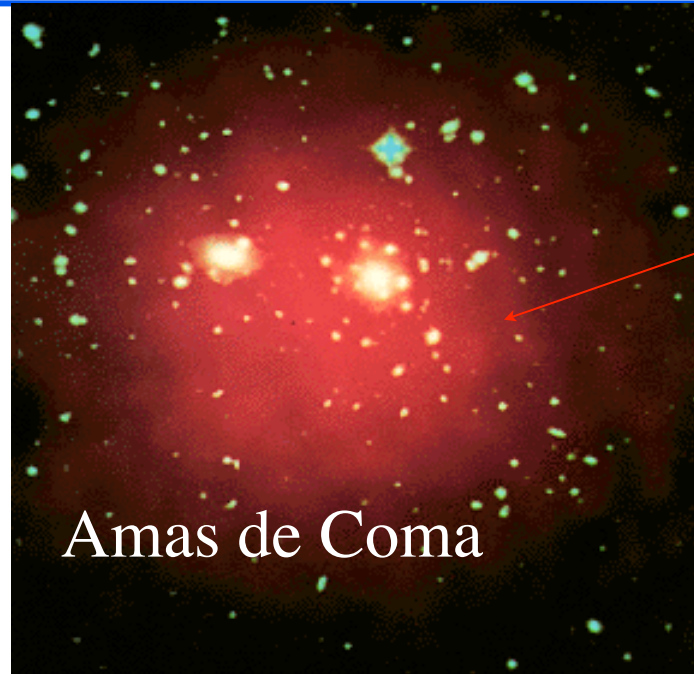


Fritz Zwicky



Galaxies bougent beaucoup trop rapidement pour rester ensemble à moins qu'il y ait une matière noire!

1933



Amas de Coma

Emission X

Matière Noire
 $\Omega_{DM} \approx 0.25$



Gravitational Lens
Galaxy Cluster 0024+1654
Hubble Space Telescope - WFPC2

La masse des amas est si grande qu'ils focalisent la lumière! On peut mesurer leur masse!

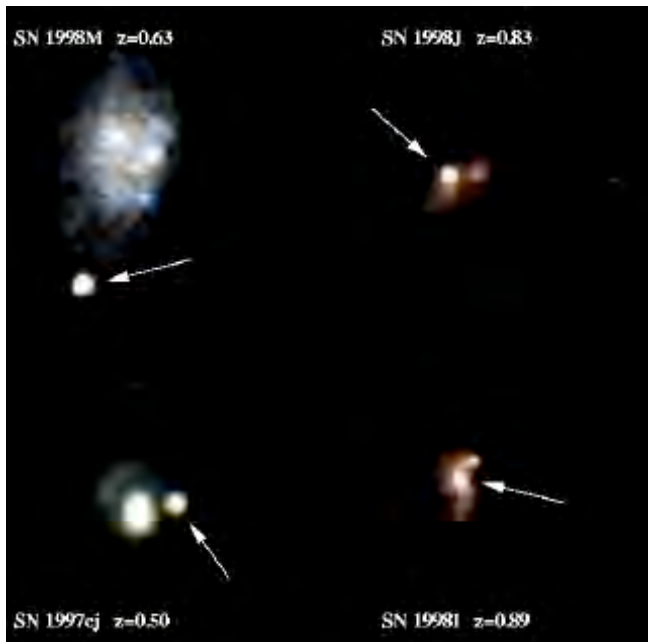
Quelque Chose manque!

$$\Omega_b + \Omega_{dm} + \Omega_\gamma = 0.04 + .026 + \Omega_\gamma \approx 1$$

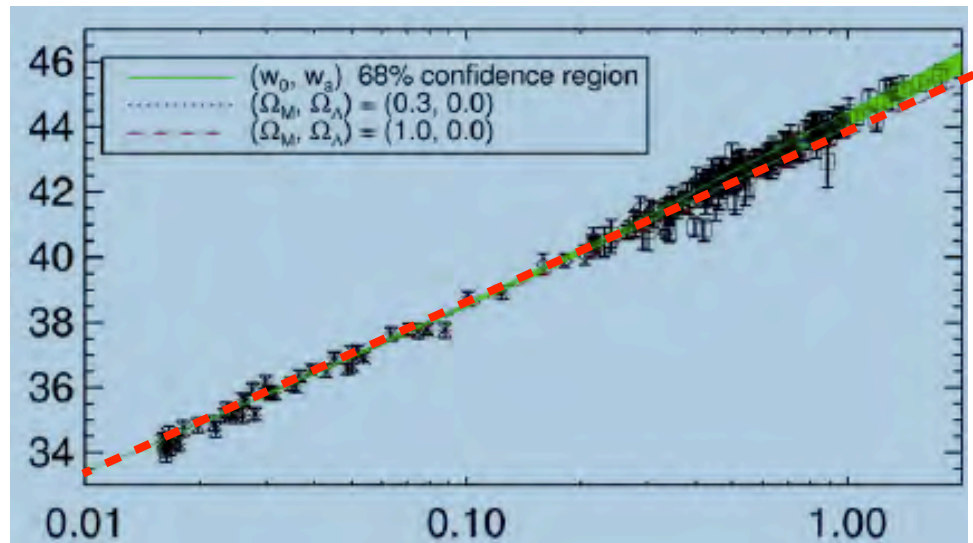
Idée: mesurer l'expansion en fonction du temps

Nous avons besoin d'objects extrêmement brillant et de luminosité connue

Type 1A Supernovae



Luminosité -> faible



Le convive non invité

Les supernovae lointaines sont moins brillantes qu'attendu

=> accélération de l'expansion

Une substance bizarre: L'énergie noire Pression \approx - densité

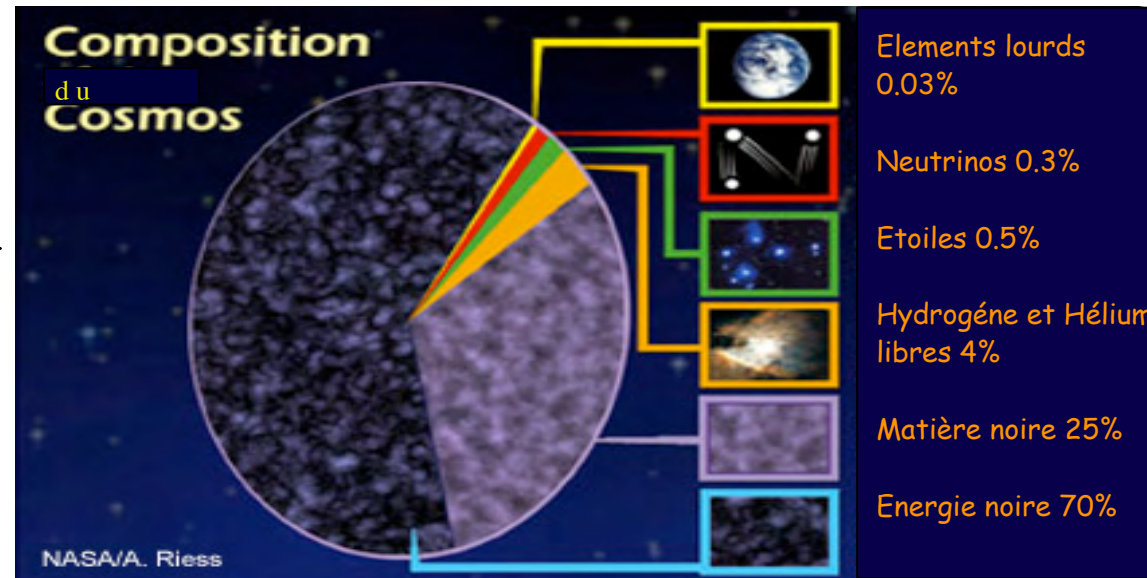
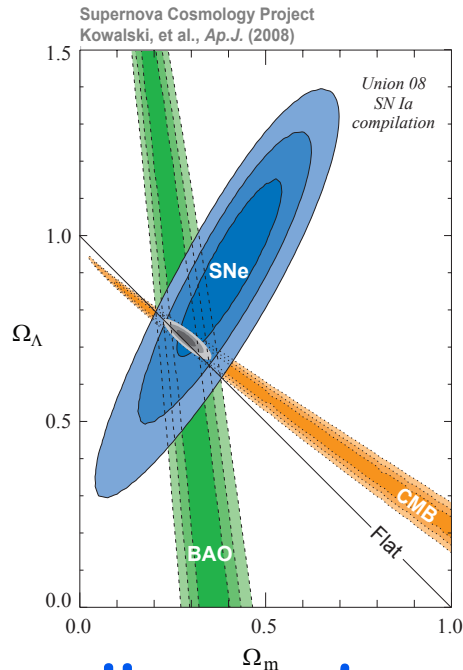
Où sommes nous?

Les origines

Le coté caché

Notre Manque de Compréhension Actuelle

Une description coherente mais surprenante !



Excellente description de la formation des structures à grande échelle

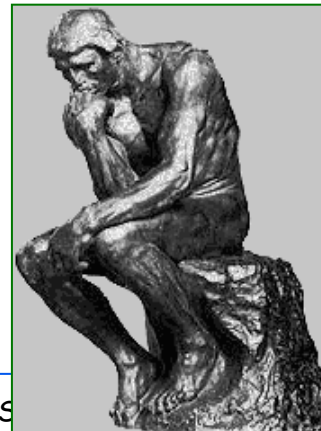
La matière noire est essentielle pour la formation des structures
L'apparition récente de l'énergie noire importante pour l'arrêter

Quelle est la nature de ces deux composantes?

La matière noire: des particules produits dans l'univers primitif?

L'énergie noire: l'énergie quantique du vide?

mais pourquoi est elle si petite?



Où sommes nous?

Les origines

Le coté caché

Conclusions

Dans notre démarche scientifique, nous retrouvons bien des thèmes des chants de la création

Où sommes nous? Les cartes de l'univers, les distances

L'origine de l'univers

La géométrie

Le contenu, l'ombre et la lumière

Succès importants dans notre compréhension de l'univers et son origine

Zones de lumière dans notre compréhension

Mais nous sommes perplexes sur le secteur sombre

La matière noire

L'énergie

Zone d'ombre indéniable dans notre compréhension

L'Émerveillement et le Sens

Mais au delà

d'un essai de décrire des faits

de résumer des informations pratiques

d'établir des relations

de proposer des explications

les chants de la création sont aussi des célébrations de l'harmonie de l'univers et des interprétations du sens ultime de tout cela!

La Science par construction se défend d'aller jusque là!

Pour défendre sont objectivité.

Mais cela n'empêche pas le scientifique en temps qu'être humain d'être aussi un poète (c'est même un devoir d'après François Jacob)

Où sommes nous?

Les origines

Le coté caché

Mon Émerveillement

J'espère avoir aussi partagé avec vous mon émerveillement devant la grandeur et le mystère de l'univers:

Beaucoup d'entre nous, cosmologistes, nous nous associons à l'homme de Flammarion qui perce le ciel et découvre un univers merveilleux: le fait que la terre est plate dans ce dessin n'a pas d'importance!

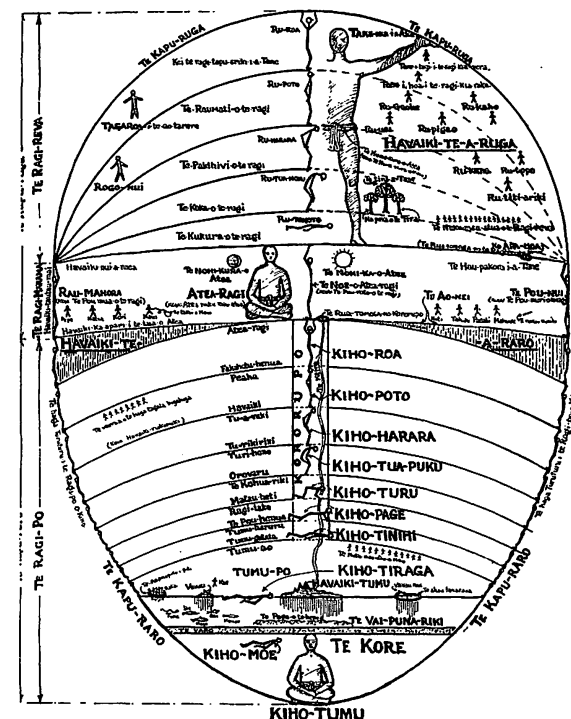


FIGURE 1.—Anaa chart of the universe.

Les contes polynésiens n'ont ils pas la même qualité?