

La Texture de l'Univers

Albert Bijaoui

Observatoire de la Côte d'Azur

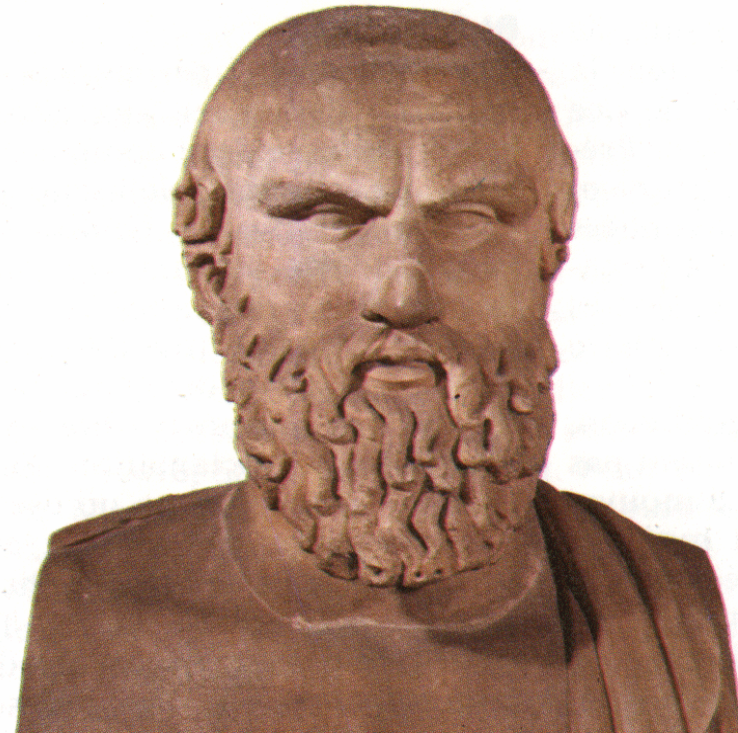
Plan de l'exposé

- Le Concept d'Univers
- Les galaxies, briques de l'Univers
- Le Big-Bang
- La distribution de Galaxies
- L'Univers fractal
- Les rides de l'Univers
- La composition de l'Univers

Le concept d'Univers

Le Concept d'Univers

- L'astronomie mythique
 - La Terre et les Cieux sont faits pour l'Homme
- La Sphère des Fixes
 - Platon : la Terre est immobile, les étoiles tournent autour
 - Quid des Planètes
 - La Quintessence

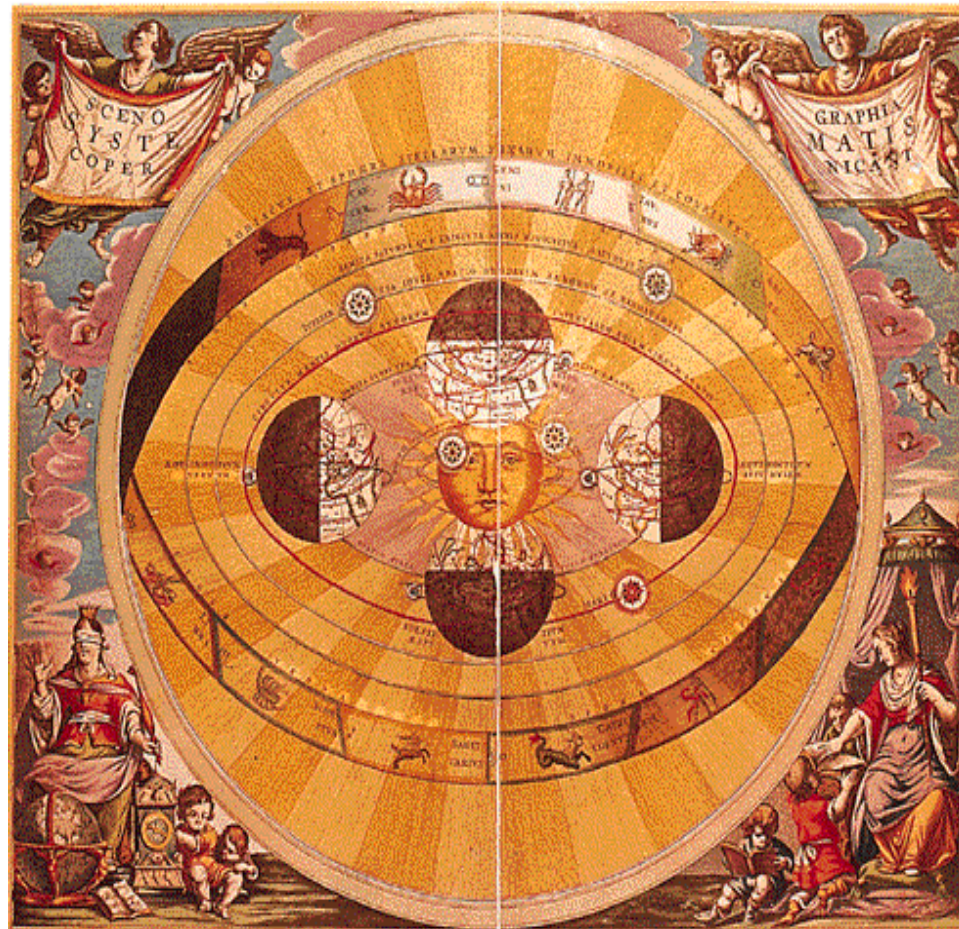


Ptolémée (85-165)

- L'Almageste
 - Théorie Géocentrique du mouvement du Soleil, de la Lune et des planètes
 - Épicycles



La révolution copernicienne (1543)



er
NICOLAS COPERNIC
Le système de Copernic (gravure du XVII^e s.).

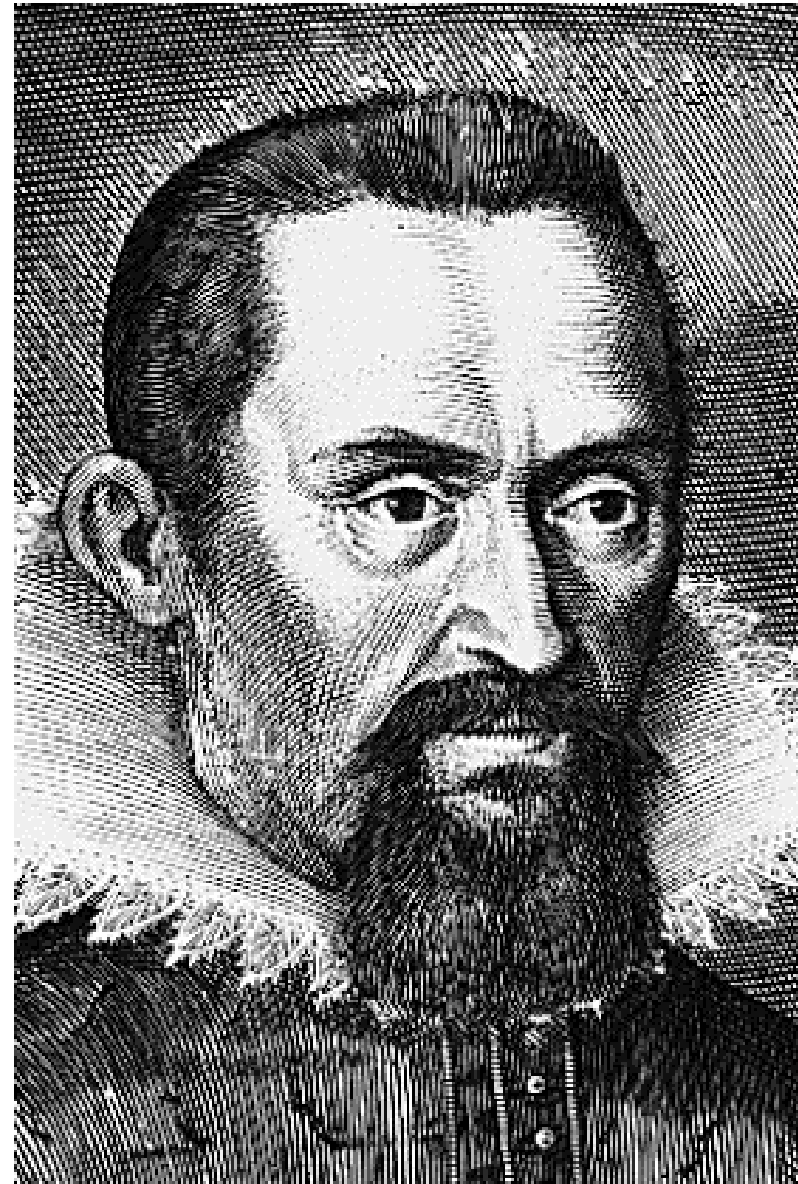
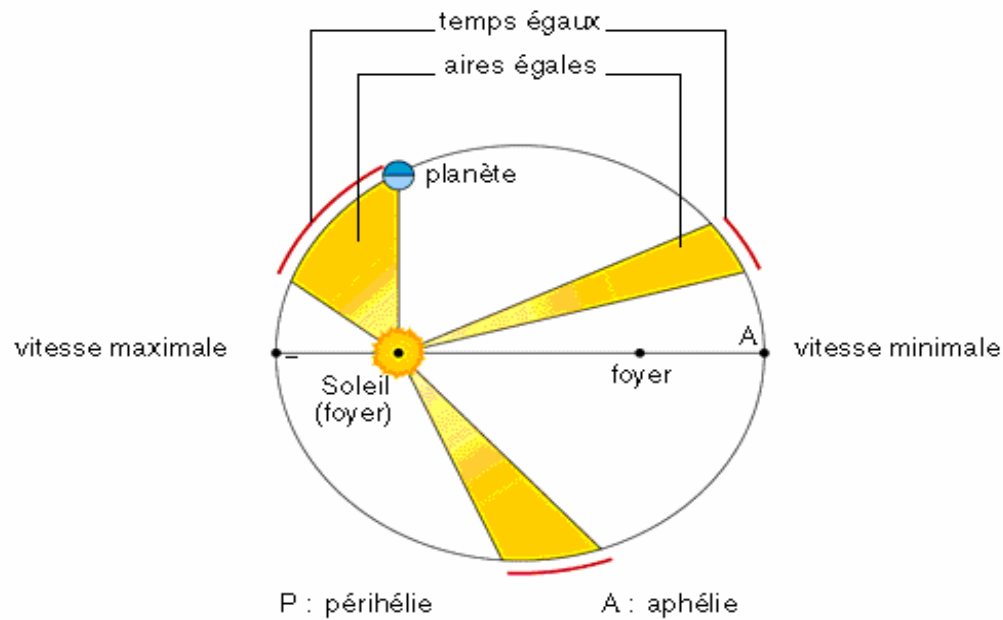


Giordano Bruno

- L'héliocentrisme conduit à modifier la place de l'homme dans l'Univers
- Bruno professe la pluralité des mondes et l'atomisme
- Il est meurt sur le bûcher à Rome en 1600



Kepler et les lois des planètes



Johannes **KEPLER**, astronome allemand. Détail

Newton introduit la Gravitation Universelle

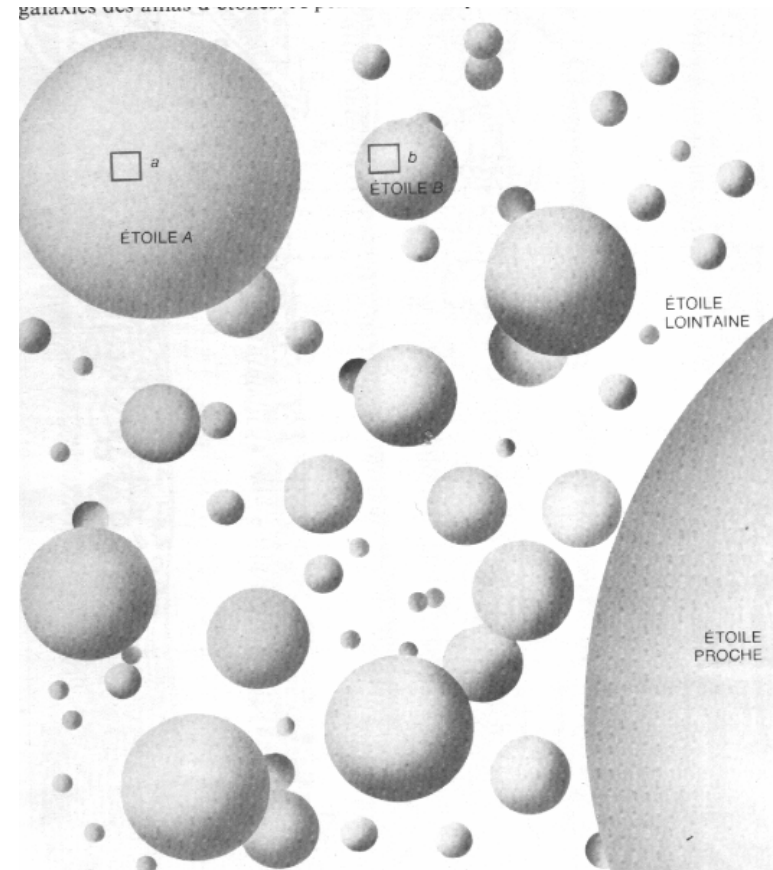


La Pluralité des Mondes

- *Entretiens sur la Pluralité des Mondes*
Fontenelle (1686)
- Concept moderne d'Univers
- Les Univers-Iles de Kant (1754)
- Refus d'un Centre de l'Univers
- Homogénéité et Isotropie
- Il n'y pas de point privilégié

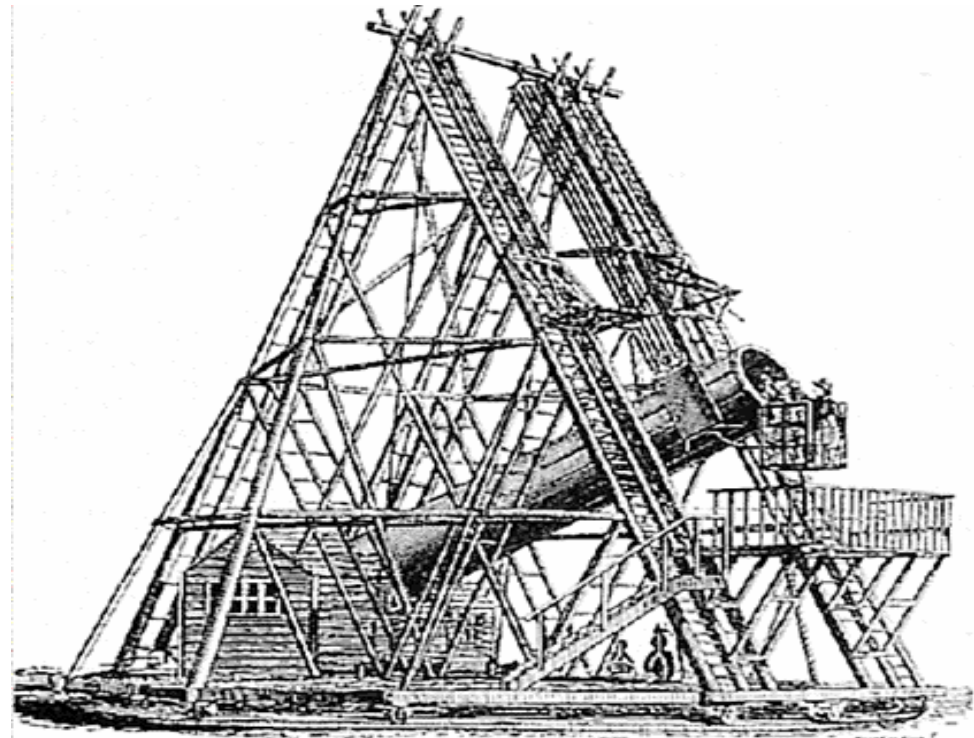
Le Paradoxe d'Olbers (1823)

- Si l'Univers est peuplé de manière homogène et isotrope l'intensité lumineuse dans toute direction est infinie

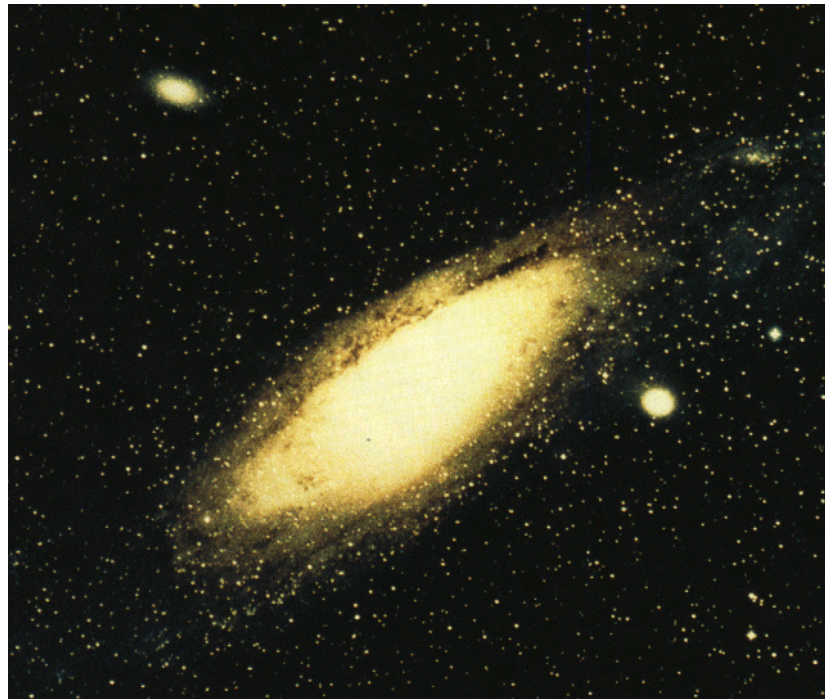


Les galaxies briques de l'Univers

Herschel et l'inventaire du ciel

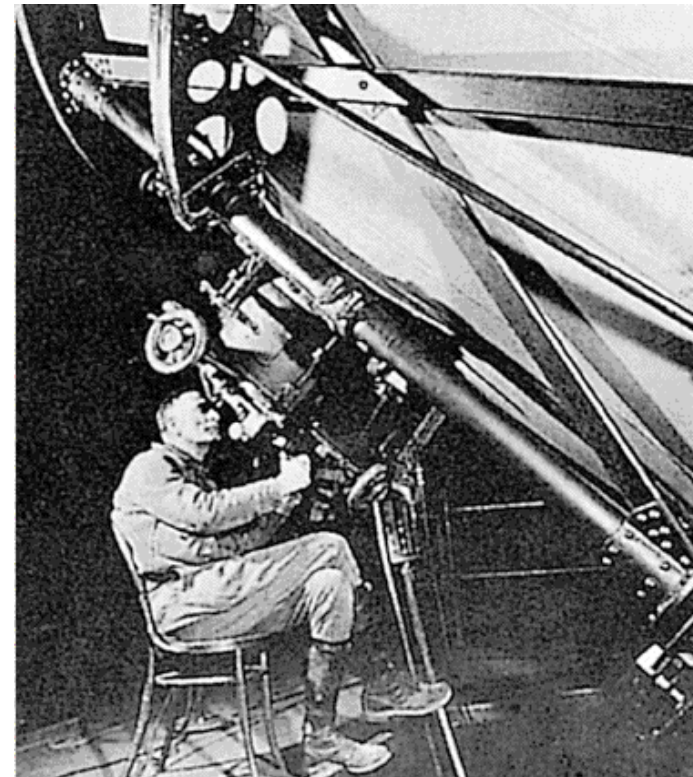


Le catalogue de Messier



L'Identification des Galaxies

- Étoiles variables
Céphéïdes
- Les Nuages de
Magellan
- Diagramme Période -
Luminosité
- Céphéïdes de la galaxie
d'Andromède (M31)
- Distance de celle-ci
Hubble 1923



Edwin Powell HUBBLE au télescope Hooker de l'observatoire du mont Wilson, aux États-Unis.

La loi de Hubble (1929)

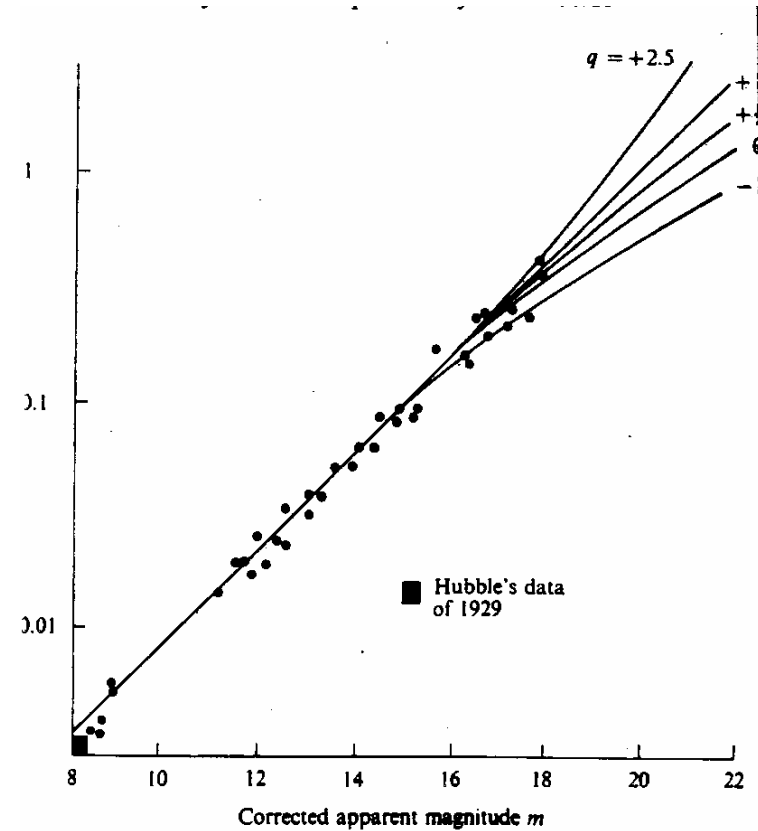
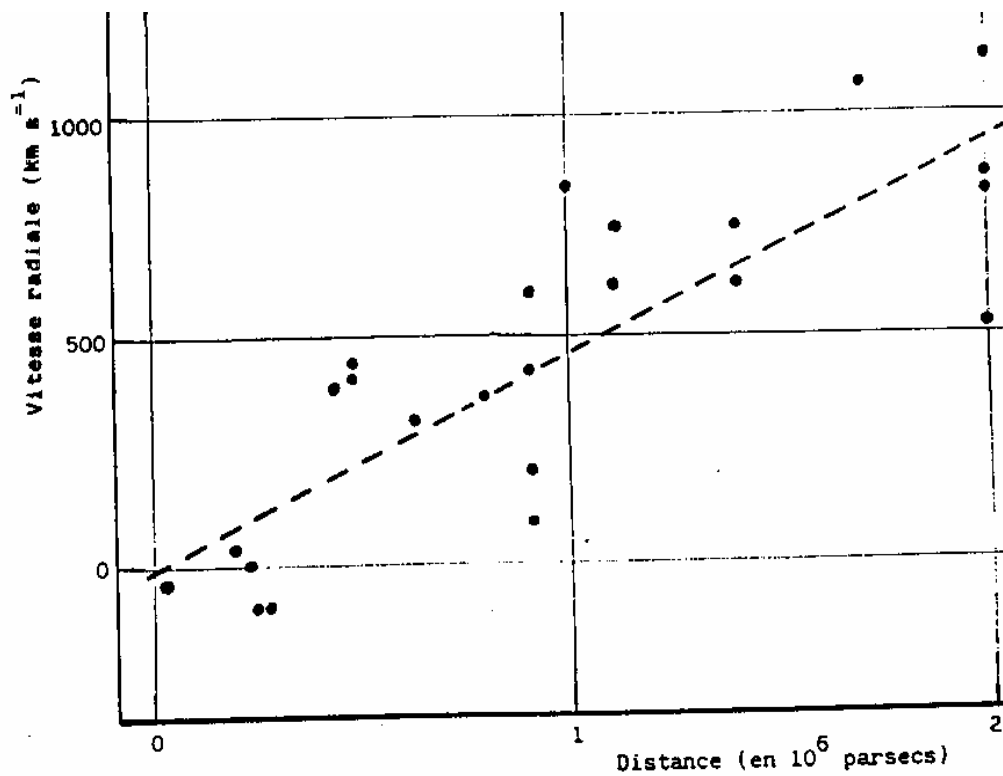
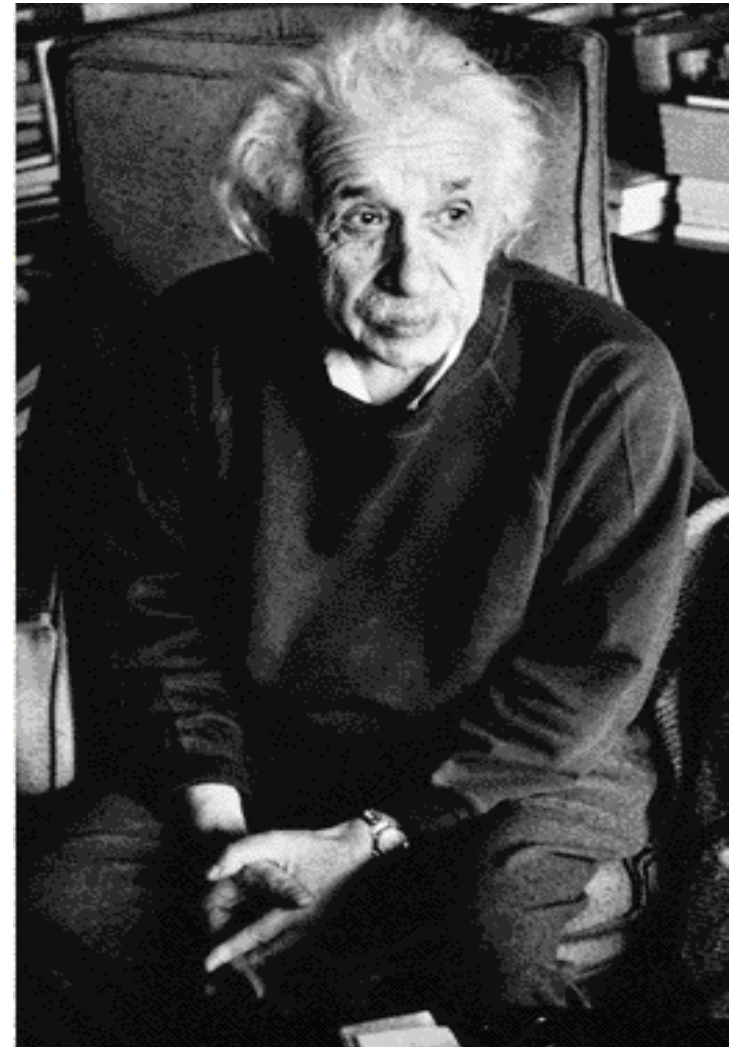


Figure 6. Hubble diagram showing cosmic expansion. (After Sandage.)

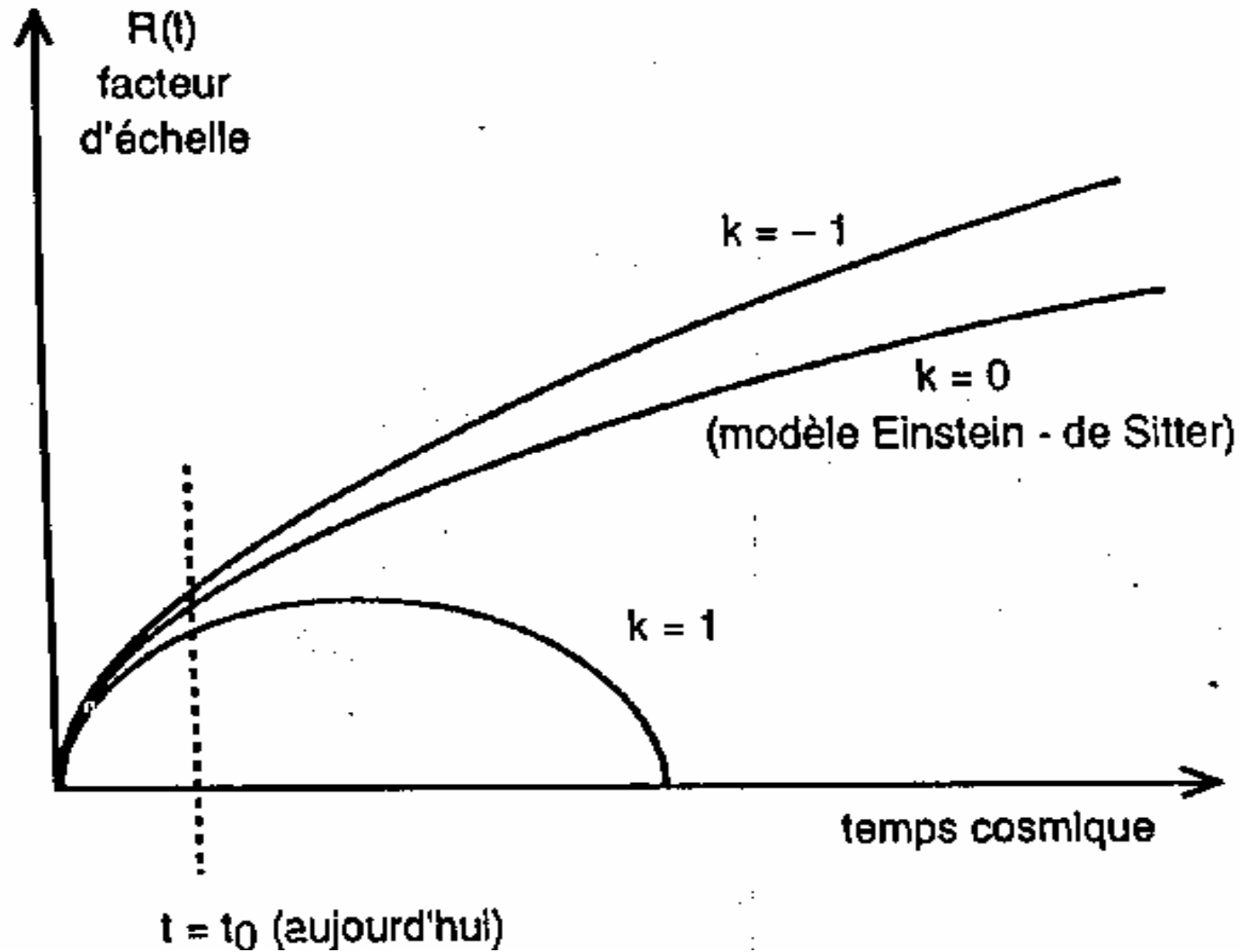
Le Big-Bang

Modéliser l'Univers

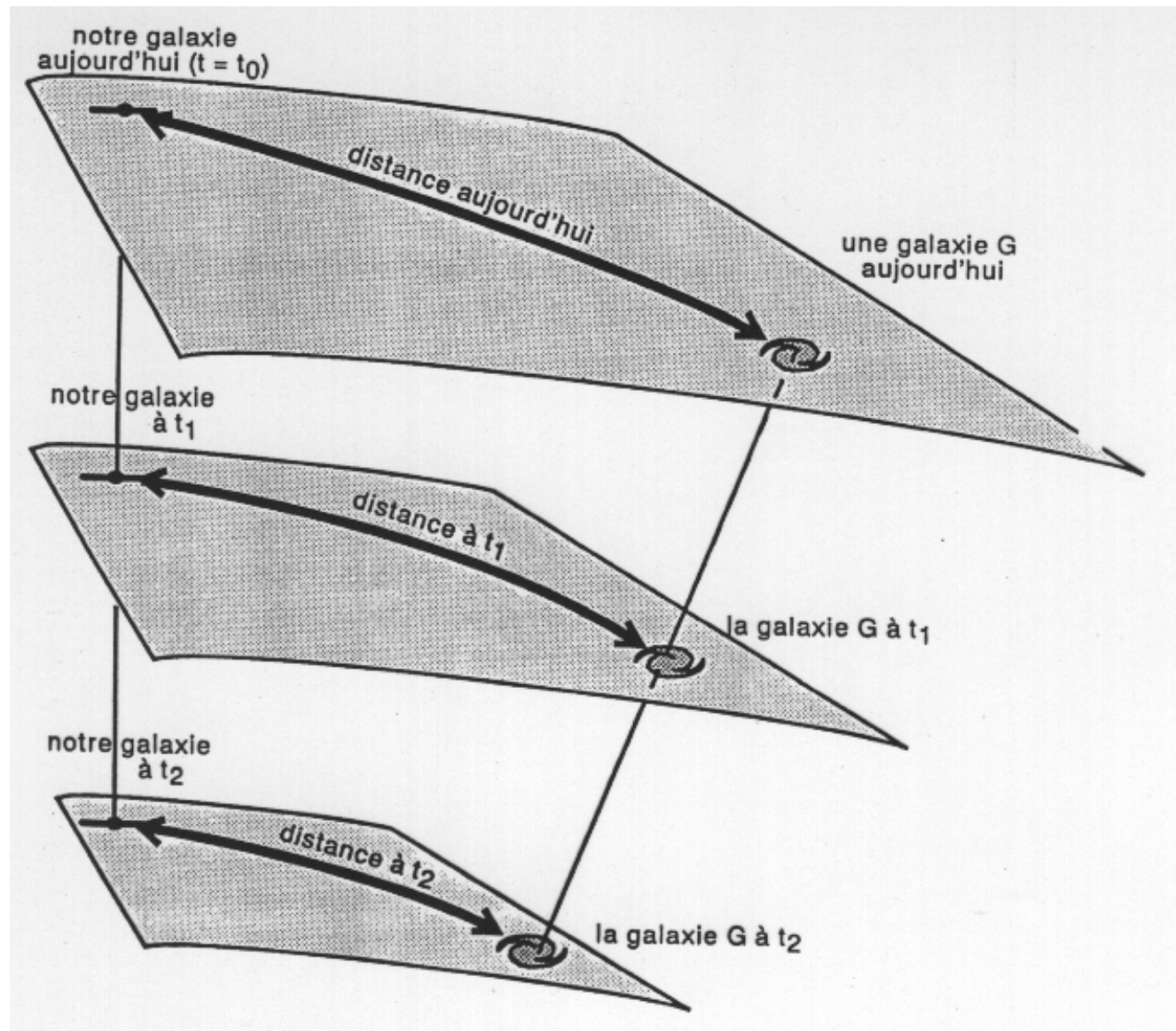
- La Relativité Générale d'Einstein
 - Les Masses courbent l'espace
- La Courbure de l'Univers
- Le Modèle d'Einstein (1917)
 - L'Univers est homogène et isotrope
 - L'Univers n'est pas stable
 - La Constante Cosmologique



Le Modèle de Friedmann (1922)



Expansion et Vitesse



Apports de l'Abbé Lemaître

- Les variations de la courbure conduisent à une vitesse apparente des galaxies
- Valeur de la constante de Hubble
- Détermination de l'âge de l'Univers
- Singularité initiale



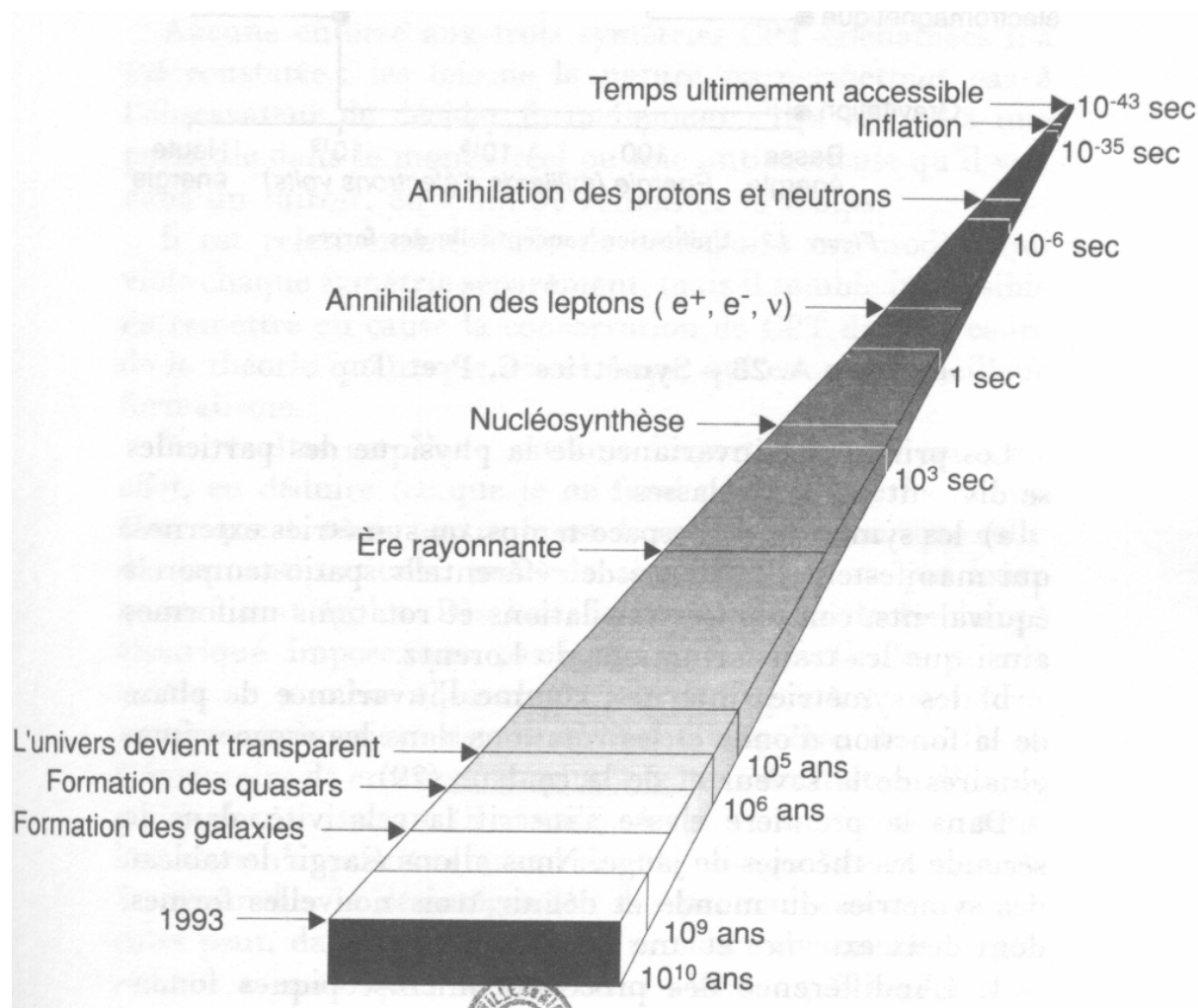
Le Modèle du Big-Bang

- Alpher - Bethe - Gamov (1948)
- La remontée dans le Temps
- La découverte de Penzias/Wilson (1965)
- Le fond Cosmologique
- L'Horizon cosmologique
- L'Origine des éléments



La Remontée dans le temps

En remontant
dans le
temps
l'Univers est
de plus en
plus chaud
et dense

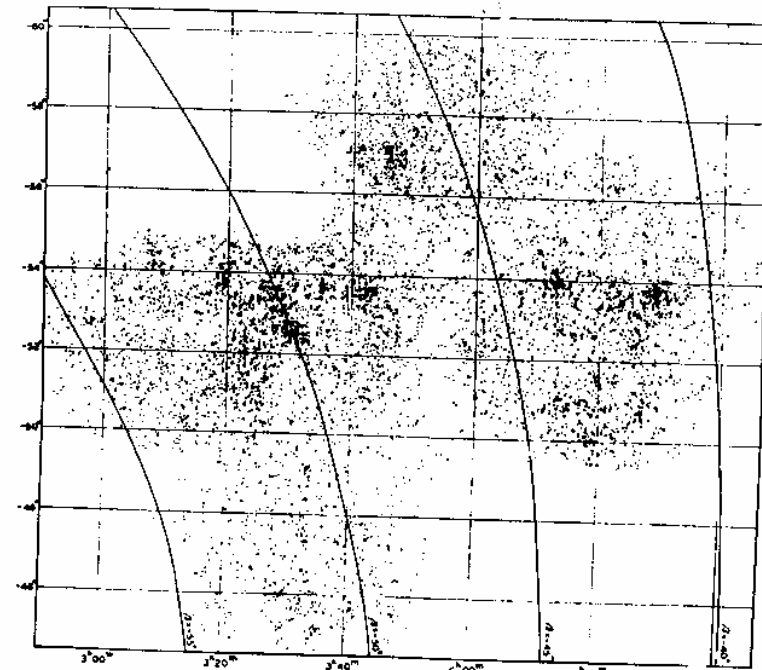


La distribution des Galaxies

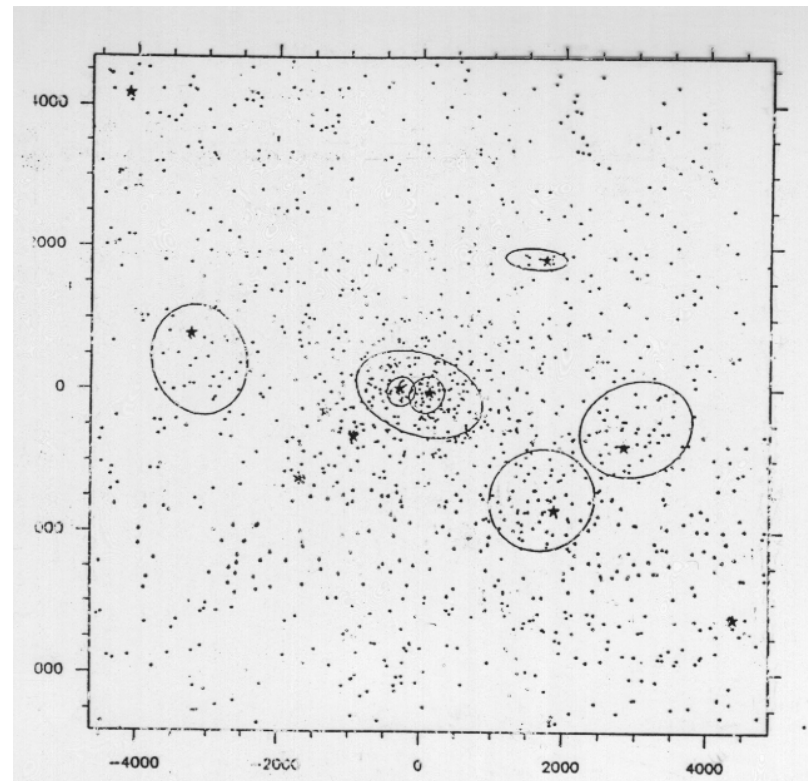
Le principe cosmologique
suppose que l'Univers est
homogène et isotrope

Le Comptage de Shapley-Ames

- Les galaxies appartiennent souvent à des groupes
- Existe-t-il des groupes de groupes?

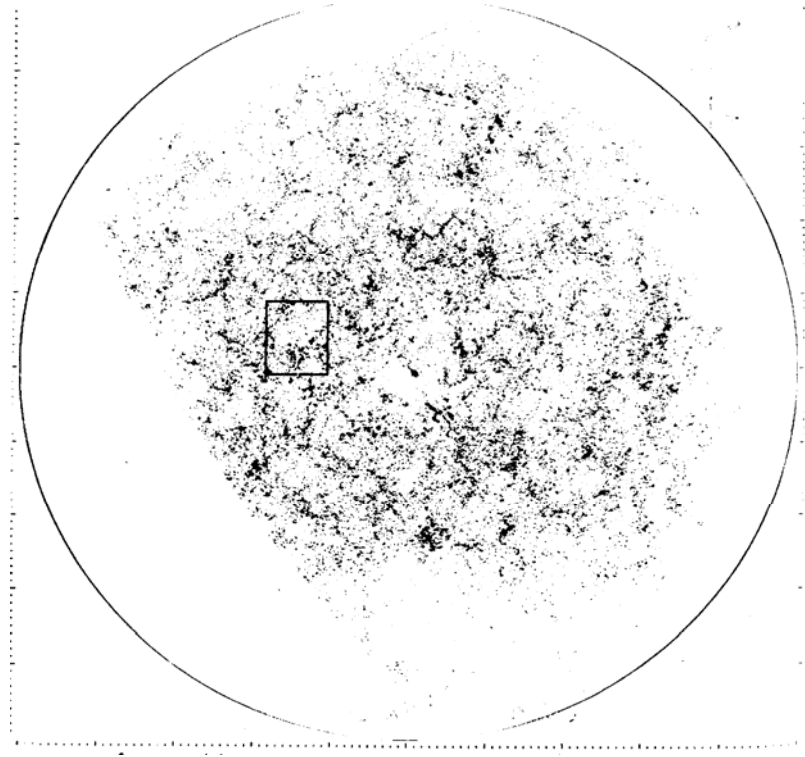


L'amas de Coma

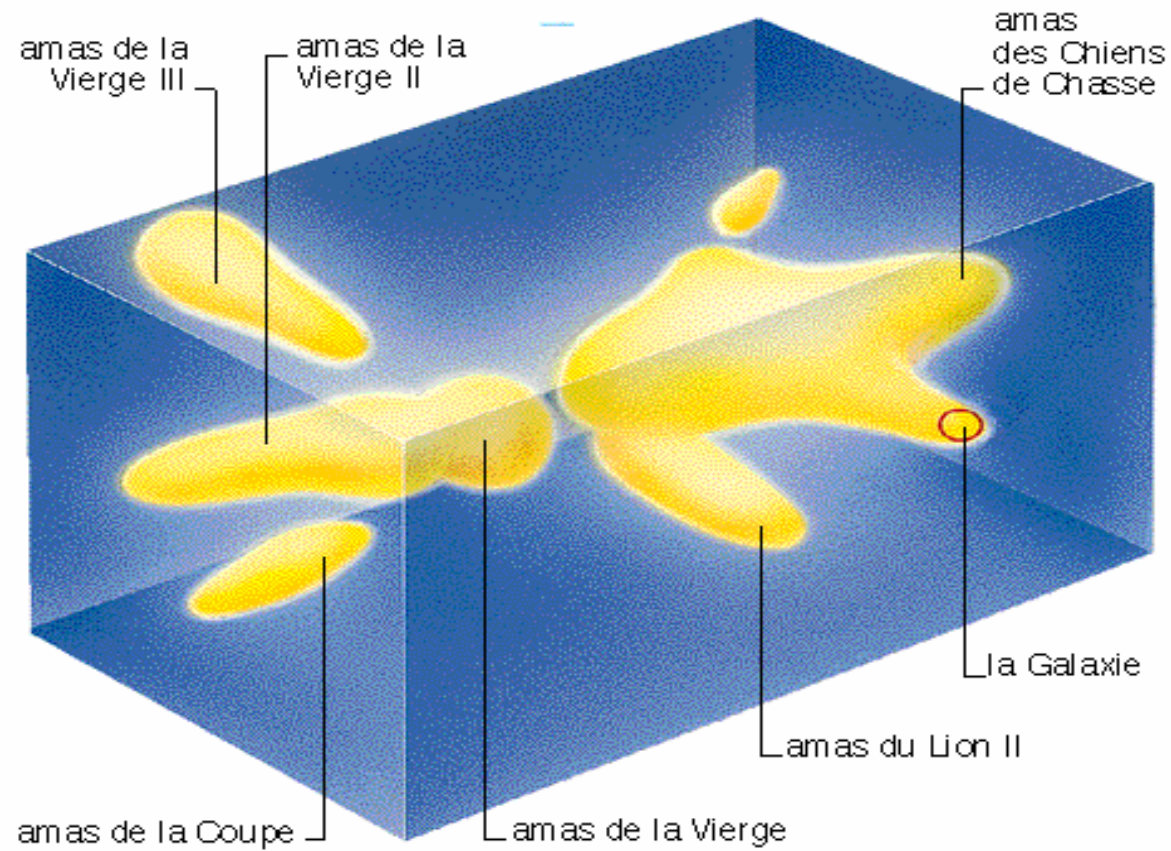


Le comptage de Shane-Wirtanen

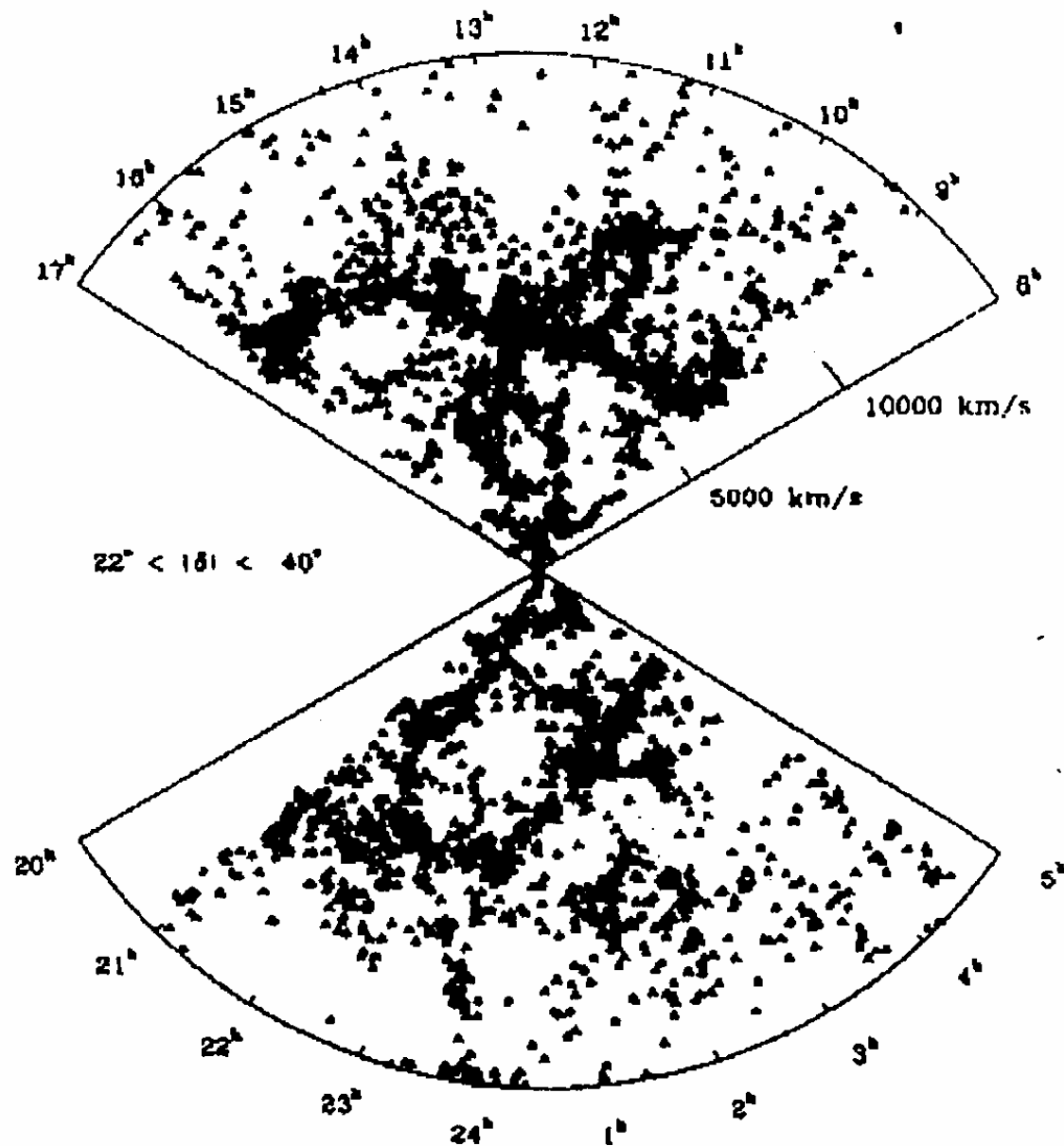
- Il existe d'autres éléments texturaux:
 - Des filaments
 - Des vides
- Comment décrire la texture de l'Univers?

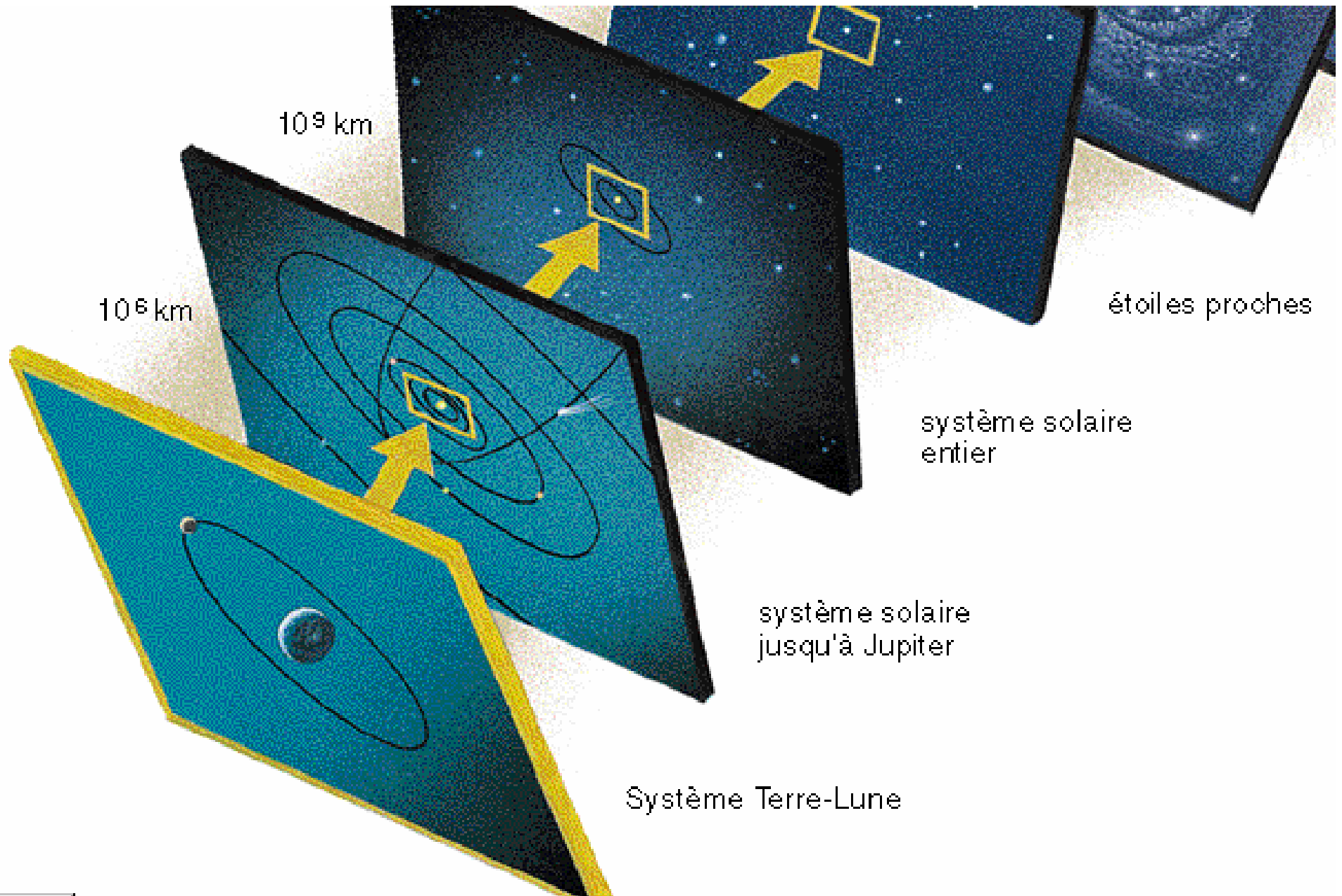


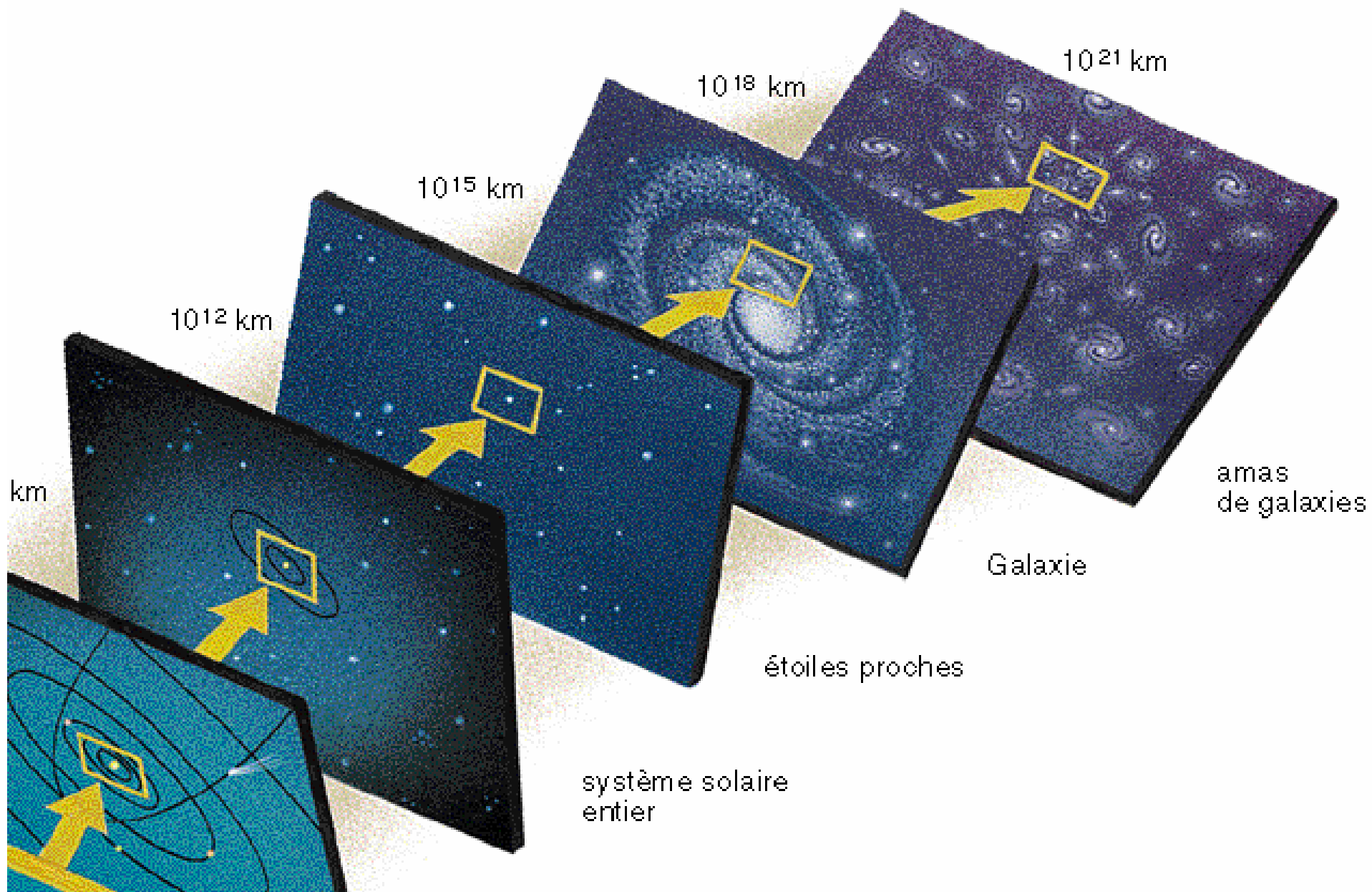
Le superamas de VIRGO



Le Grand Mur dans Coma



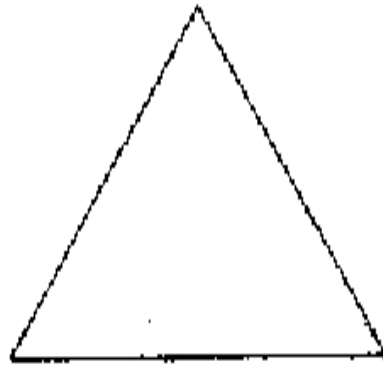




L'Univers Fractal



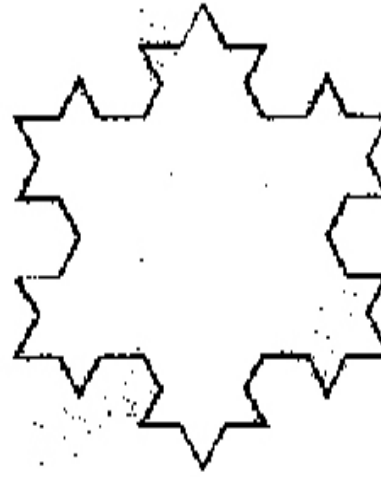
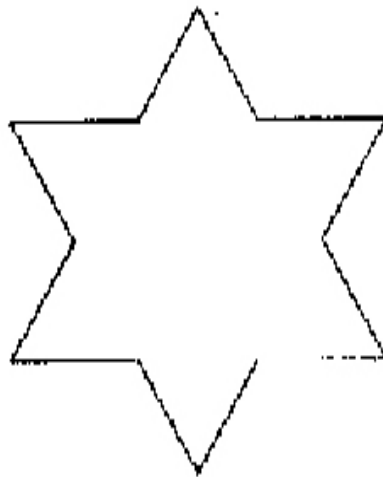
L'île de Von Koch



Initiator

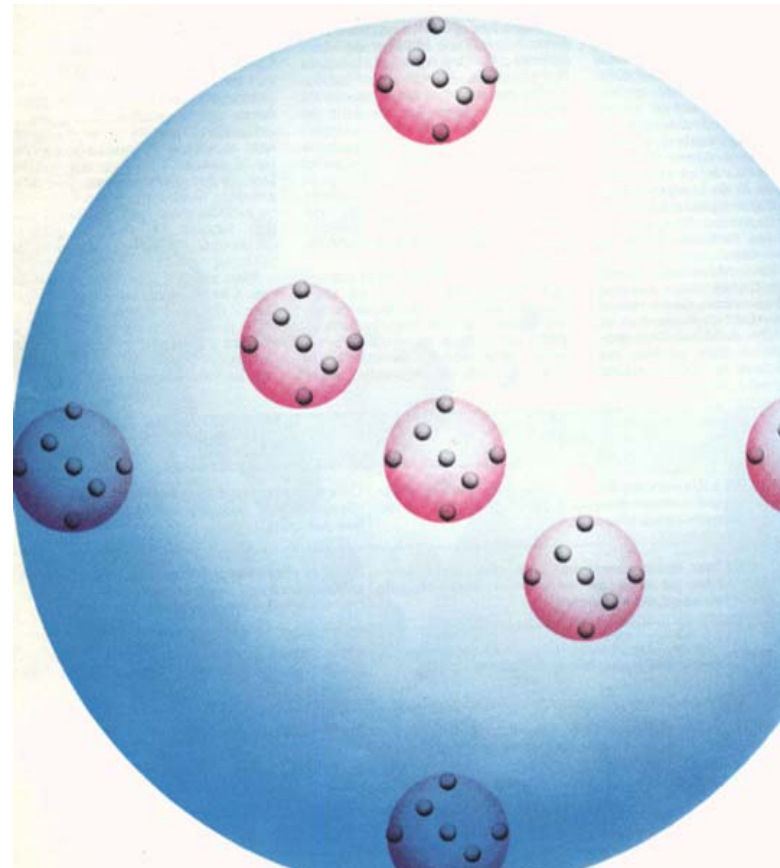


Generator



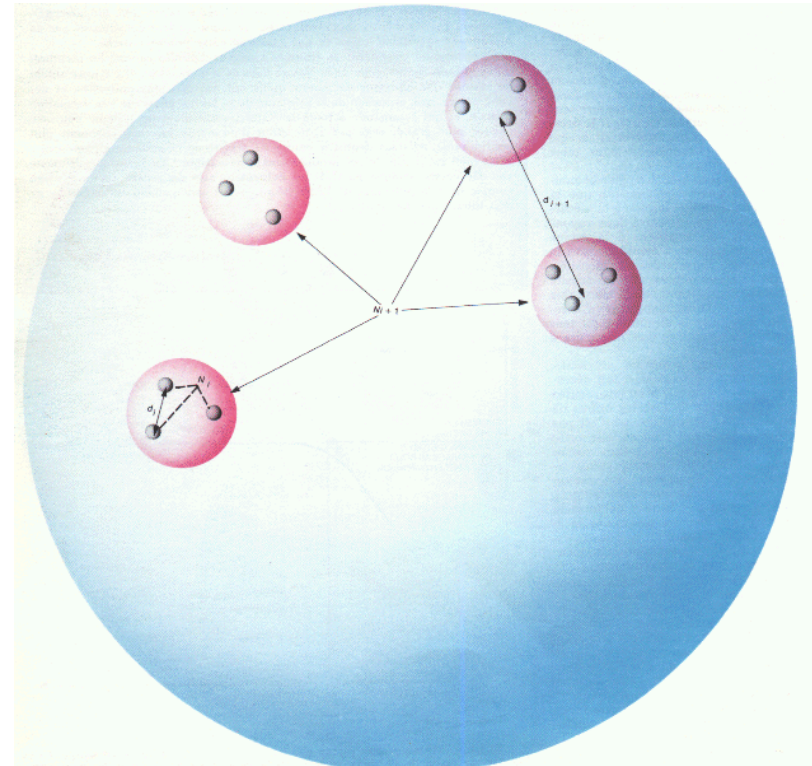
Le modèle de Fournier d'Albe

- Un Univers hiérarchisé par 7 éléments
- La brillance du fond de ciel redevient fini

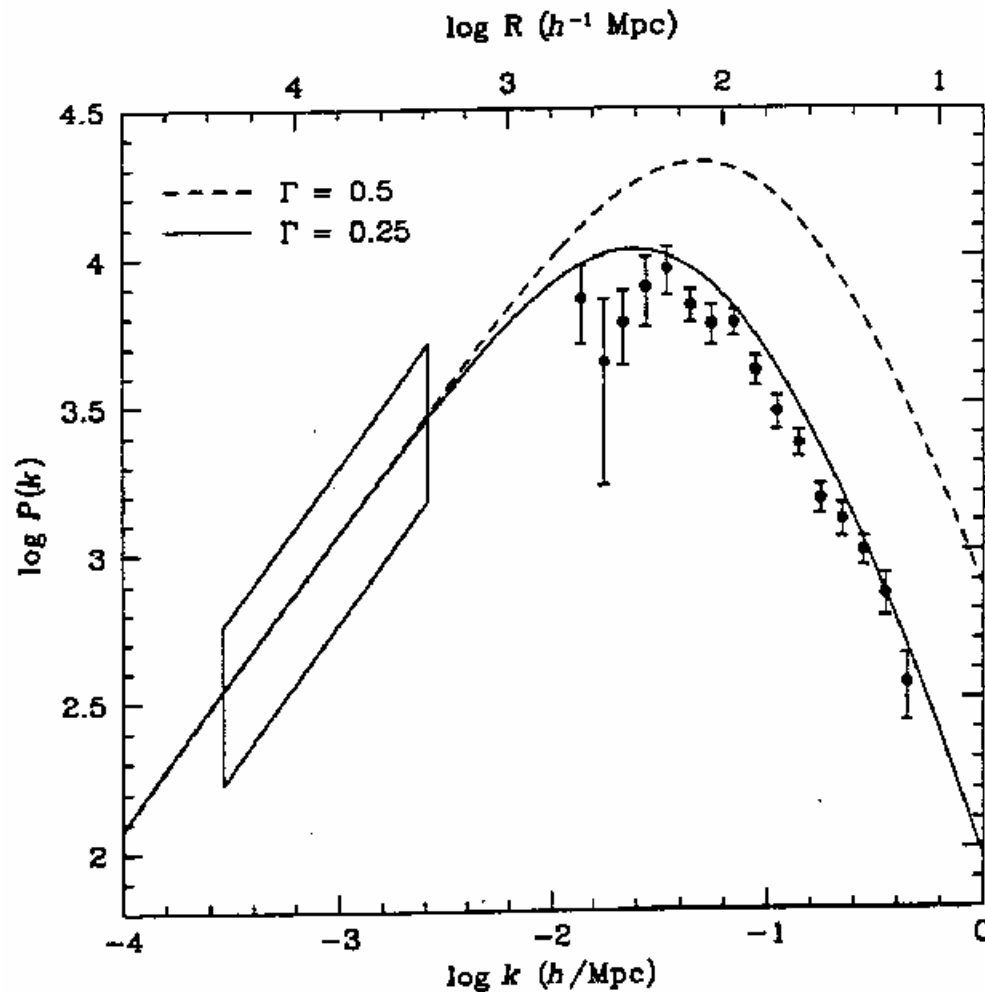


Le Modèle de Charlier

- Généralisation à une hiérarchie plus aléatoire
- L'existence d'une hiérarchie de structures entraîne la limitation du fond de ciel



Spectre de la distribution des galaxies

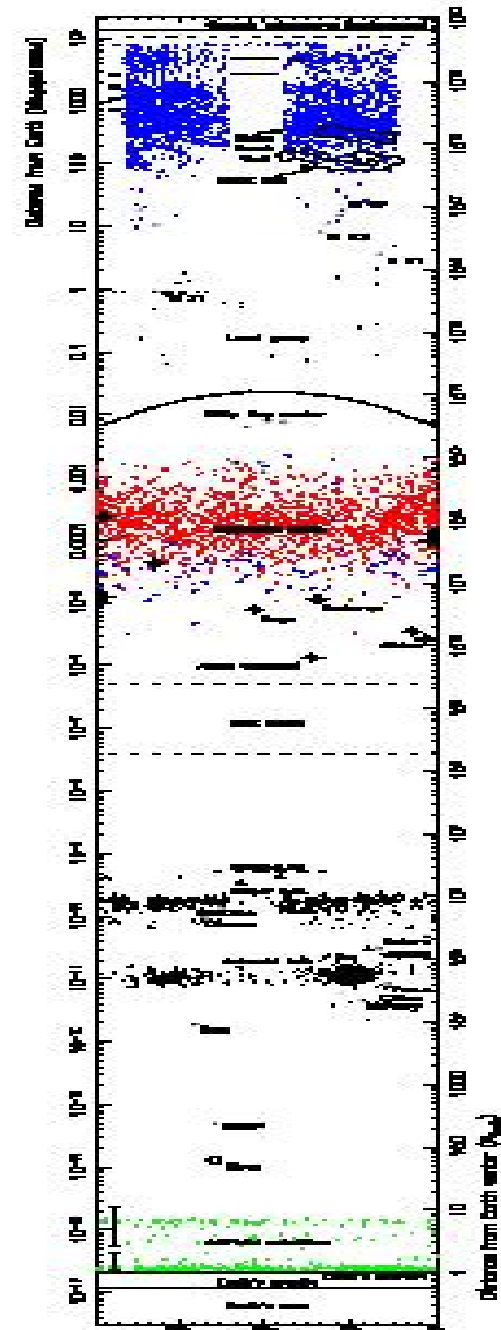


L'Univers est-il fractal ?

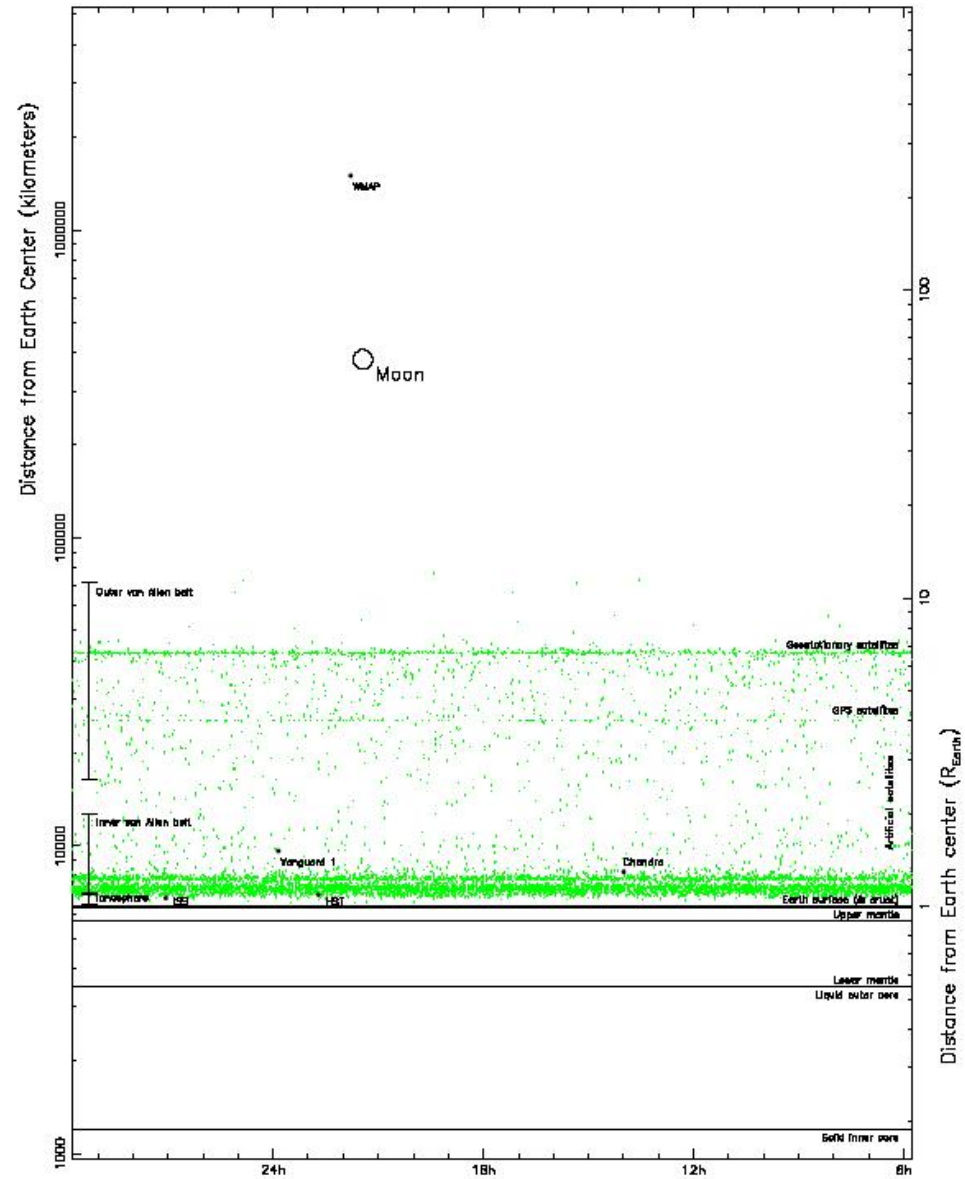
- Corrélation des galaxies
- Monofractal : non
- Multifractal : pourquoi pas ?
 - Toutes les structures naturelles ont cette propriété
- Alternative au Big-Bang : non
- La fractalité est liée à la turbulence cosmique

La structuration de l'Univers

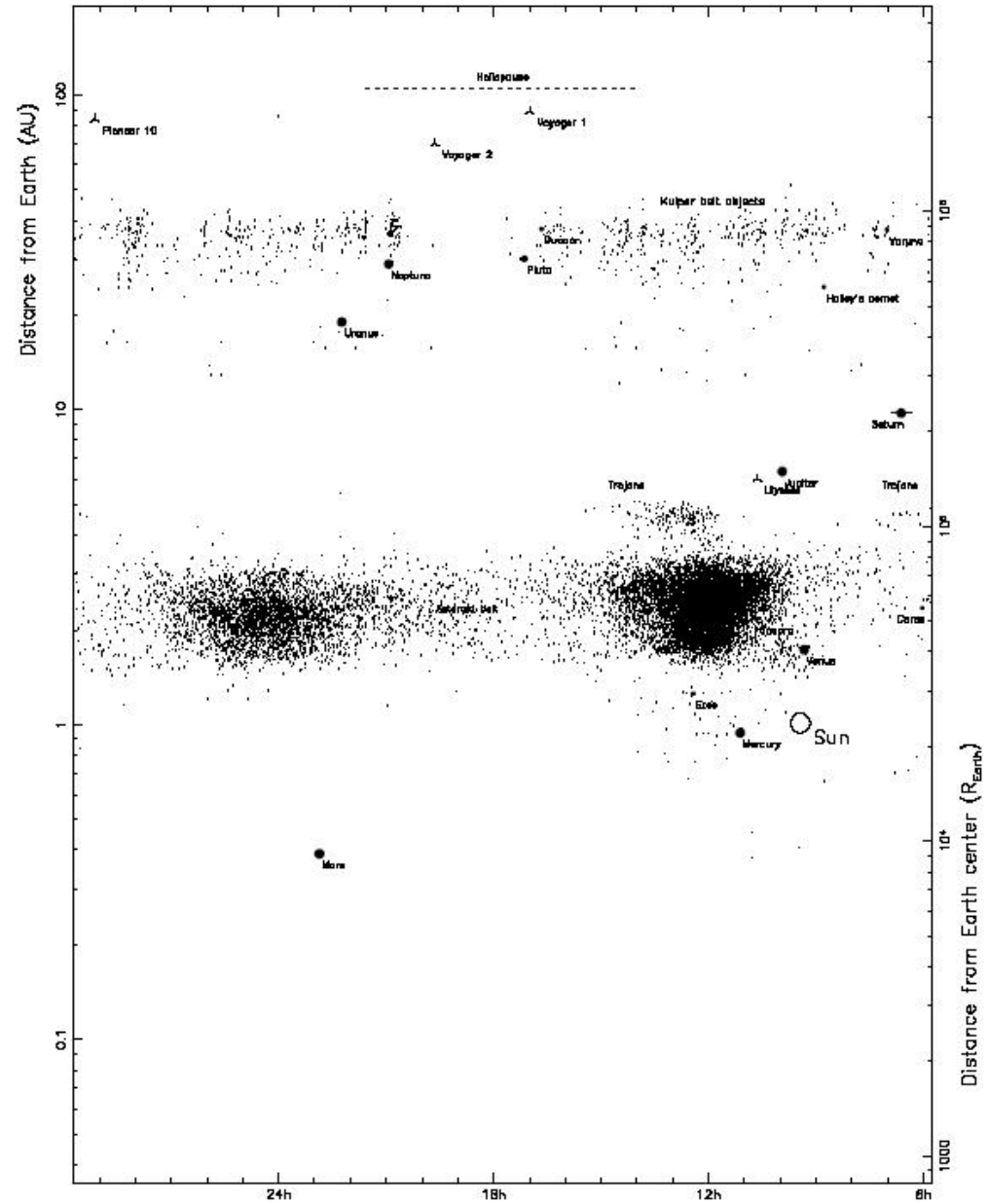
Richard Gott et al. *A map of the Universe* soumis 2003



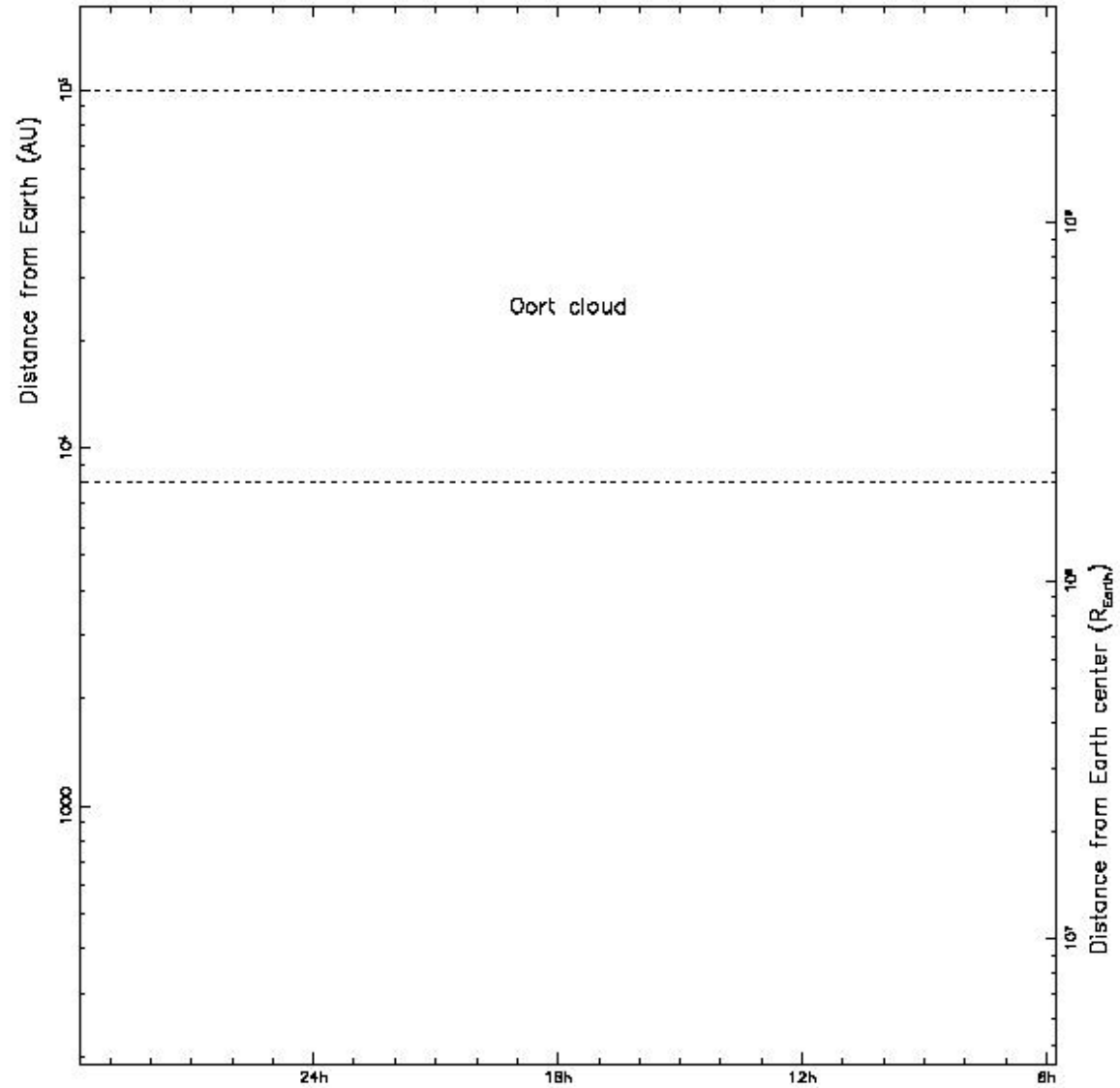
La Terre et son environnement



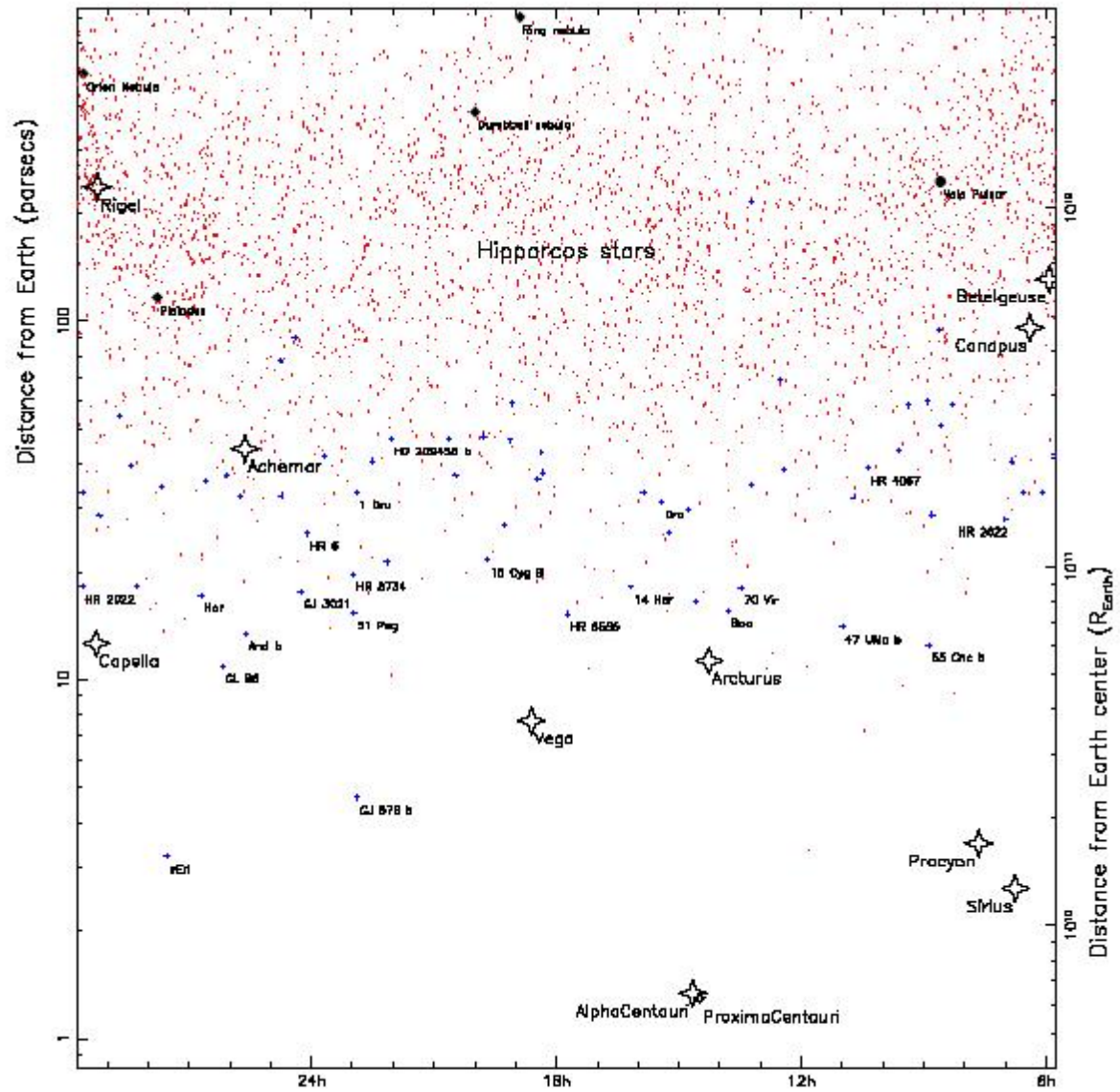
Le Système Solaire



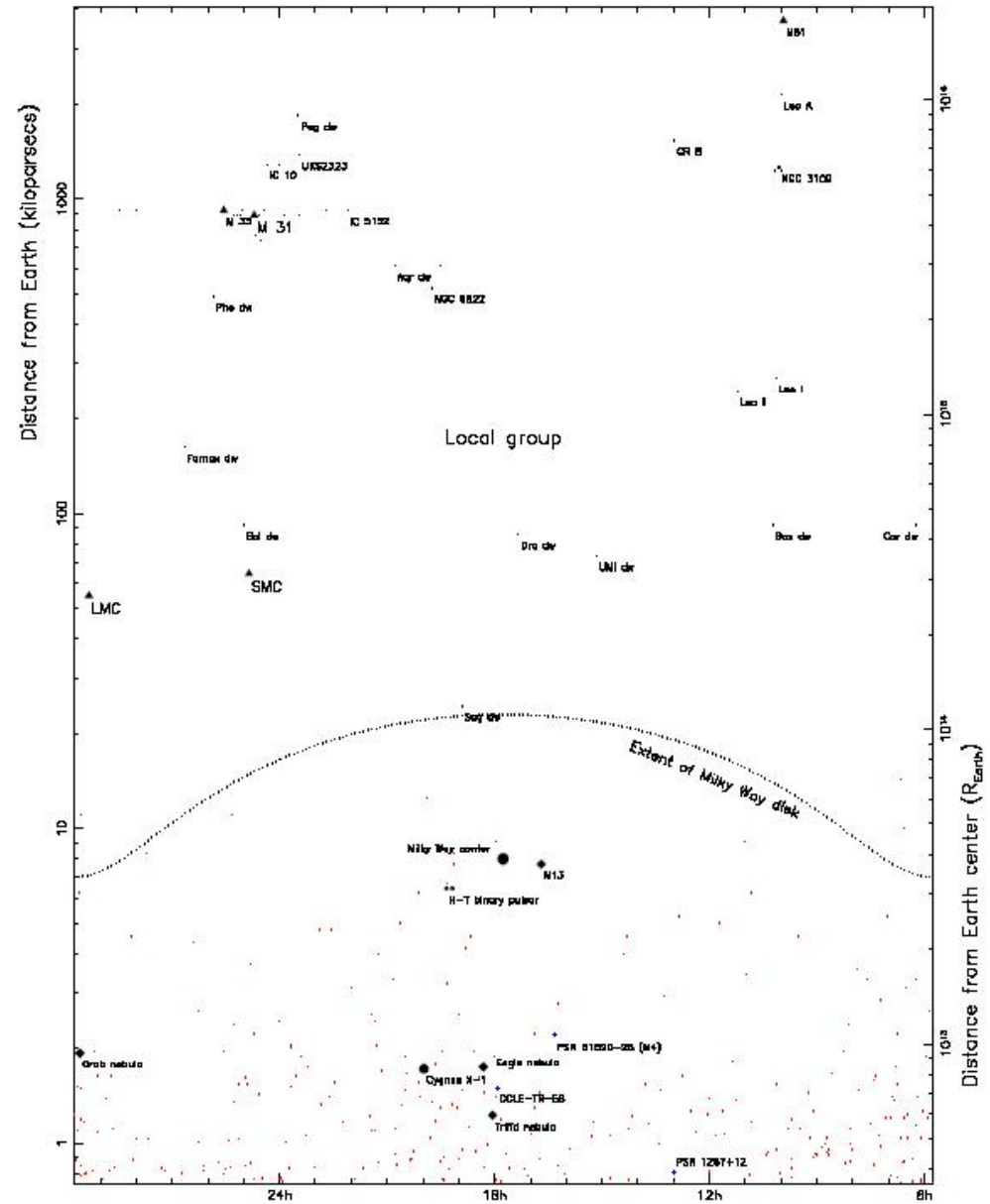
Le Nuage de Oort



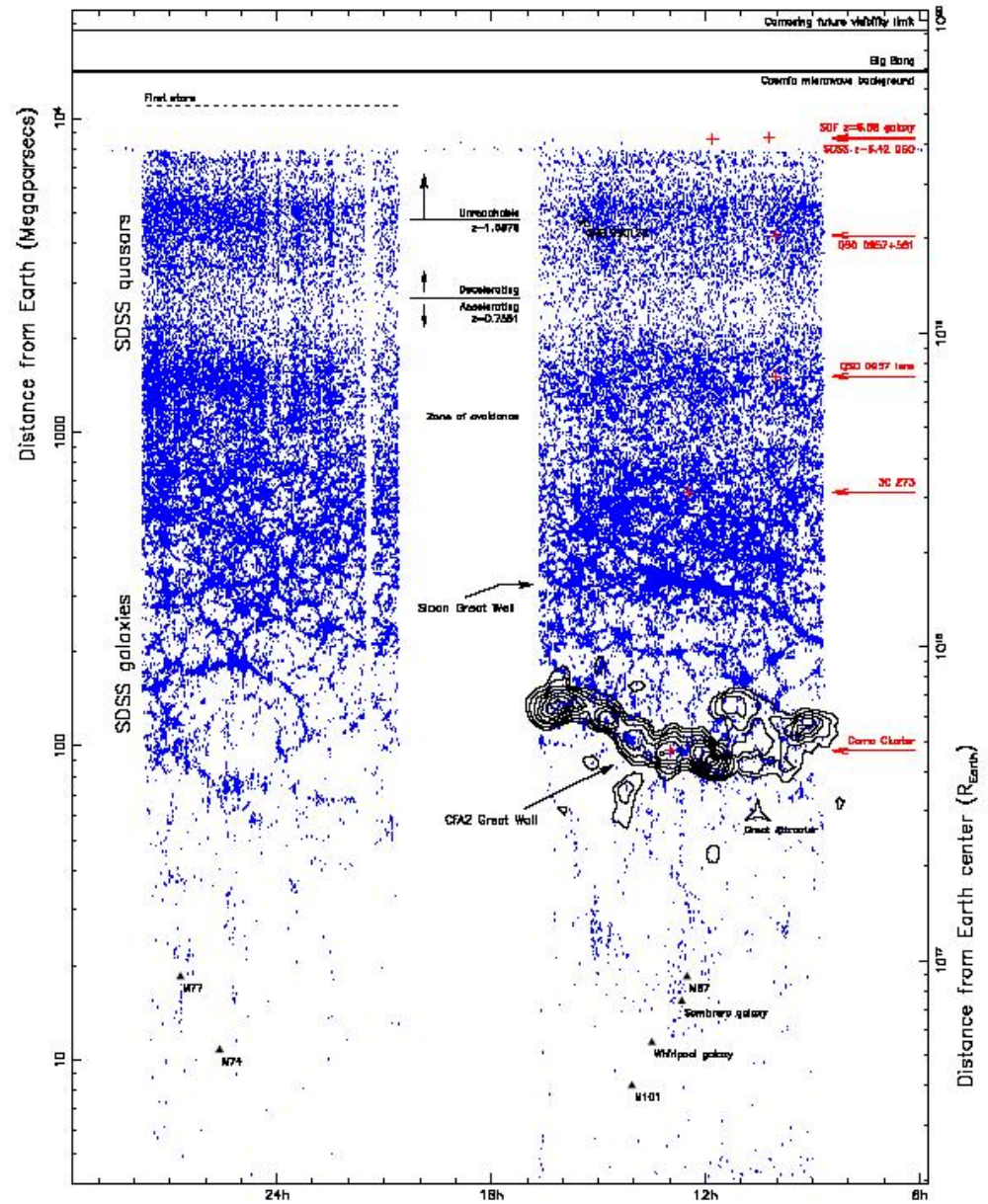
La voie lactée



L'amas local

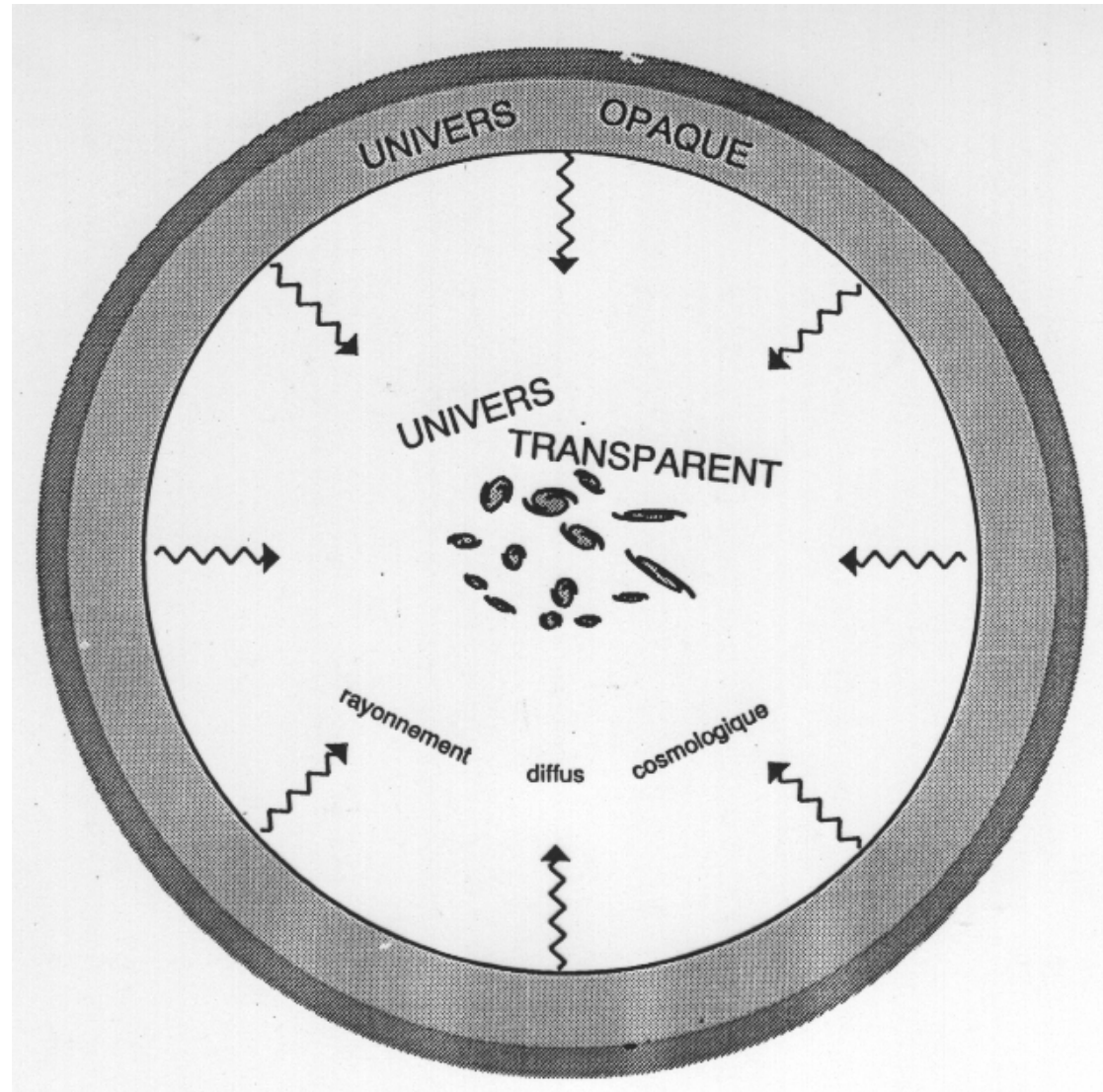


L'Univers lointain

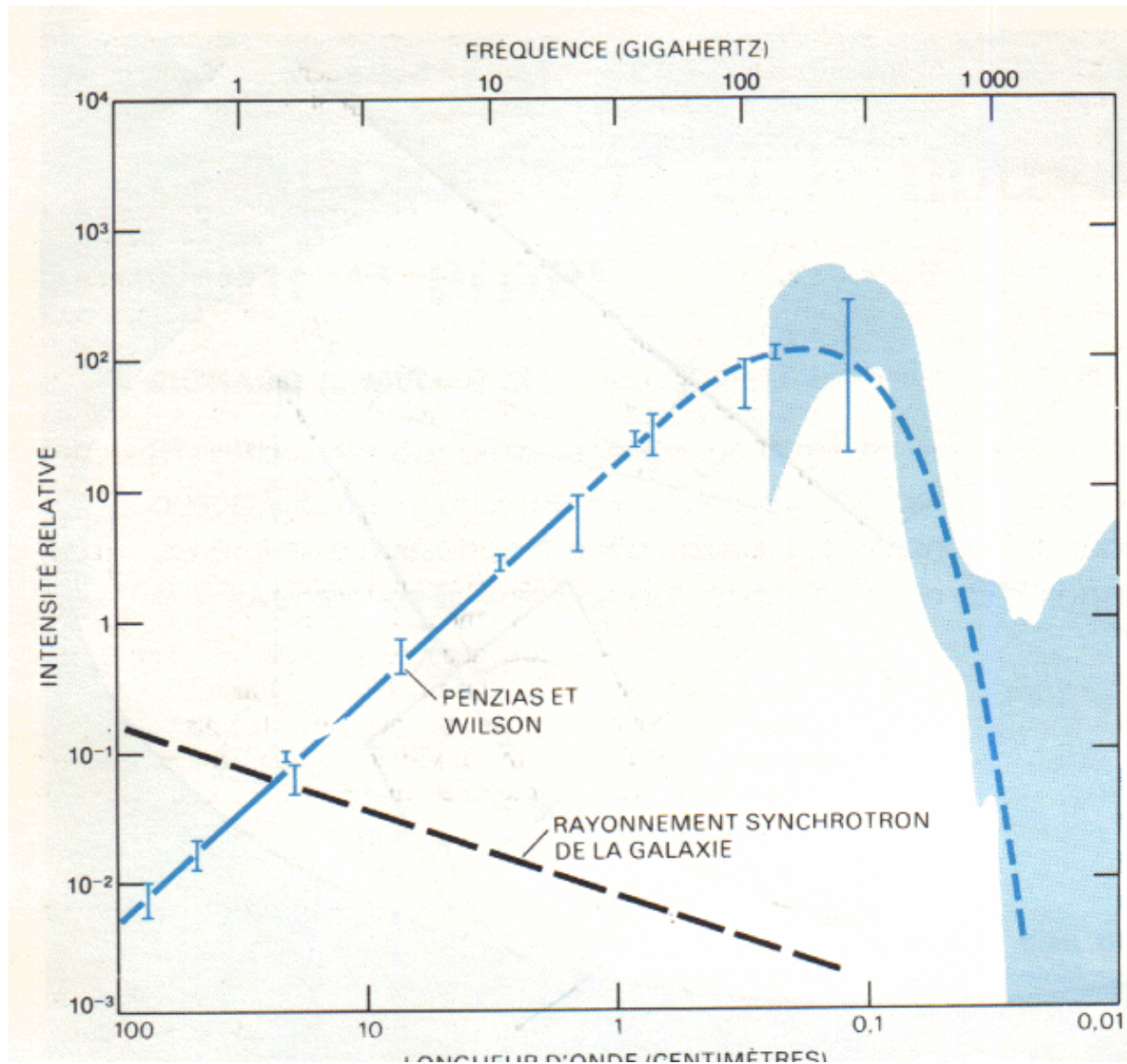


Les Rides de l'Univers

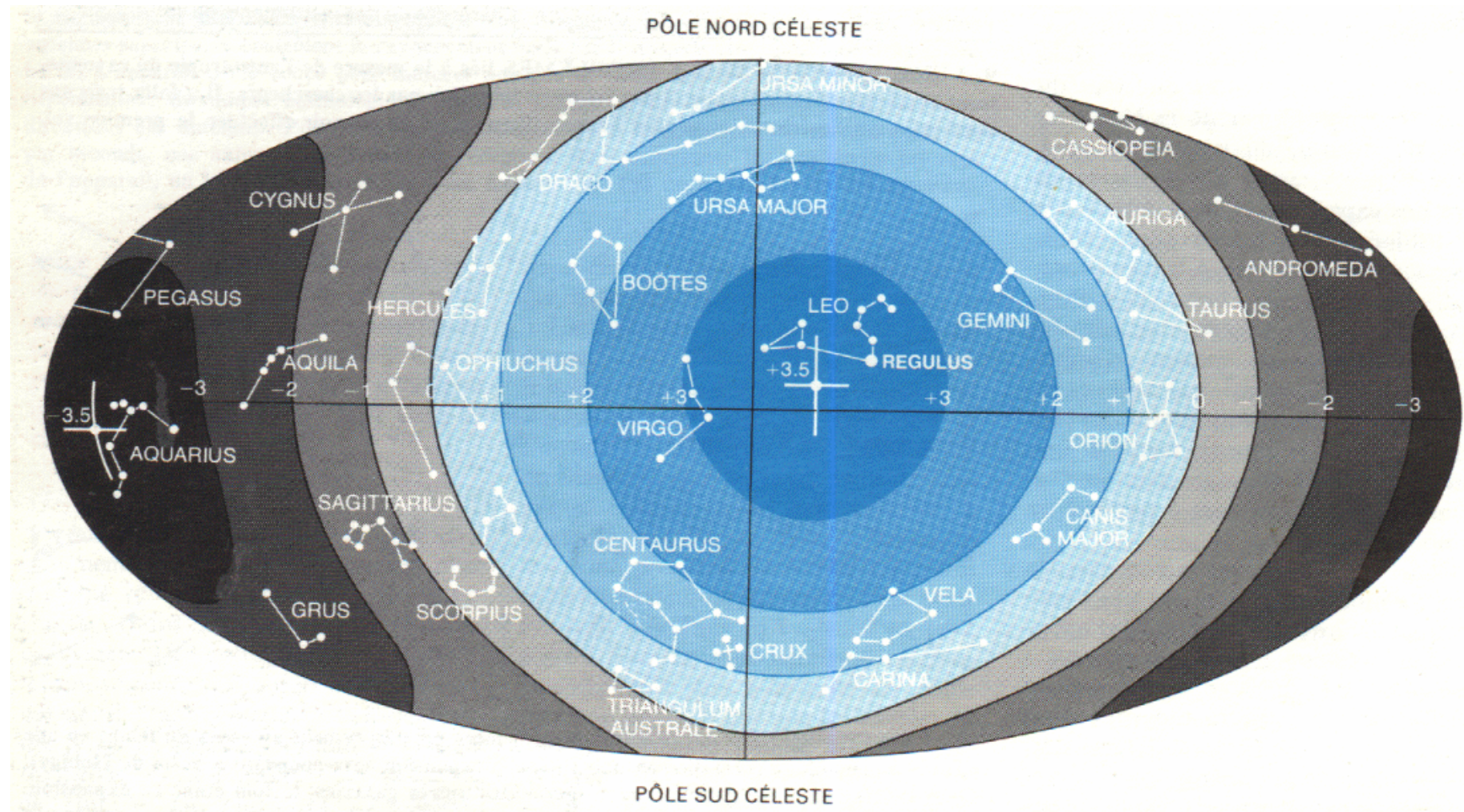
Origine du fond Cosmologique



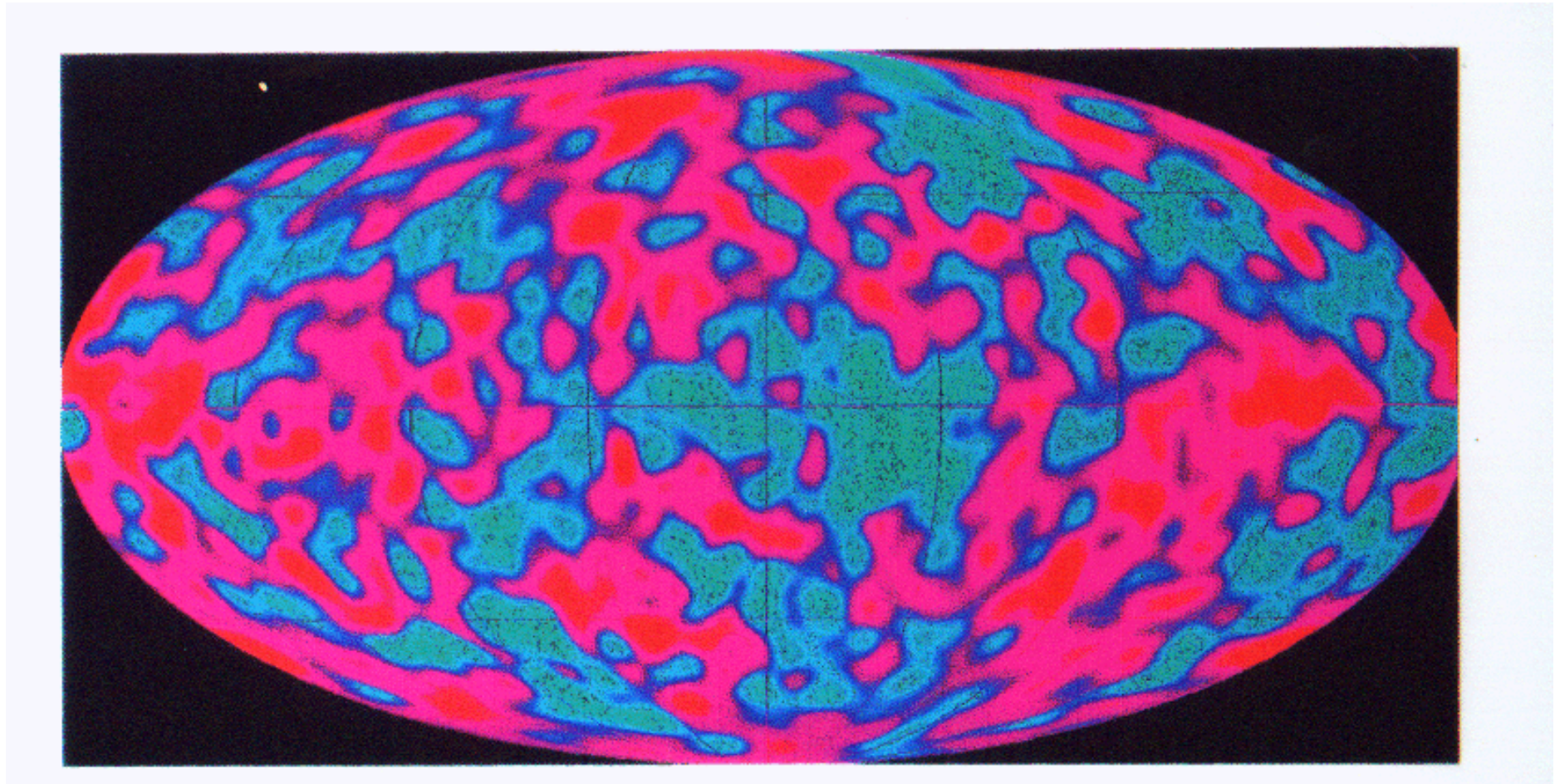
Spectre du fond Cosmologique



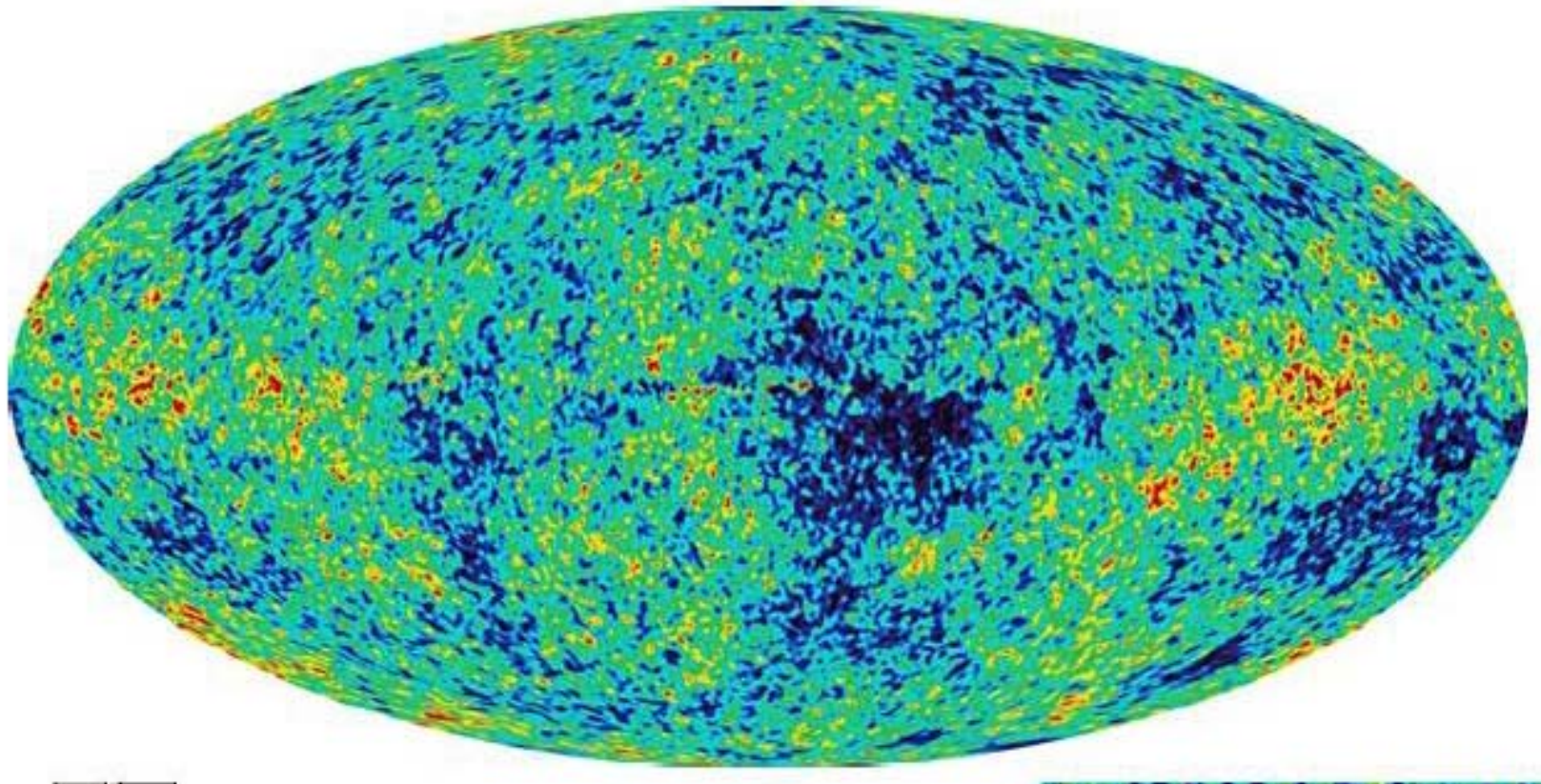
Le dipôle du fond cosmologique



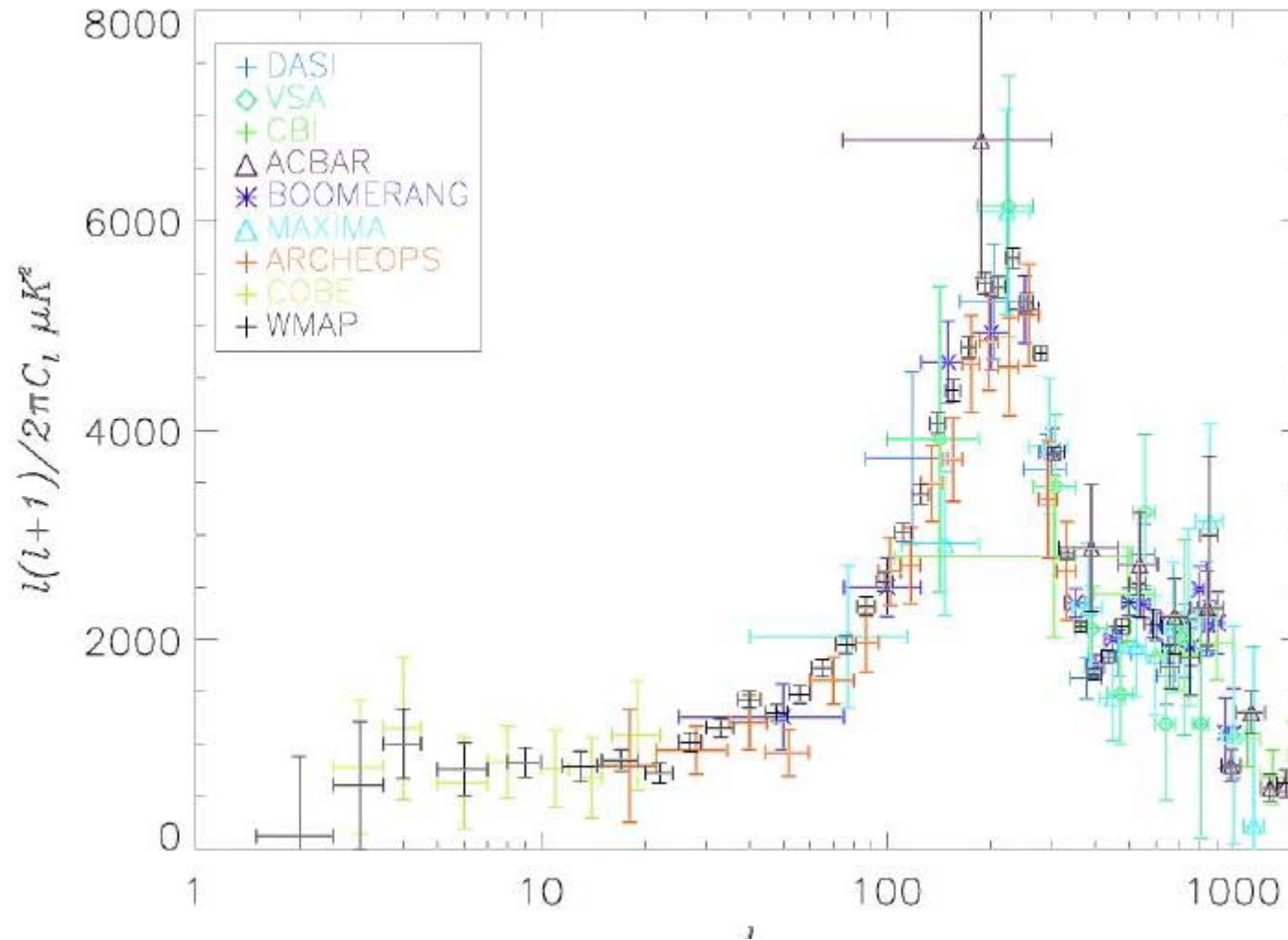
Fluctuations mesurées par COBE



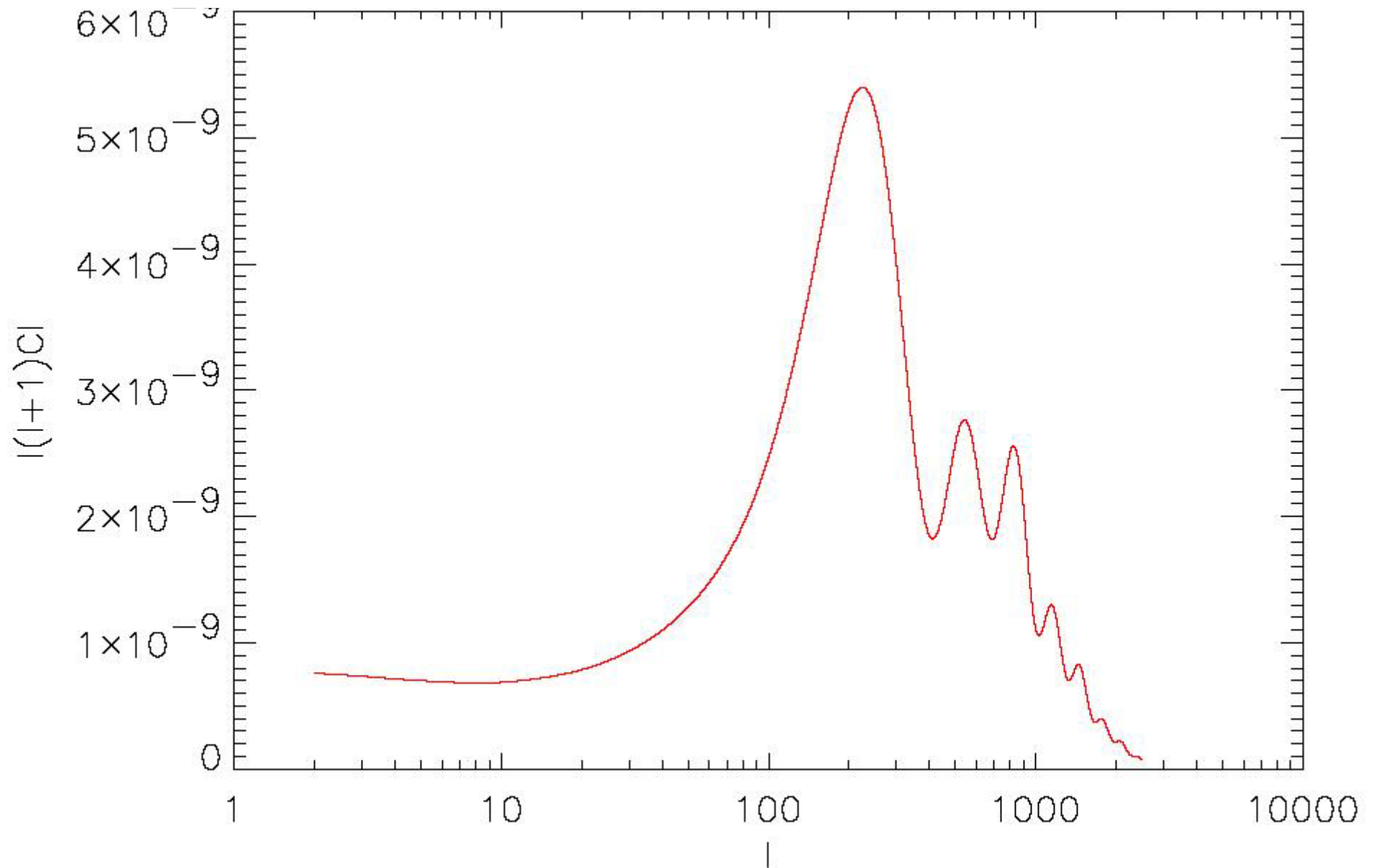
Carte obtenue à partir de WMAP



Spectre du fond cosmologique



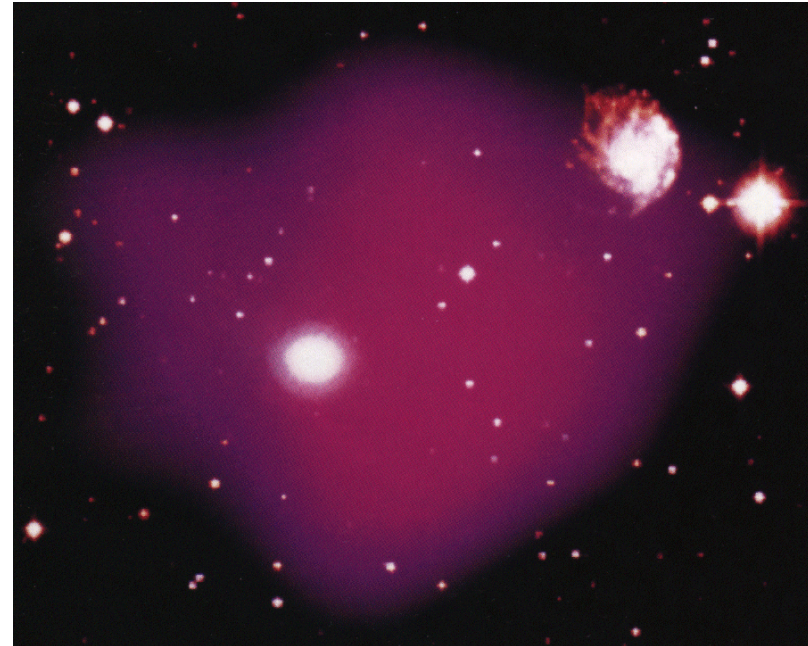
Prédiction avec le scénario actuel



La Composition de l'Univers

La Matière Baryonique

- Son taux est déterminé par la nucléosynthèse primordiale
- Il serait autour de 0.05
- La matière visible est de 0.01
- Le reste de la matière serait la forme
 - De gaz très froid (hydrogène)
 - D'objets massifs non lumineux

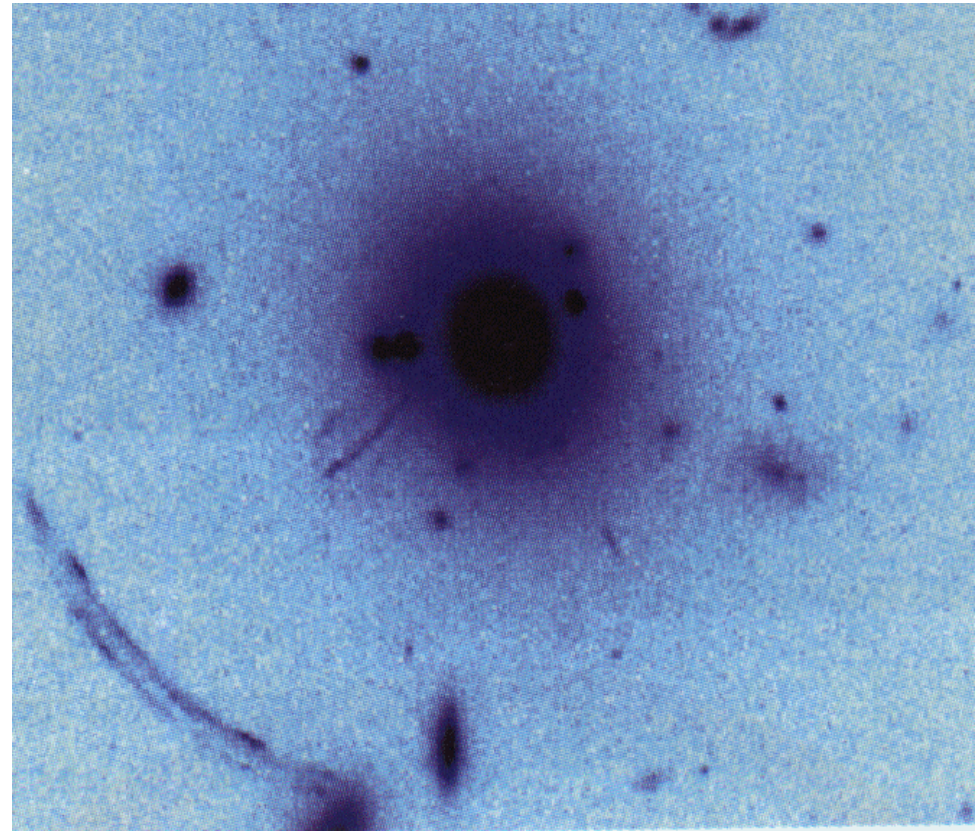


La Matière Noire

- Le paradoxe de Zwicky
 - La distribution des galaxies dans un amas de galaxies conduit à une masse bien plus grande que celle obtenue à partir de toutes les galaxies.
- La Rotation des bords des galaxies
 - Vera Rubin découvre en 1948 que la rotation des galaxies spirales ne peut s'expliquer que par la présence d'une importante masse cachée
- Les lentilles gravitationnelles

Image HST de l'amas de galaxies MS2137-23

La déformation des
images des
galaxies
permettent de
déterminer la
masse de l'amas
de galaxies



Le taux de matière noire

- La distribution actuelle des galaxies et la fluctuation du fond cosmologique conduit à une densité de l'ordre de 0.25 de matière massive, dite froide
- Cette matière aurait très peu d'interaction avec la matière baryonique
- On se perd en conjectures sur la nature de cette matière

L'Énergie noire

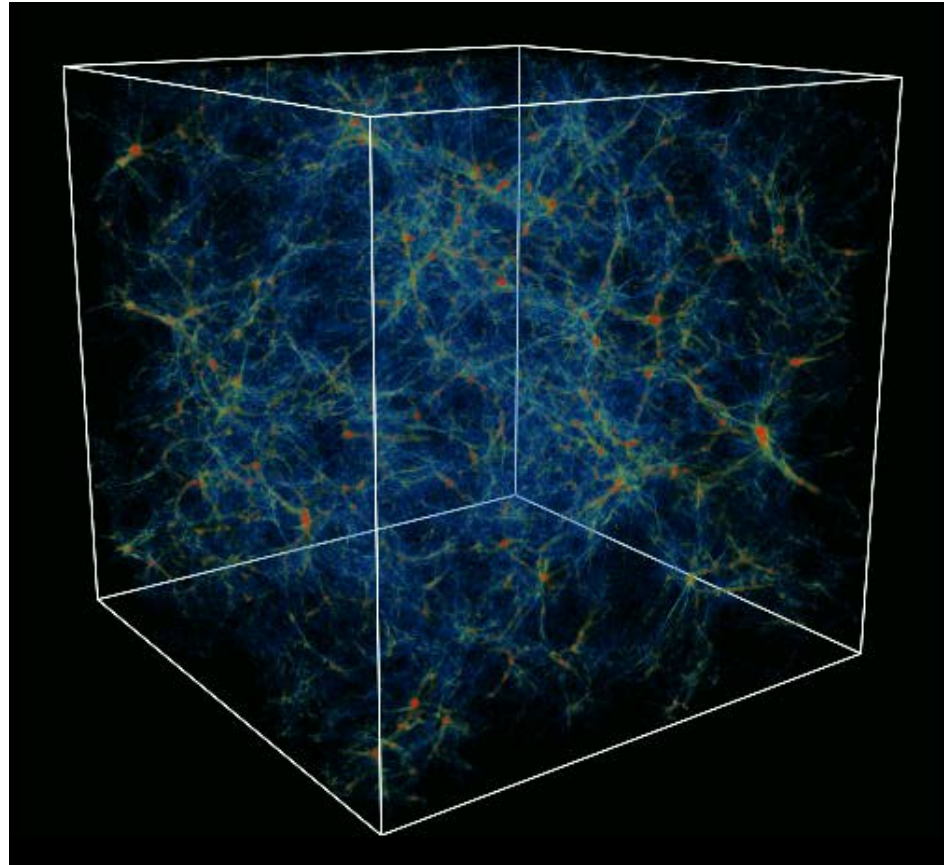
- Les physiciens des particules ont souvent interprété la constante Λ comme l'énergie du vide
- On se perd en conjectures sur la nature de l'énergie noire
- Cela complèterait à 1 la densité de l'Univers: l'Univers est plat

Les structures de l'Univers

La simulation d'Univers



Les structures simulées



Formation et d'évolution des structures de l'Univers:

- L'ordinateur permet de réaliser des films montrant comment se forment et évoluent toutes les structures de l'Univers
- Le scénario dépend de paramètres ajustables
- Il y a un aller-retour entre les résultats de simulation et les données observables

Conclusion

- Le modèle du Big-Bang reste la base de la Cosmologie actuelle
- Les anisotropies du fond cosmologique sont liées aux premières phases de l'Univers
- La simulation permet de montrer comment les structures se forment
- La texture résultante est d'une très grande richesse : amas, superamas, filaments, murs, grands vides