

# Un Signal particulier : l'Univers

Albert Bijaoui

Observatoire de la Côte d'Azur

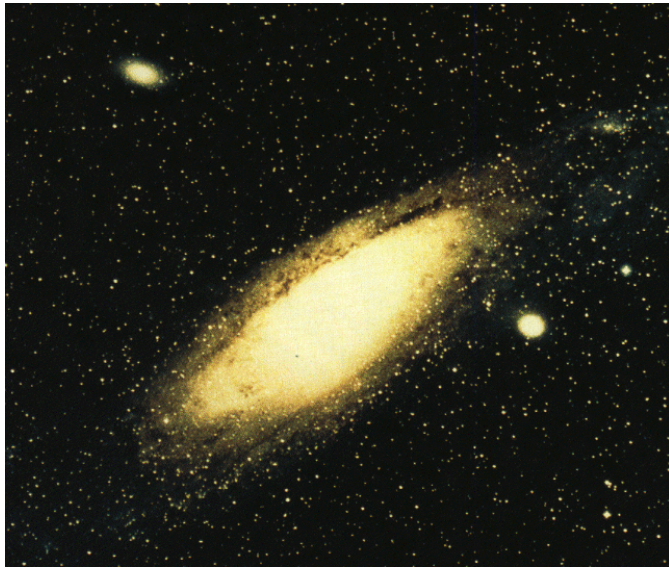
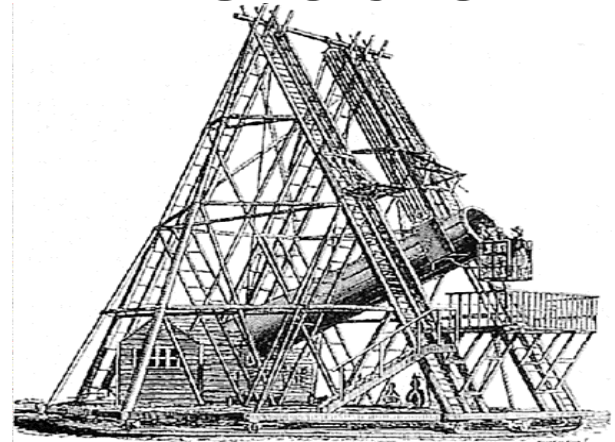
# Plan de l'exposé

- Les Comptages de Galaxies
- L'Univers & la Cosmologie
- L'Univers est-il fractal ?
- La cartographie actuelle de l'Univers
- Les rides de l'Univers
- La composition de l'Univers
- Formation des structures & texture de l'Univers

# Les Comptages de Galaxies

# L'inventaire du ciel à partir du XVIII<sup>ème</sup> siècle

- Herschel et son télescope
- Catalogue de Messier
- Nature des nébuleuses?



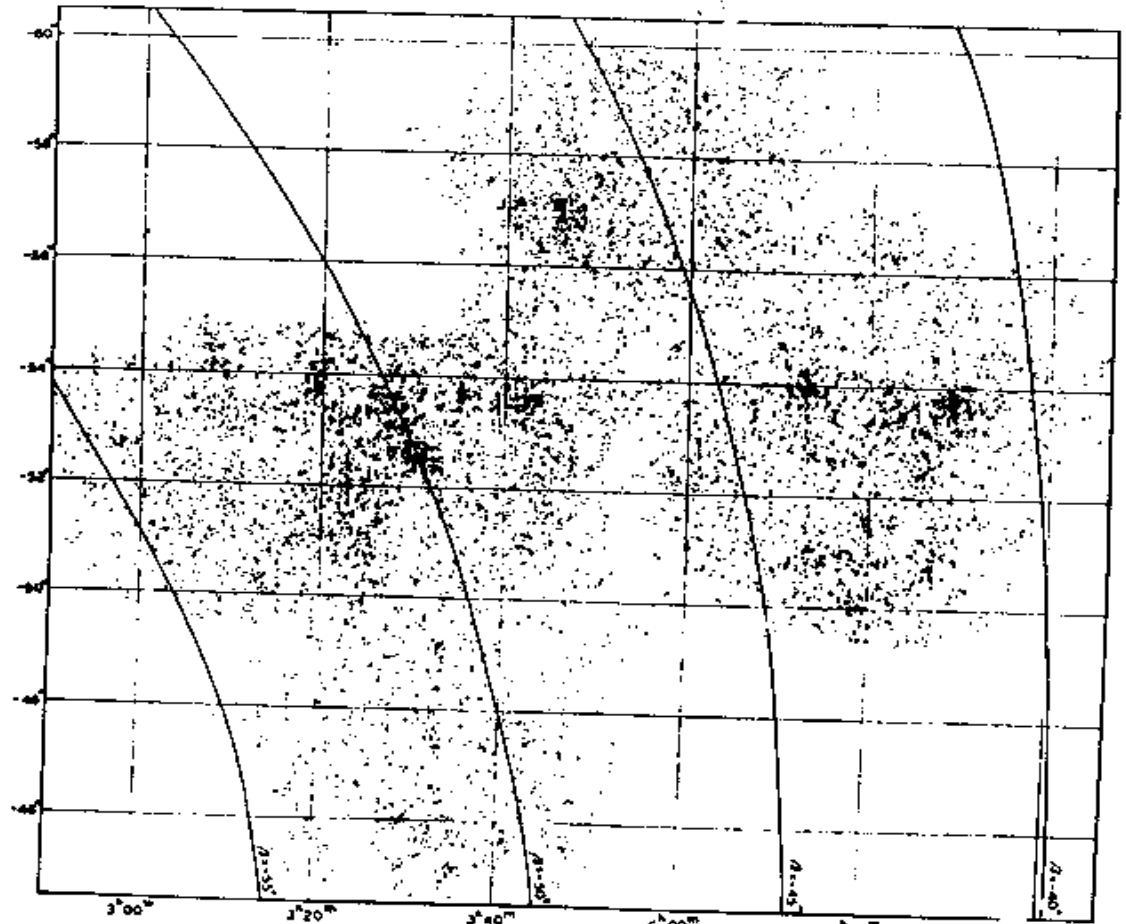
# L'Identification des Galaxies

- Céphéïdes de la galaxie d'Andromède (M31)
- Distance de celle-ci Hubble 1923
- Galaxies briques de l'Univers



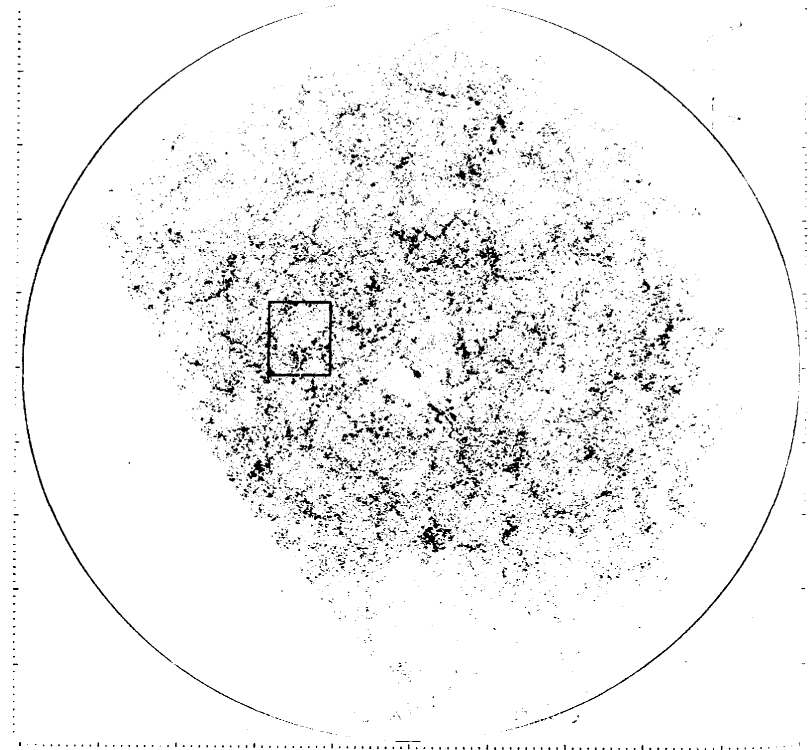
# Le Comptage de Shapley-Ames

- Existence de groupes de galaxies
- Existe-t-il des groupes de groupes?



# Le comptage de Shane-Wirtanen

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



# Processus de Neymann

- Neymann & Scott interprètent cette distribution en introduisant un processus statistique hiérarchique
  - Les centres d'amas sont distribués au hasard
  - Les galaxies sont distribuées dans les amas selon une loi de densité fixée
- Modèle très imparfait



# L'Univers comme Signal

- Champ aléatoire > Matière interstellaire
- Les galaxies marqueurs d'un champ de densité
- Propriétés statistiques de la densité des galaxies > Fonction de corrélation
- Polémique Berkeley / Chicago
  - Mesurabilité de la fonction de corrélation
- Peebles > corrélation des galaxies

# Homogénéité & Fluctuations

- Résultat de Peebles :

$$\xi(r) = \frac{1}{r^\gamma}$$

- La Cosmologie est basée sur le principe suivant :
  - L'Univers est homogène et isotrope
- L'observation d'une telle corrélation met-elle en cause ce principe ?

# L'Univers & la Cosmologie

# L'Univers des anciens

- L'astronomie mythique
  - La Terre et les Cieux sont faits pour l'Homme
- La Sphère des Fixes: Platon
  - La Terre est immobile
  - Les étoiles sont sur la sphère des fixes
  - Le Soleil, la Lune et les planètes se déplacent sur cette sphère
- L'Almageste (Ptolémée)
  - Théorie Géocentrique du mouvement du Soleil, de la Lune et des planètes

# La révolution Copernicienne(1543)



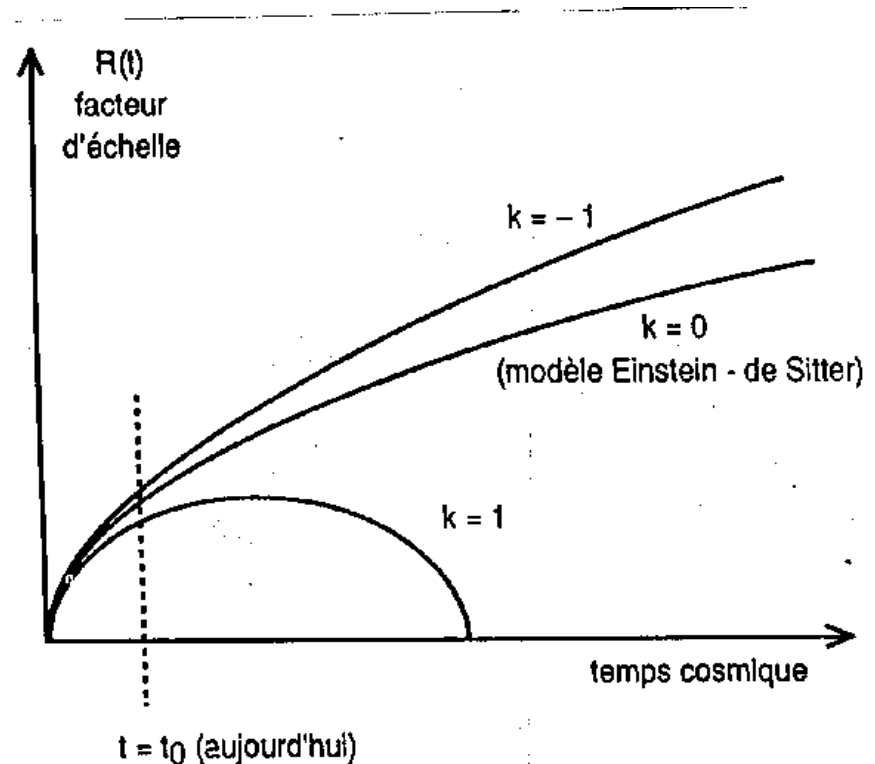
- L'héliocentrisme conduit à modifier la place de l'homme dans l'Univers
- Bruno professe la pluralité des mondes
- Suite à l'énoncé par Kepler des lois du mouvement des planètes, Newton introduit la *Gravitation Universelle*

# 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
- Il n'y pas de point privilégié
- Homogénéité et Isotropie
- Le Paradoxe d'Olbers (1823)
  - Homogénéité & isotropie > l'intensité lumineuse dans toute direction est celle de la surface solaire

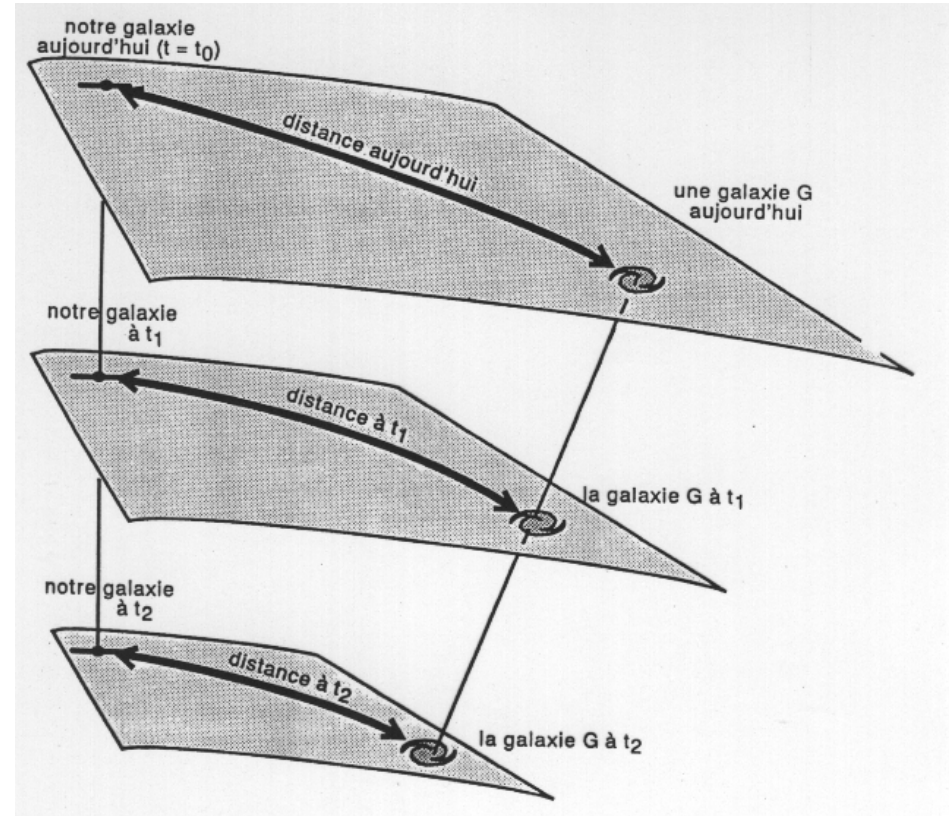
# Modéliser l'Univers

- La Relativité Générale
  - Les Masses courbent l'espace
- La Courbure de l'Univers
- Le Modèle d'Einstein (1917)
  - L'Univers est homogène et isotrope
  - La Constante Cosmologique
- Le Modèle de Friedmann (1922)



# Expansion et Vitesse

- L'abbé Lemaître déduit que 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





# La loi de Hubble (1929)

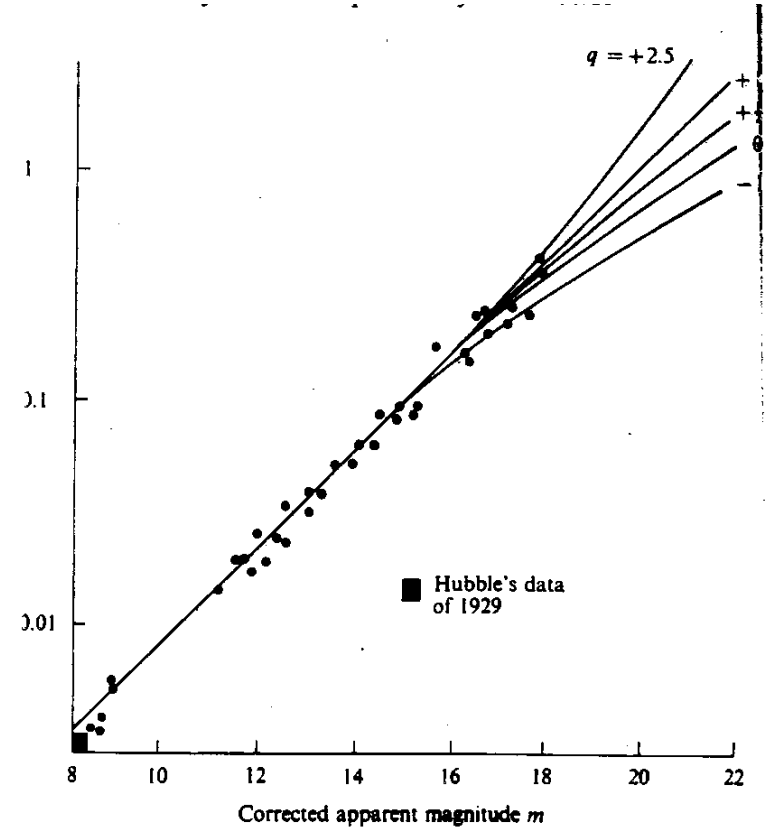
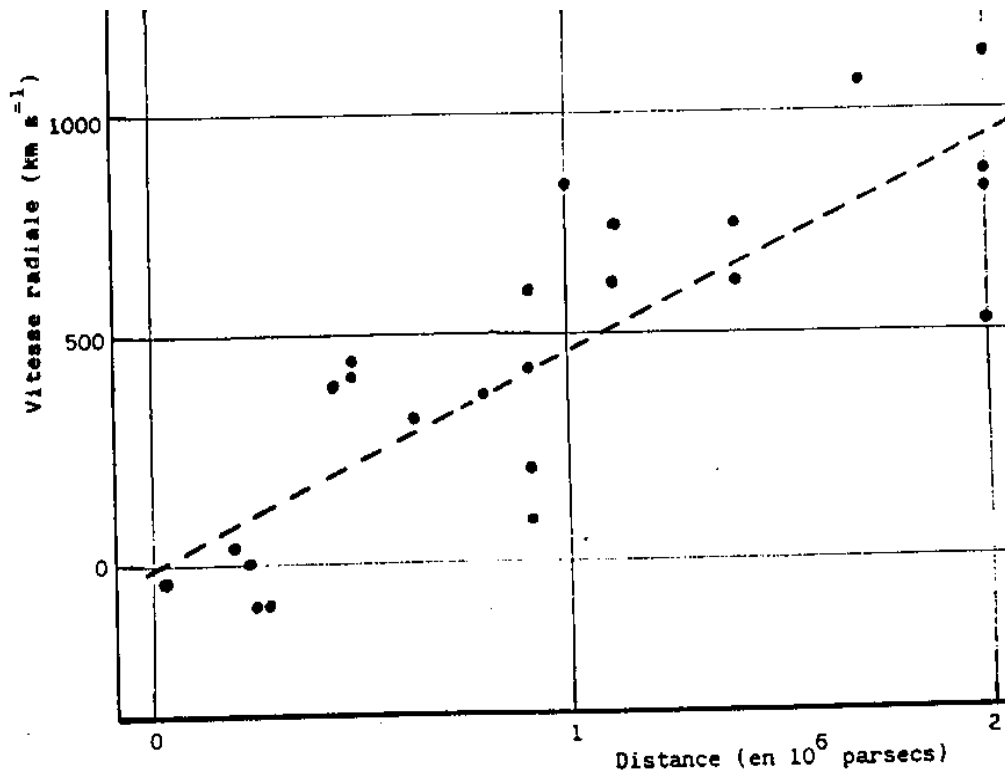
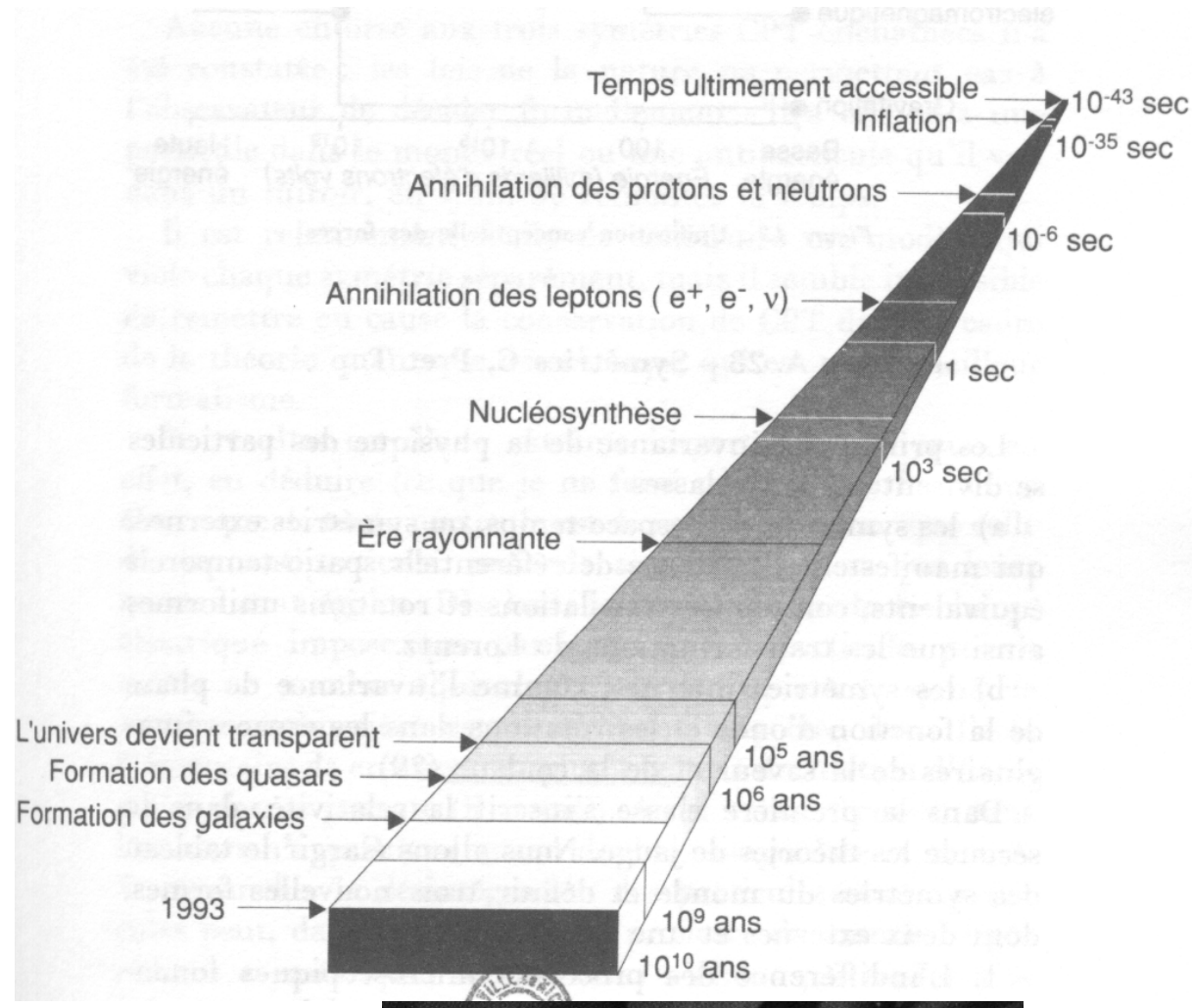


Figure 6. Hubble diagram showing cosmic expansion. (After Sandage.)

# Le Modèle du Big-Bang

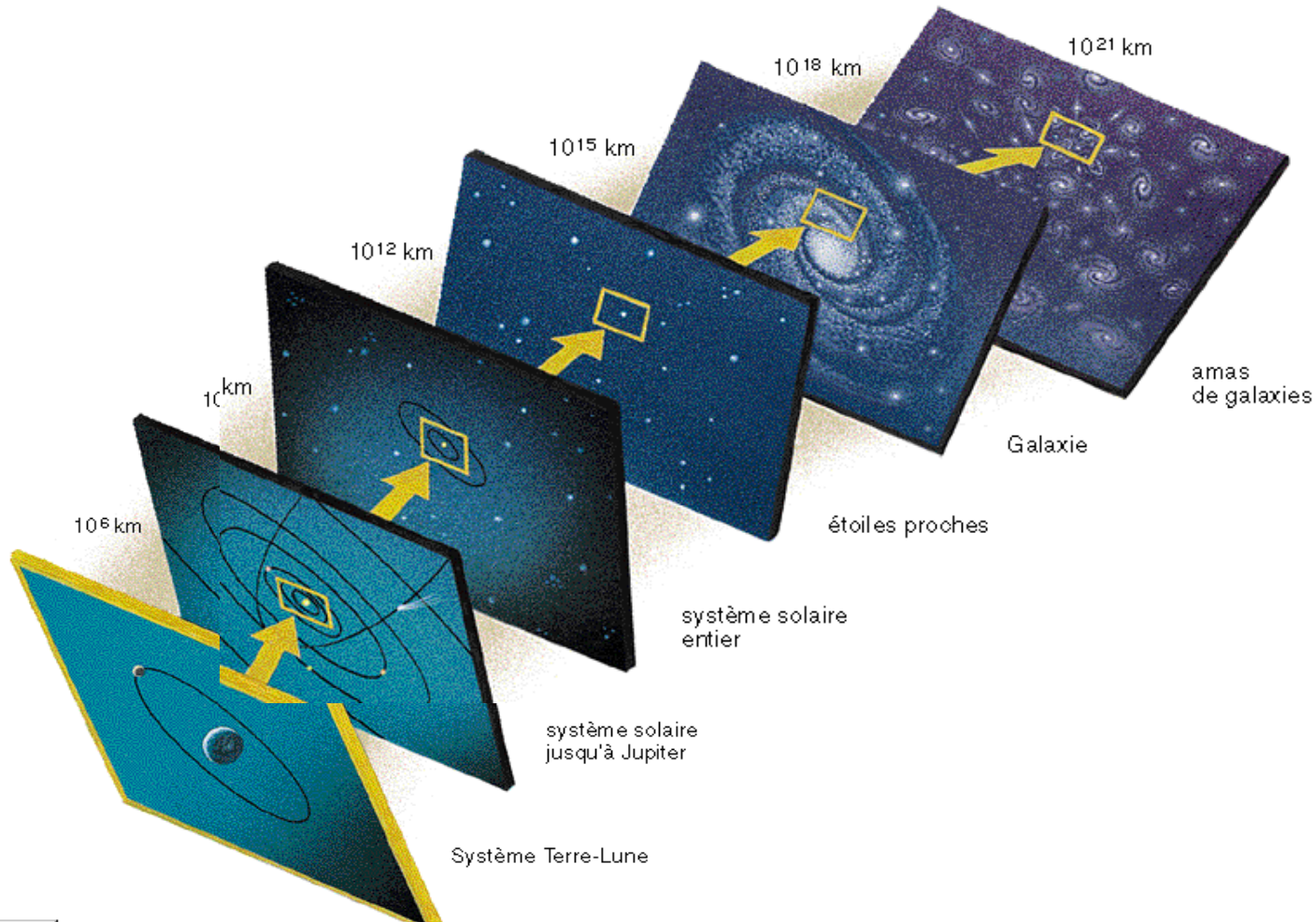
- Alpher - Bethe - Gamov (1948)
- La remontée dans le Temps
- Le fond cosmologique (Penzias, Wilson 1965)
- L'Horizon cosmologique
- L'Origine des éléments



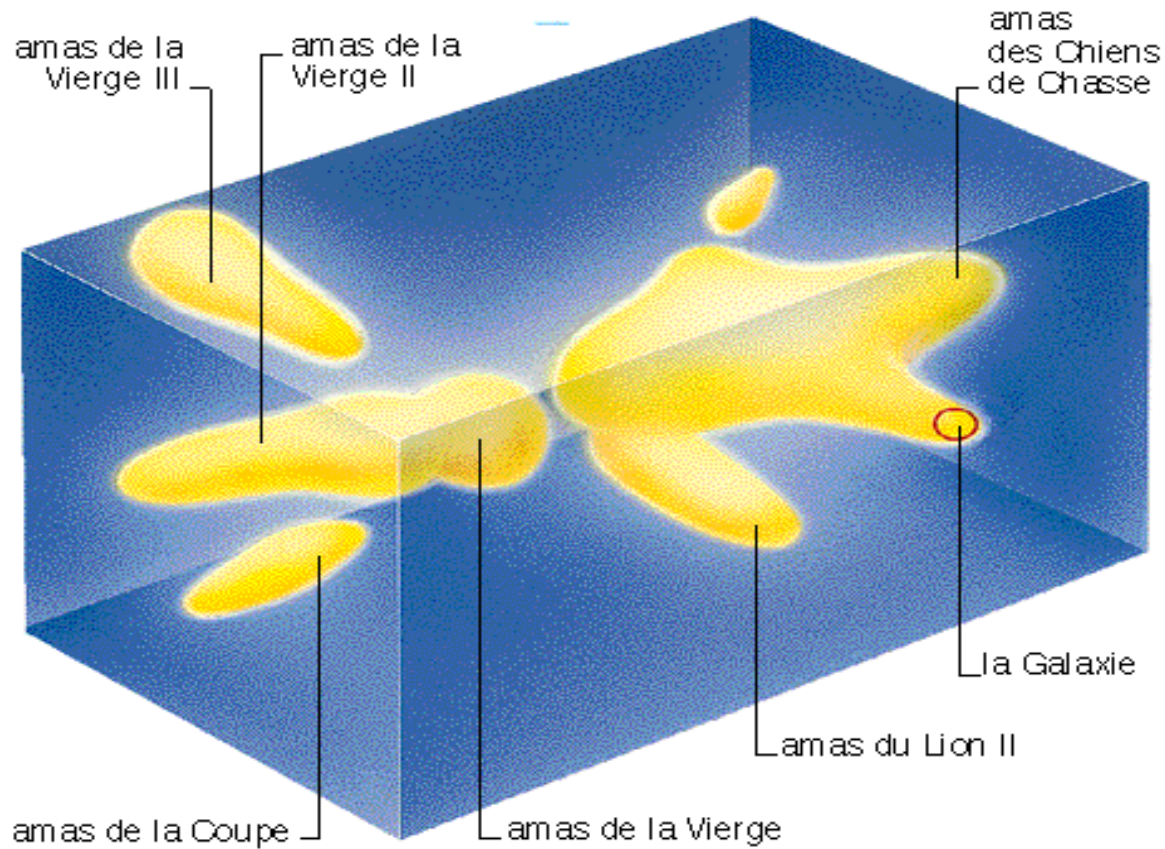
# L'Univers est-il Fractal ?



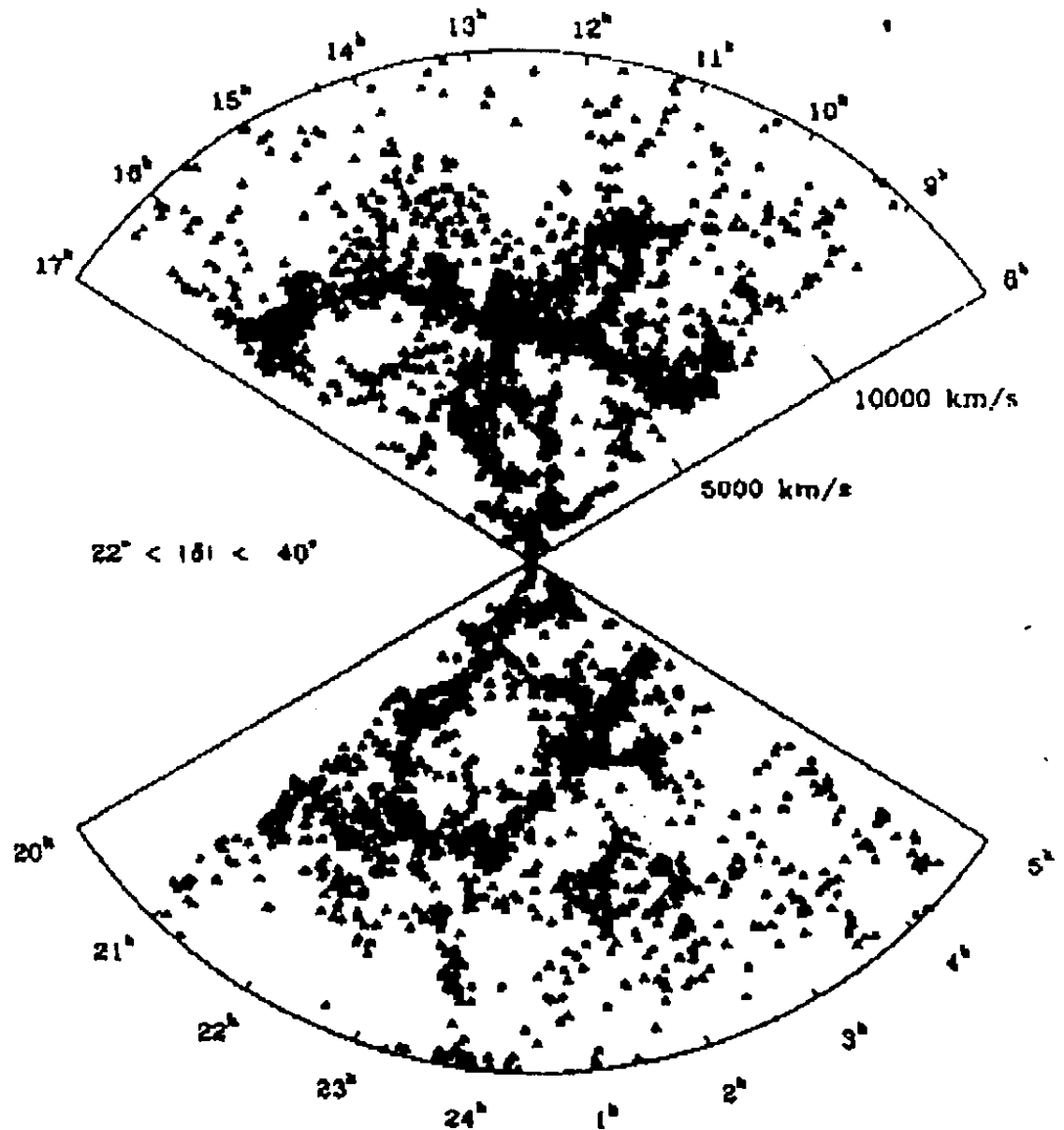
# Hiérarchie des structures



# Le superamas de VIRGO

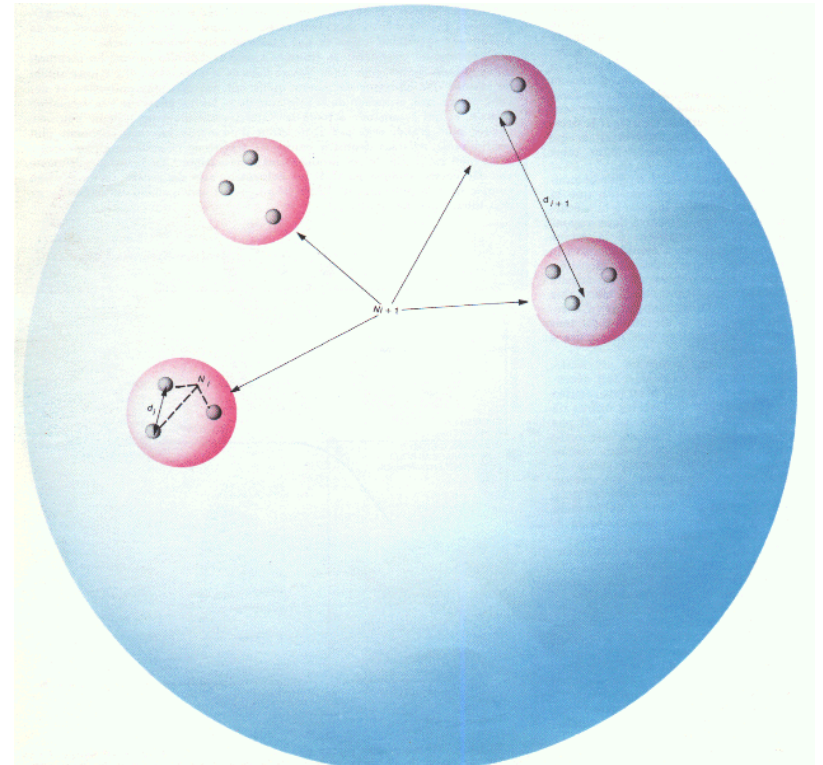


# Le Grand Mur dans Coma



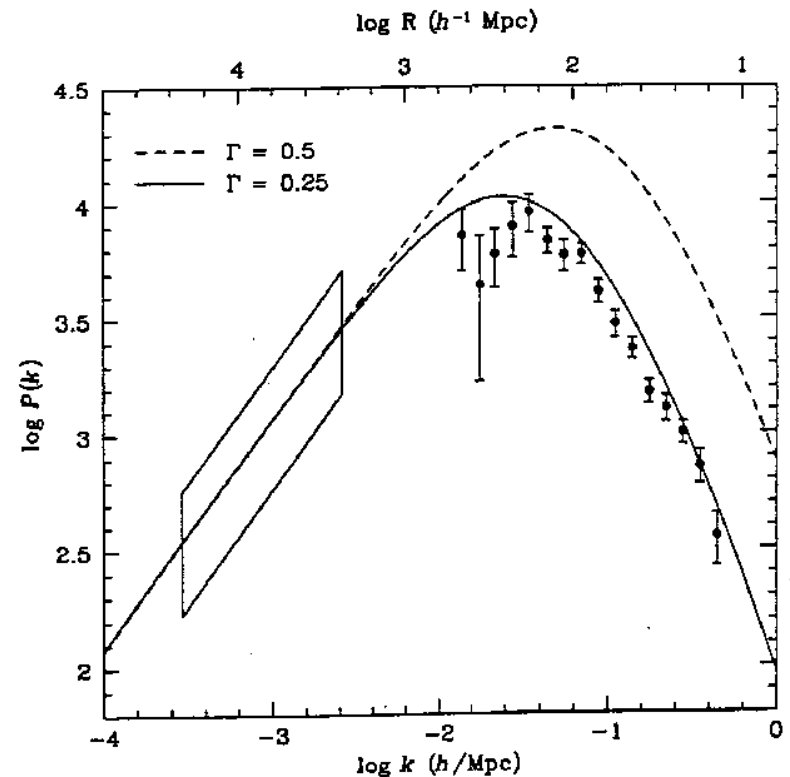
# Le Modèle de Charlier

- Le modèle hiérarchique de Fournier d'Albe
- 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

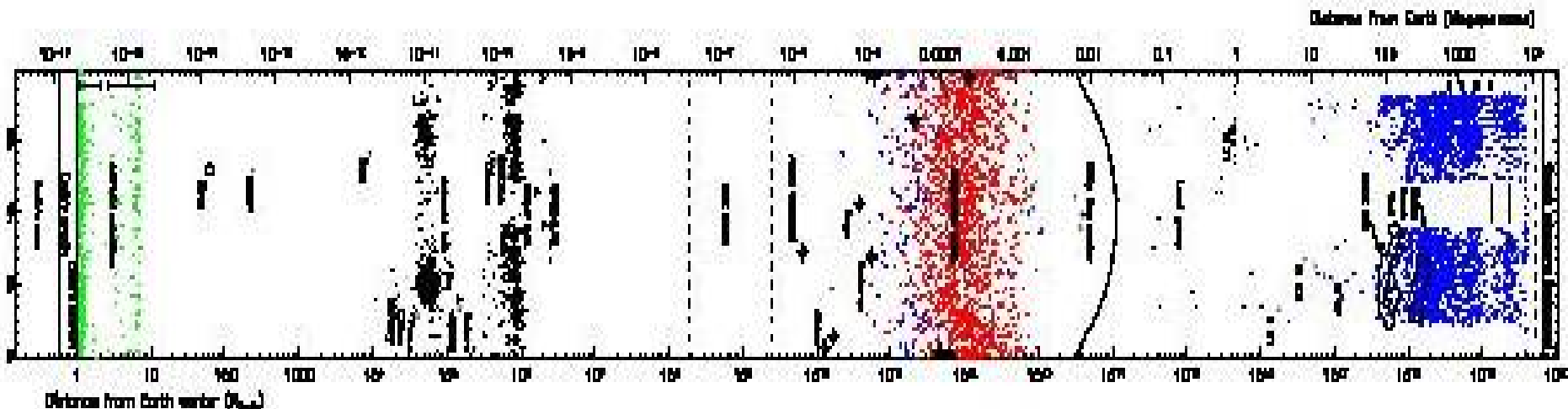
- Corrélation des galaxies > loi de puissance
- Alternative au Big-Bang : non
- Turbulence cosmique



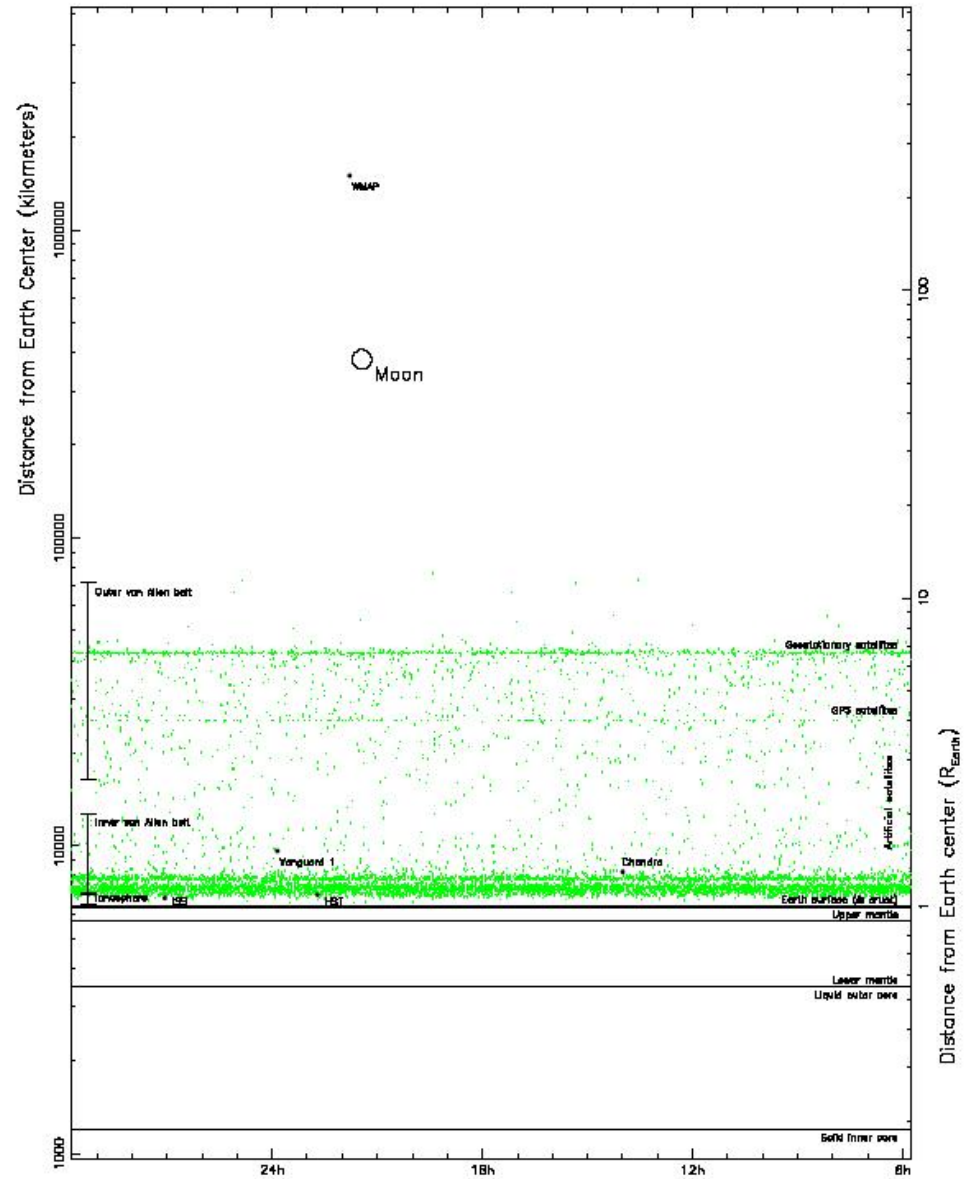


# Vision actuelle de la structuration de l'Univers

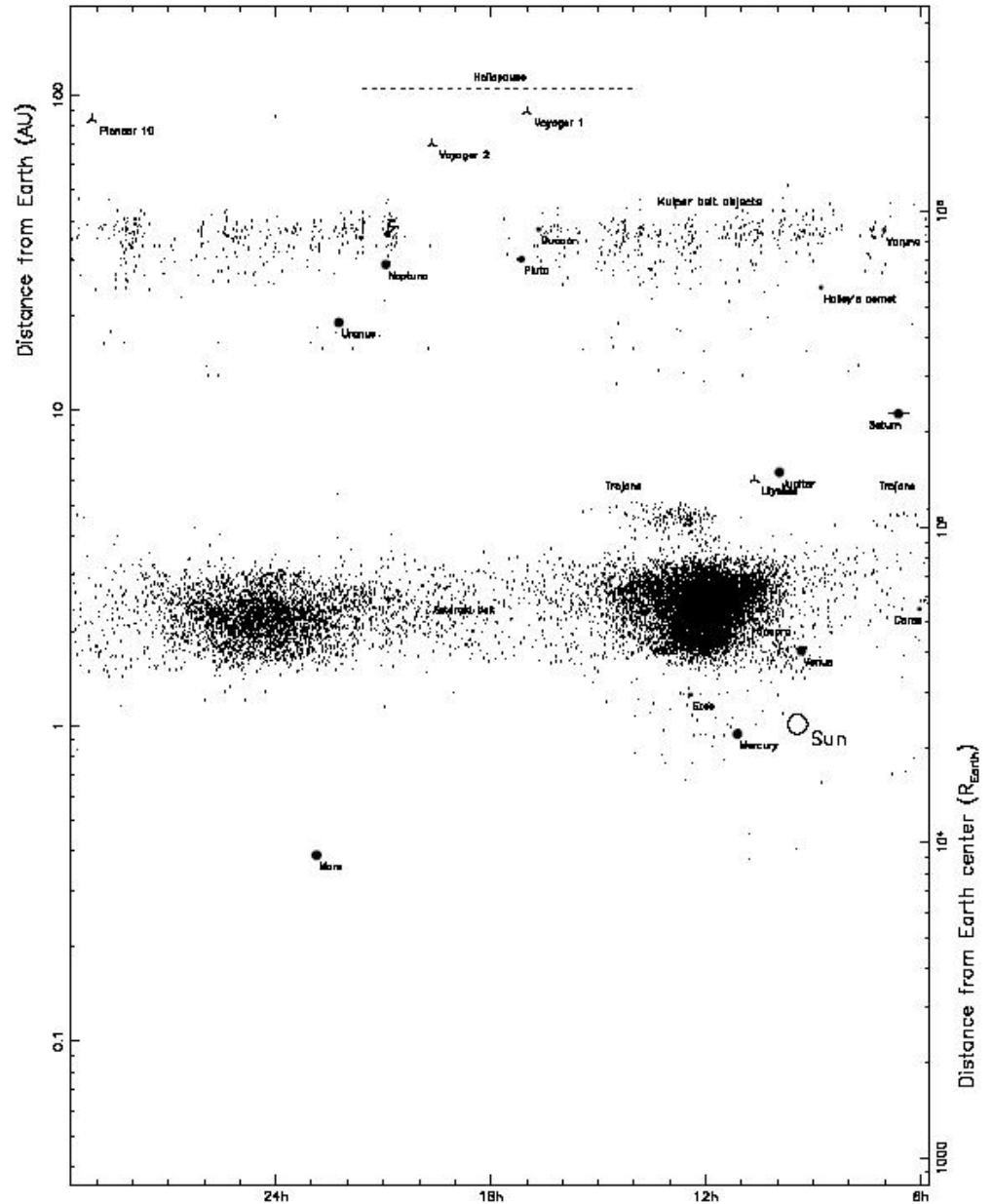
Richard Gott et al. *A map of the Universe* (2003)



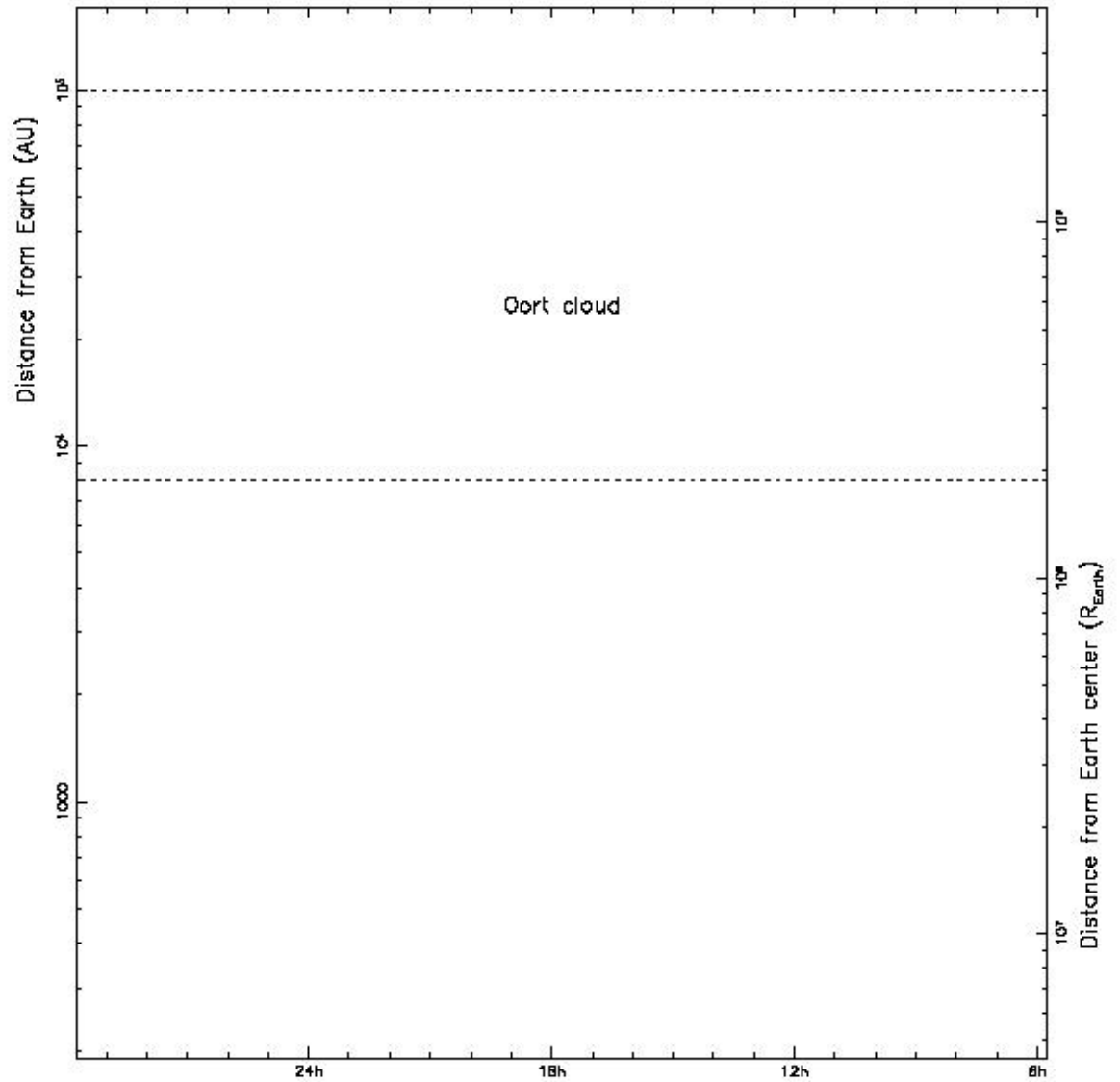
# La Terre et son environnement



# Le Système Solaire

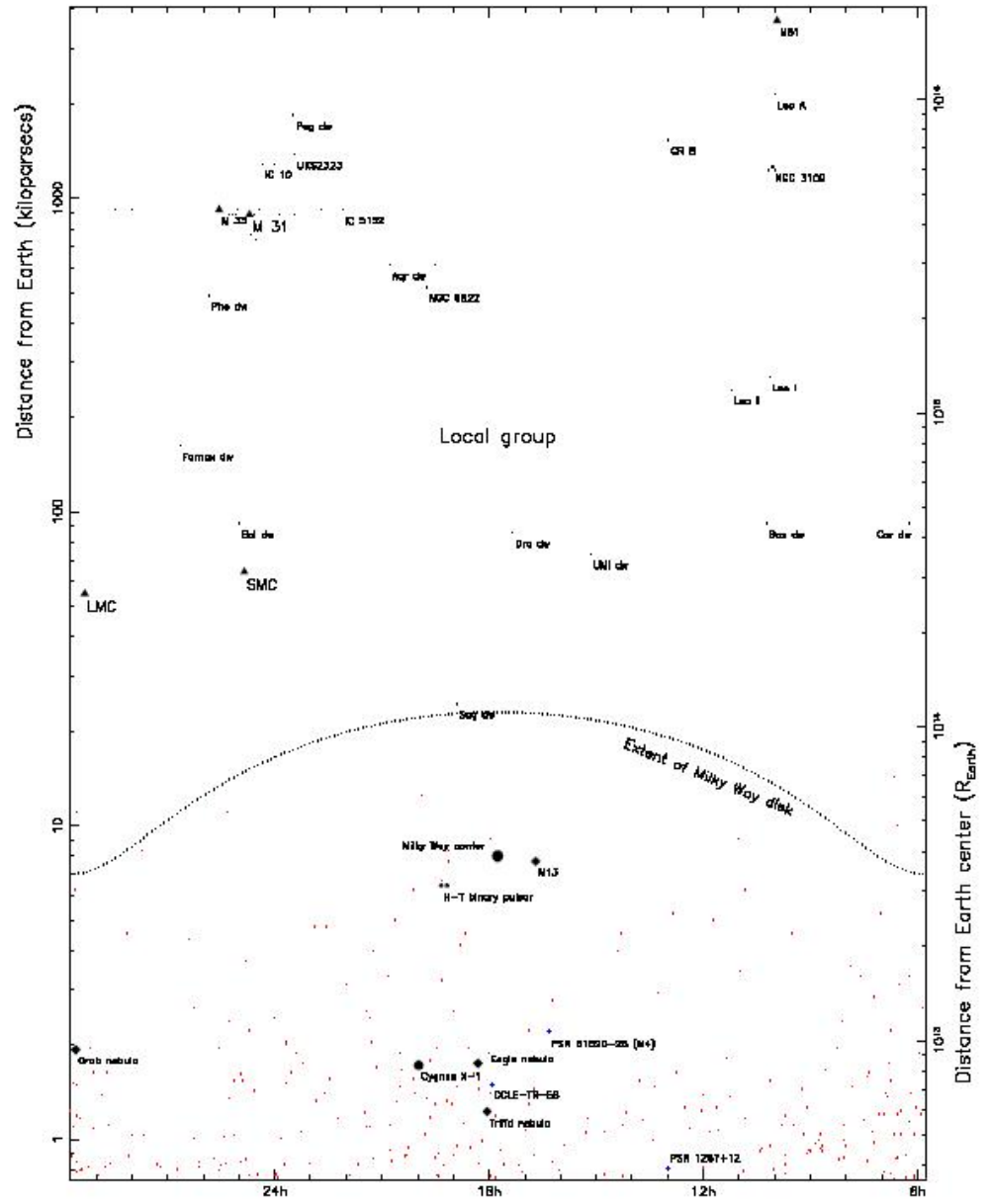


# Le Nuage de Oort

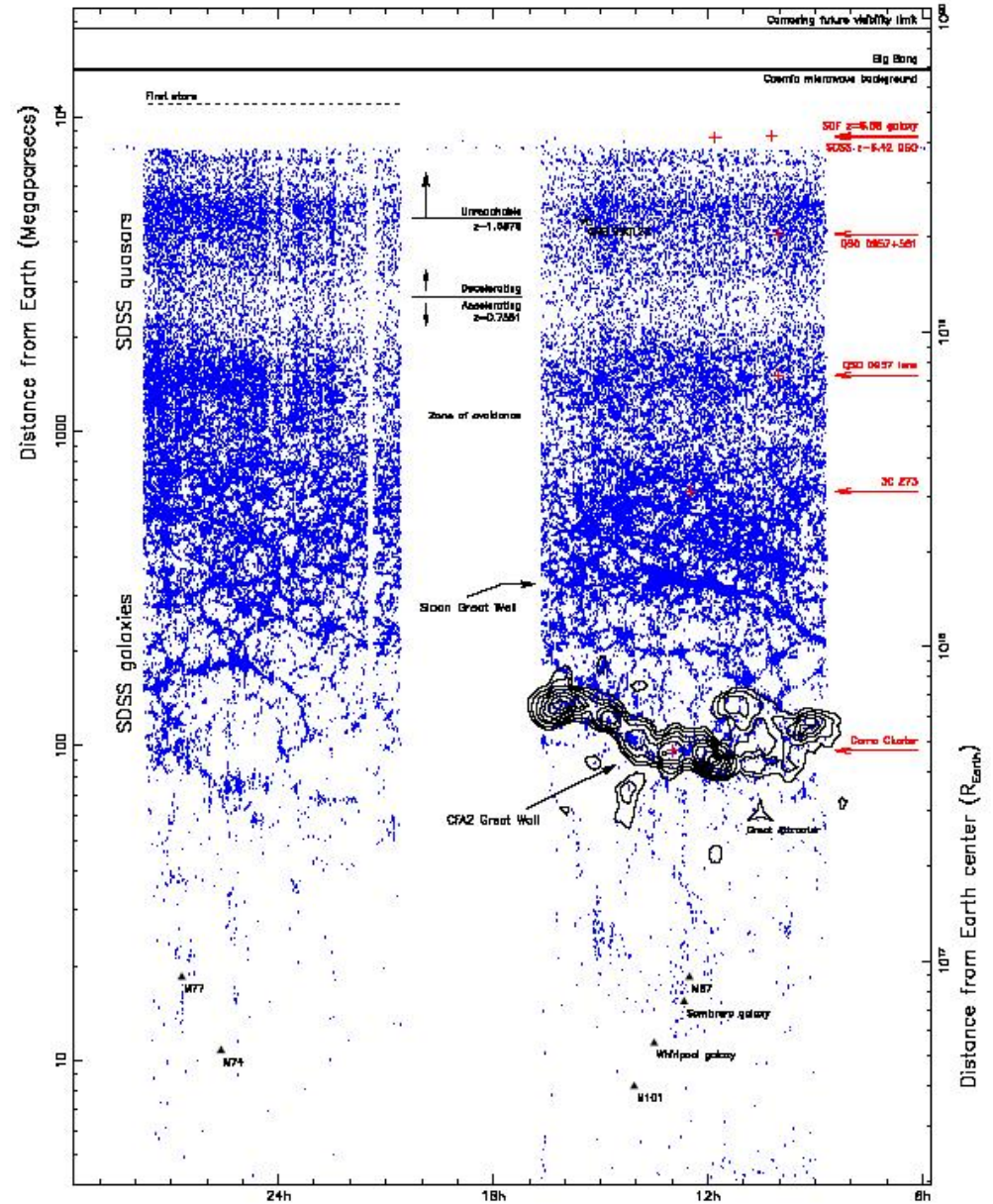




# L'amas local



# L'Univers lointain

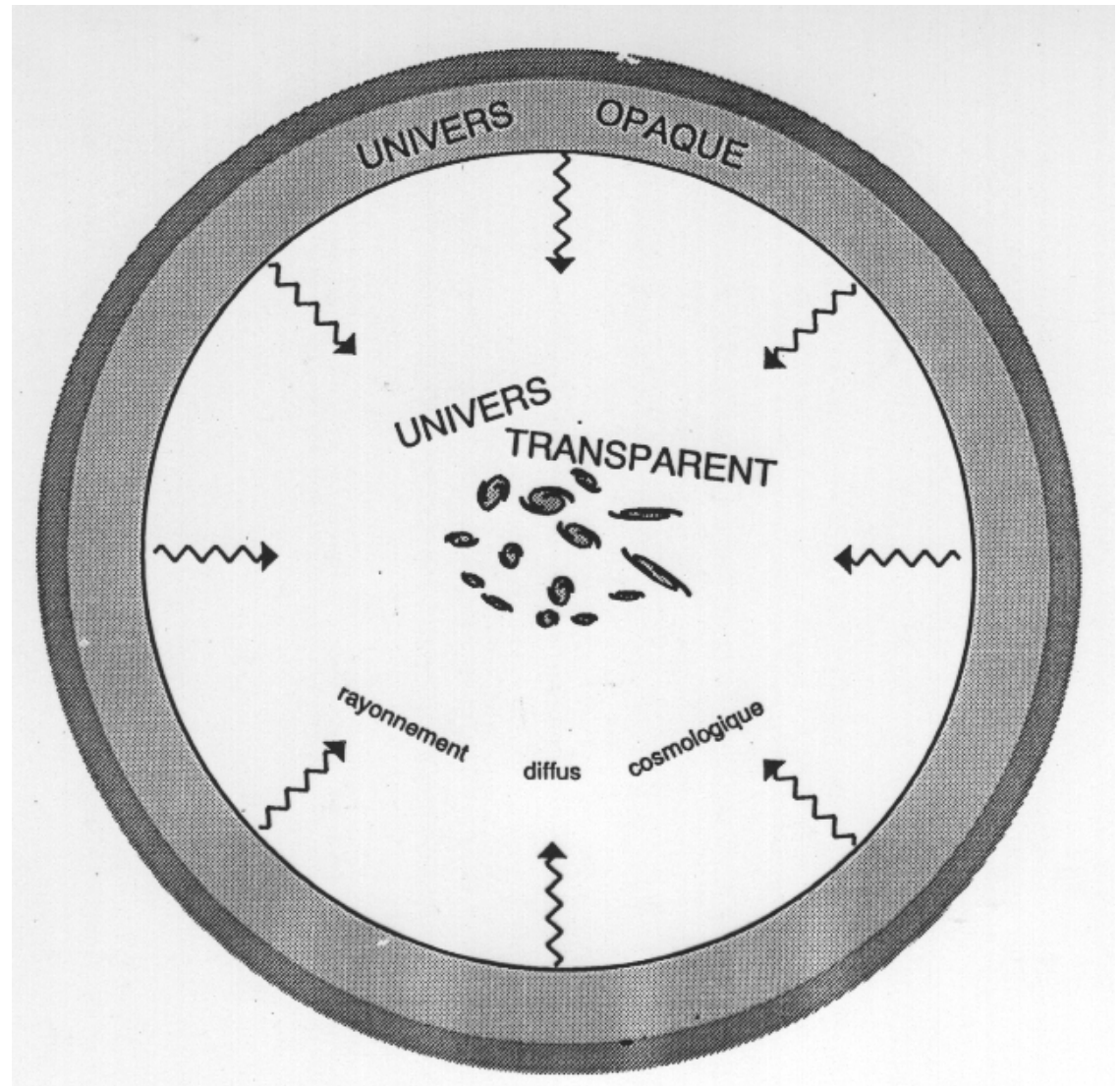


# Les Rides de l'Univers



# Le Fond Cosmologique

- Rayonnement à 3°K
- Origine
- Dipôle dû au mouvement



# Les émissions d'avant plan

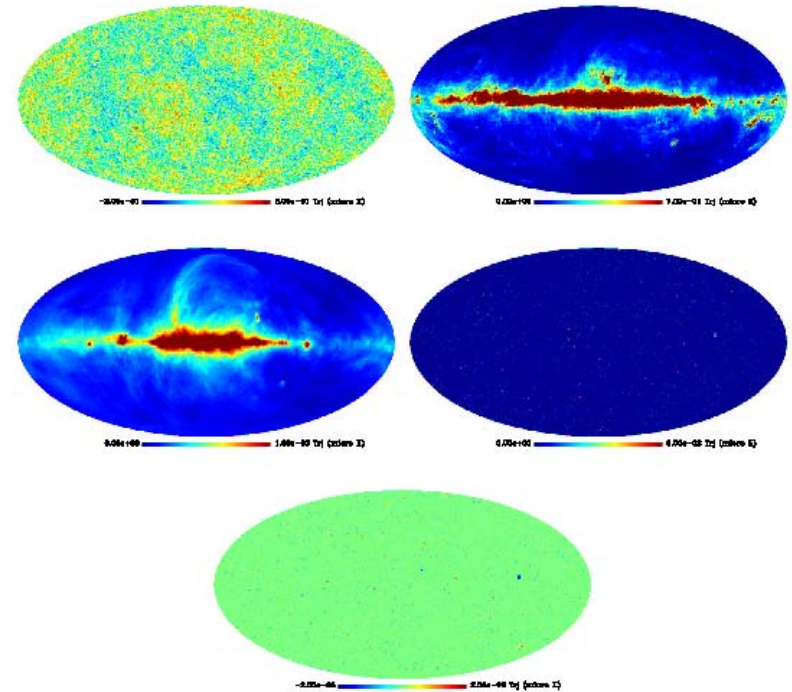
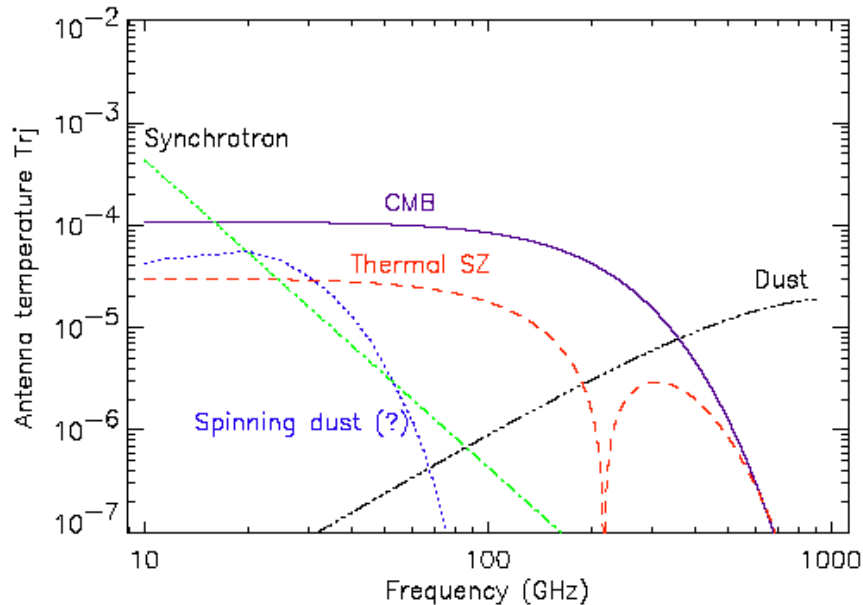
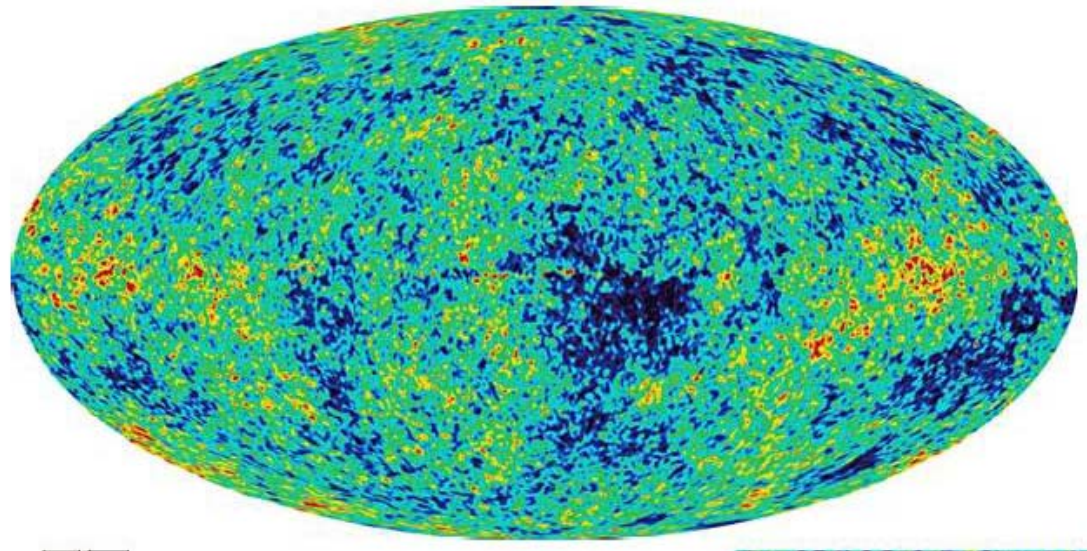
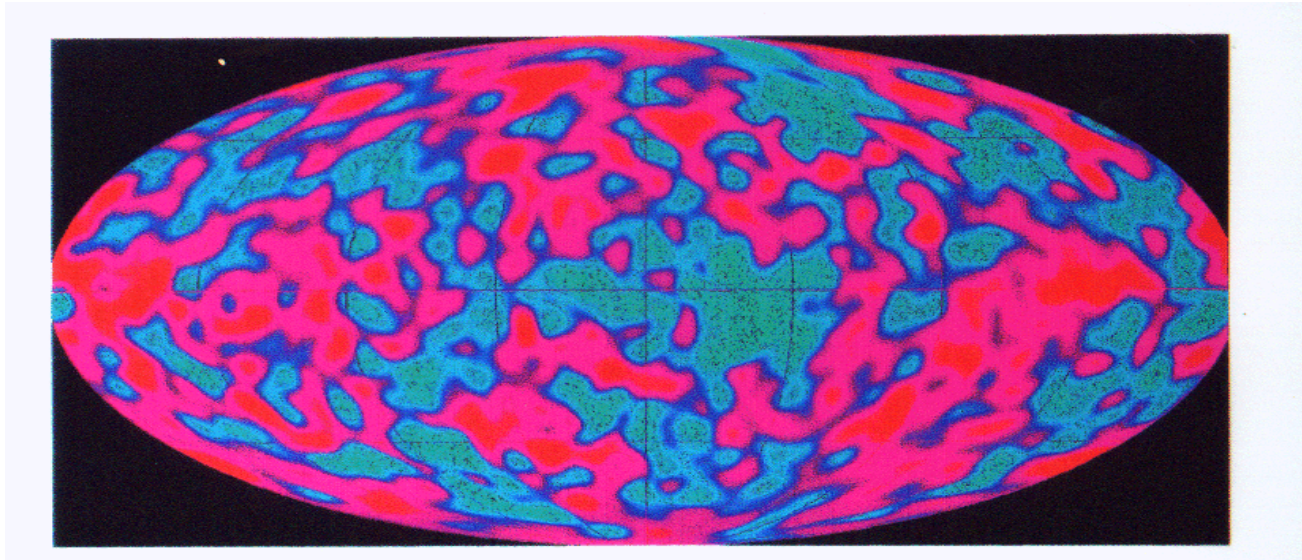
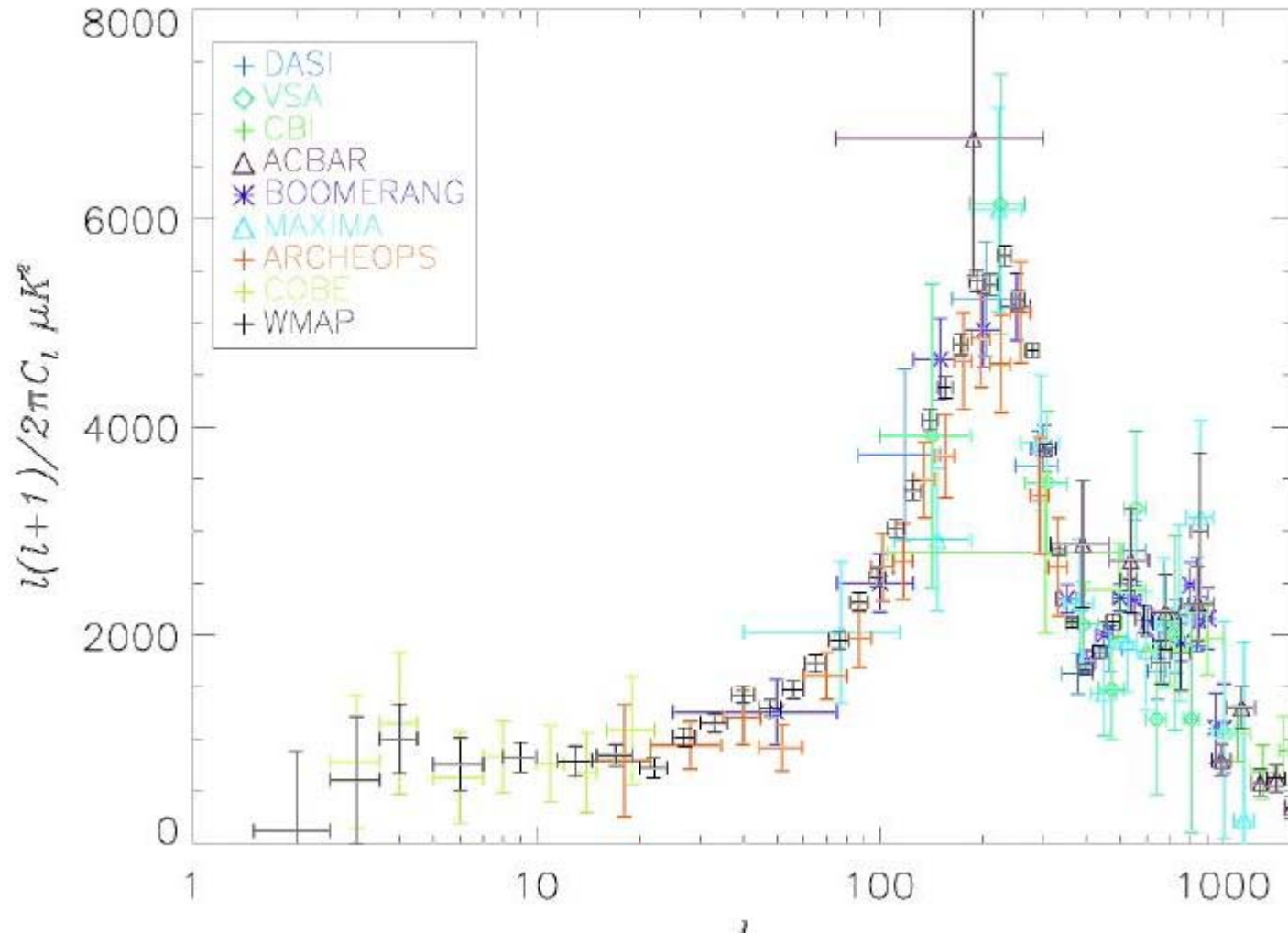


Fig. 6.11: Cartes de composantes astrophysiques utilisées dans les simulations. Dans l'ordre, nous avons : les anisotropies du CMB, l'émission de la poussière, l'émission synchrotron, l'effet SZ thermique, l'effet SZ cinétique.

# Fluctuations COBE / WMAP



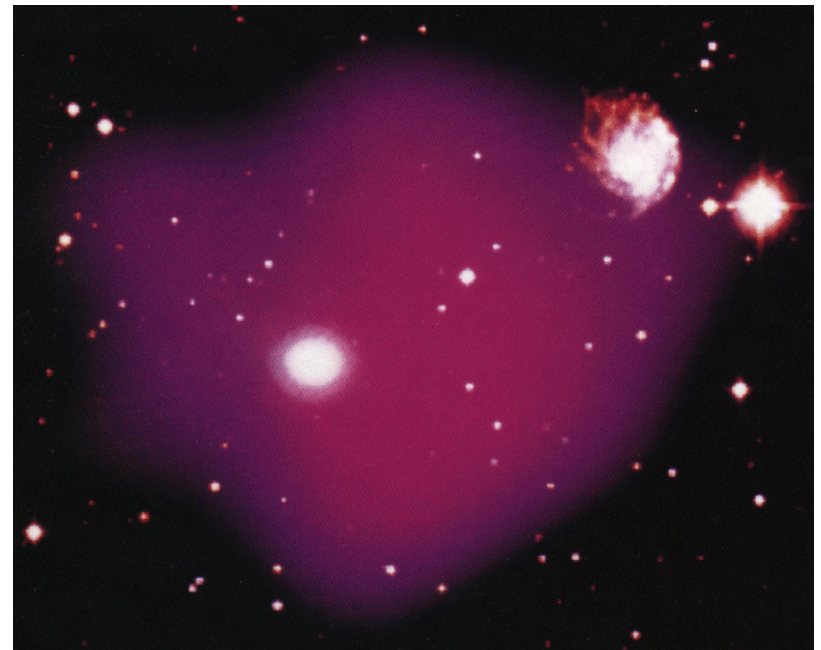
# Spectre du fond cosmologique



# La composition de l'Univers

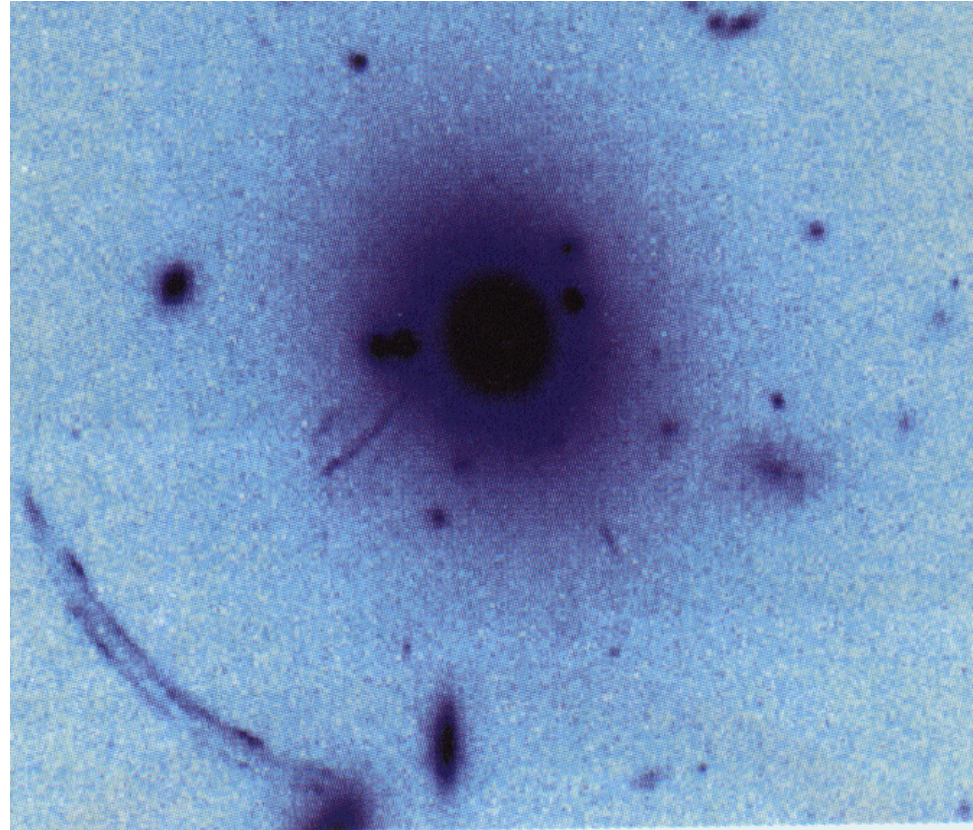
# La Matière Baryonique

- 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 masse des amas de galaxies est bien plus grande que la somme des masses de toutes ses galaxies.
- La Rotation des bords des galaxies
  - La rotation des galaxies spirales induit la présence d'une importante masse cachée
- Les lentilles gravitationnelles



# 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

- La Constante cosmologique  $\Lambda$  serait de 0.7
- Les physiciens des particules ont parfois interprété cette constante comme l'énergie du vide
- Aujourd'hui on la désigne sous le terme *d'énergie noire*
- On se perd en conjectures sur sa nature  
Cela complèterait à 1 la densité de l'Univers: l'Univers serait plat

# Formation des structures Texture de l'Univers

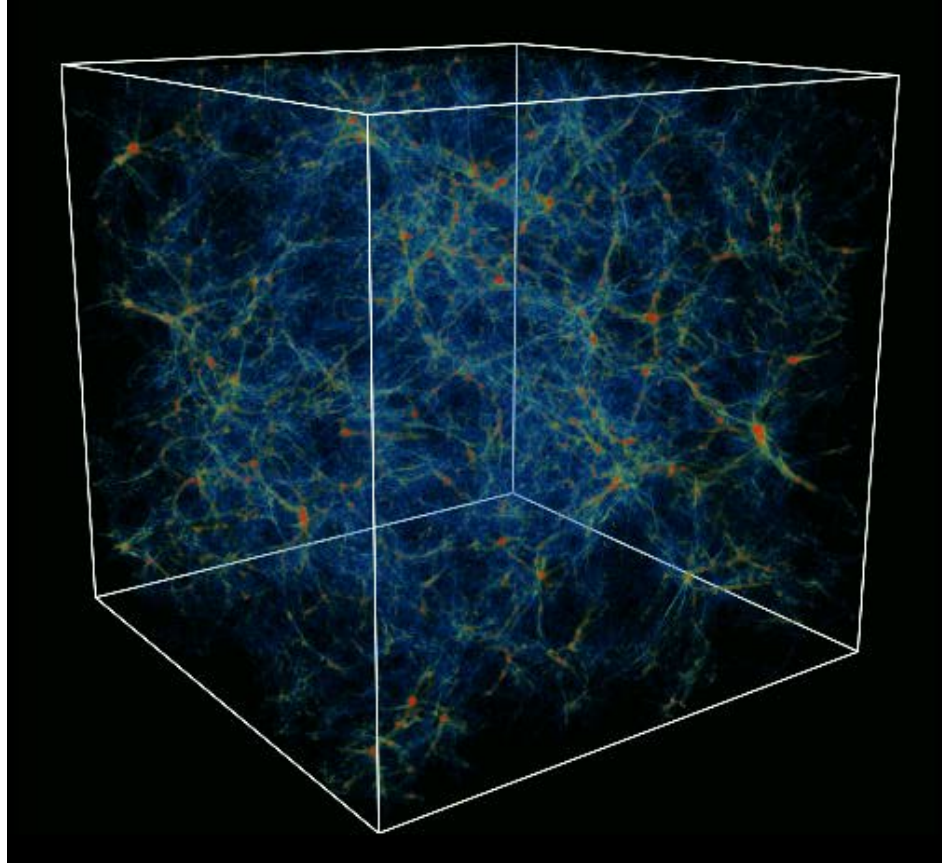
# Formation et évolution des structures de l'Univers:

- 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
- Nécessité de bons indicateurs statistiques

# La simulation d'Univers



# Les structures simulées

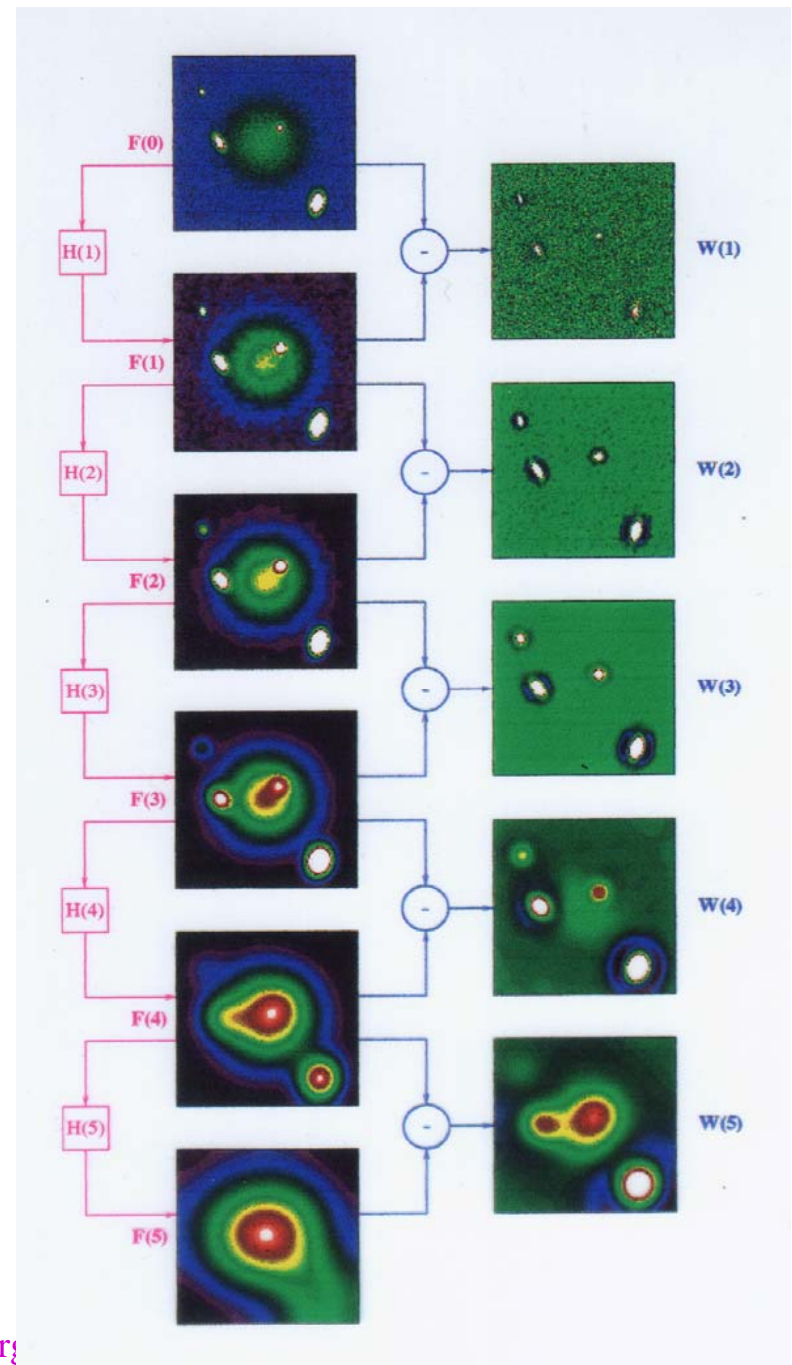


# Quelques indicateurs

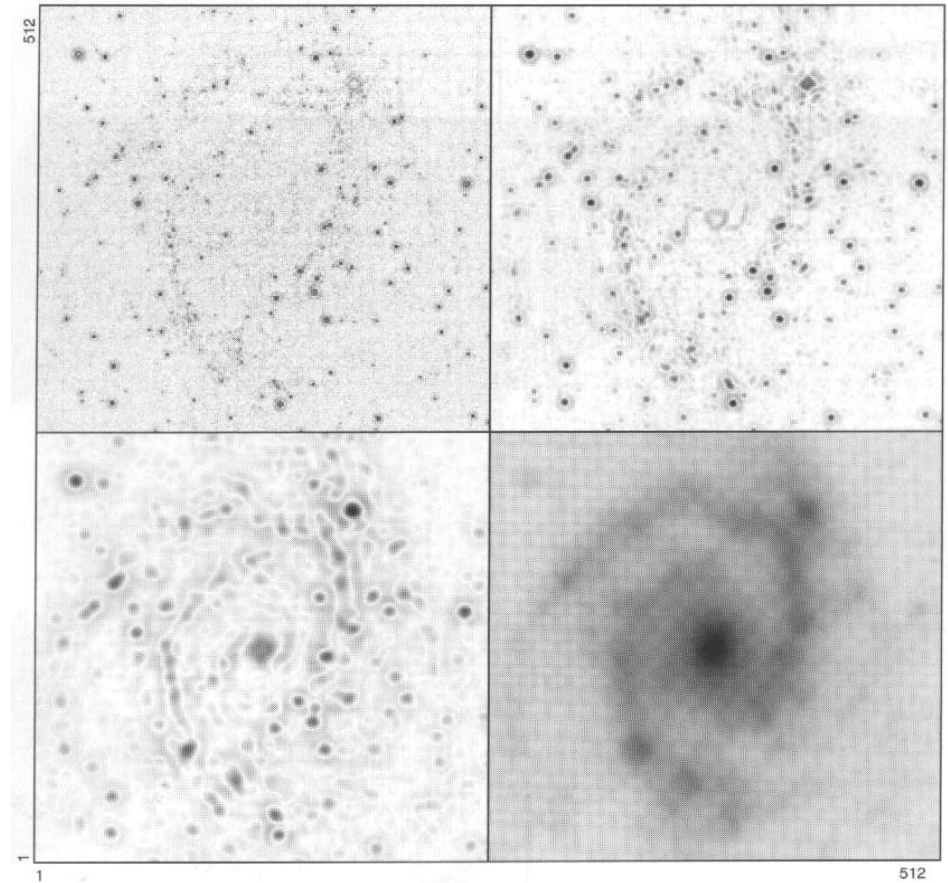
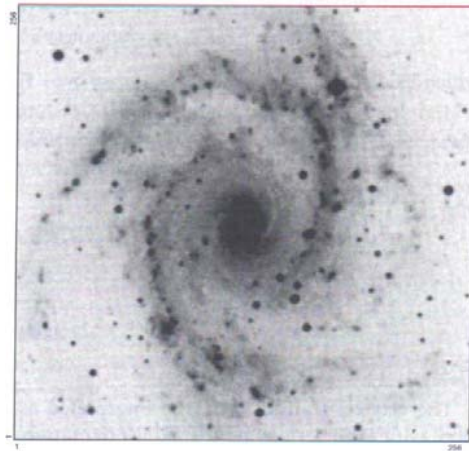
- Statistiques de comptage
  - Probabilité de vide
- Corrélation & Analyse spectrale
  - Fonctions de corrélation à n-points
  - Densité spectrale
  - Bi-spectre
- Non-Gaussiannité
  - Asymétrie
  - Aplatissement
  - Néguentropie
- Fractalité
  - Dimension fractale
  - Spectre des singularités
- Morphologie
  - Percolation
  - Les fonctionnelles de Minkowski
  - Le Génus
- Décomposition sur différentes bases
  - Ondelettes orthogonales
  - **Ondelettes isotropes**
  - Ridgelets, Curvelets, Beamlets
  - Karhunen-Loève

# L' algorithme à trous

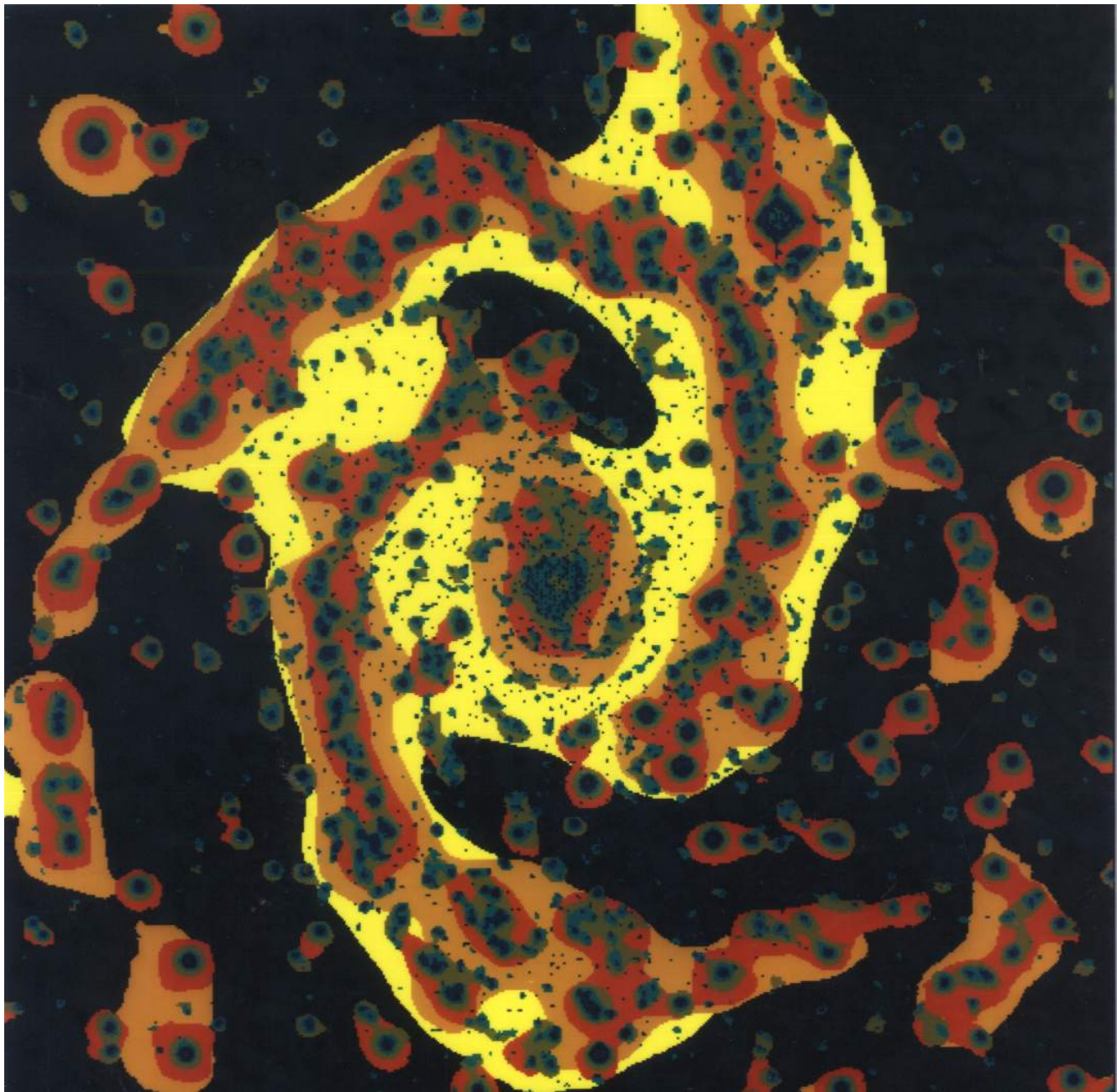
- On effectue des lissages avec un pas proportionnel à l'échelle
- Filtre binômial



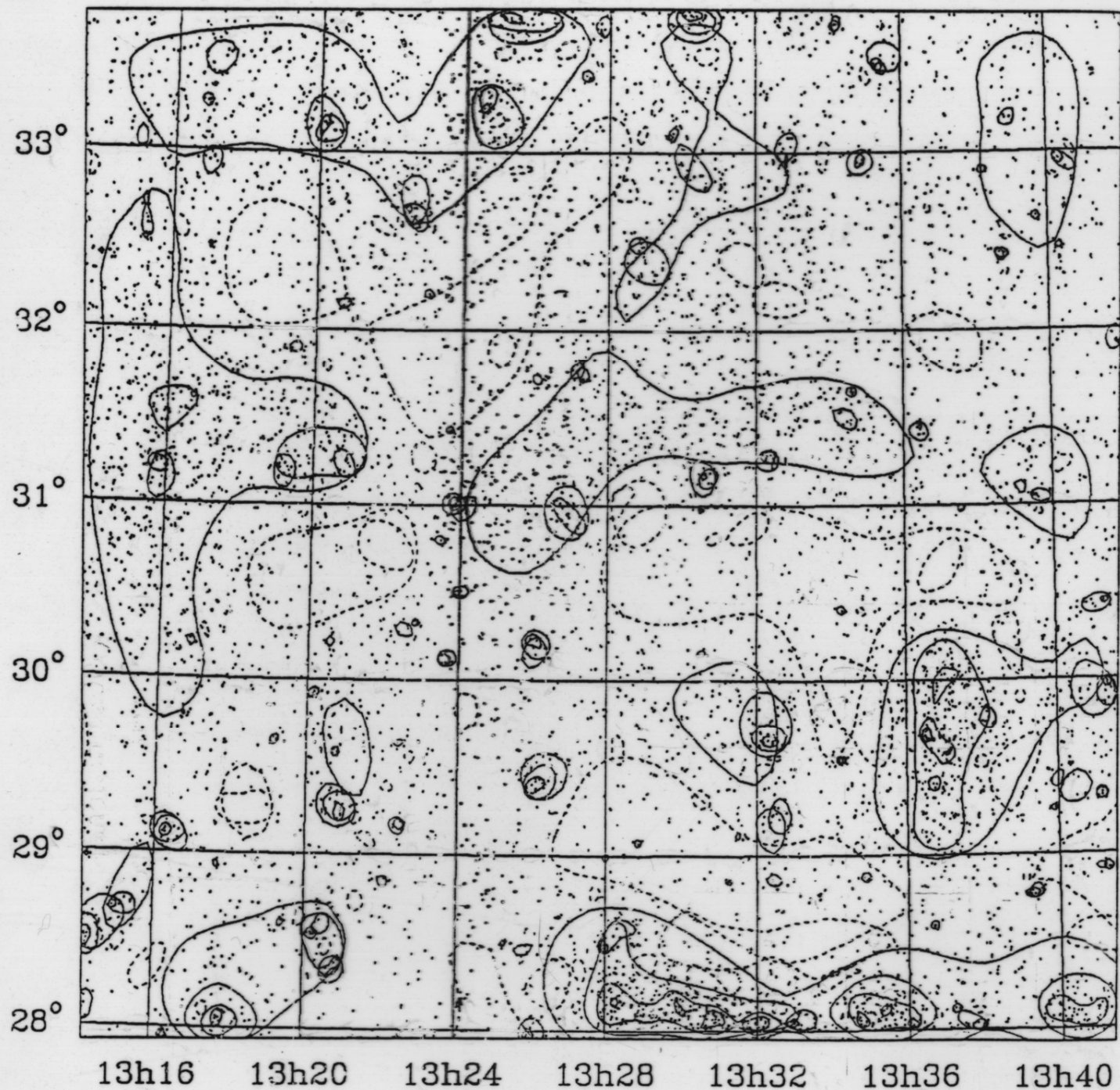
# Exemple Galaxie NGC2997





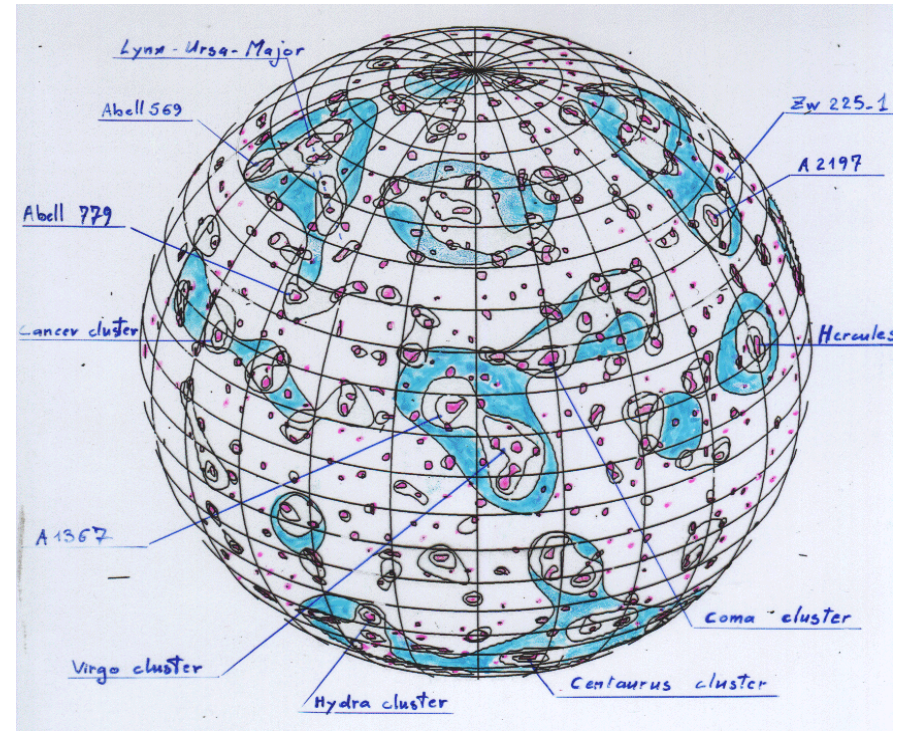
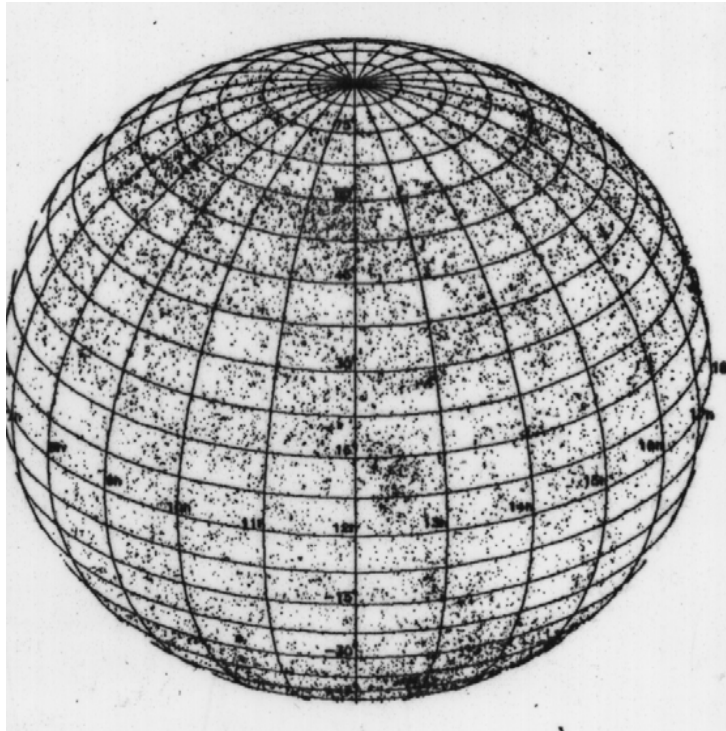


Décomposition  
en ondelettes  
d'un comptage  
de galaxies



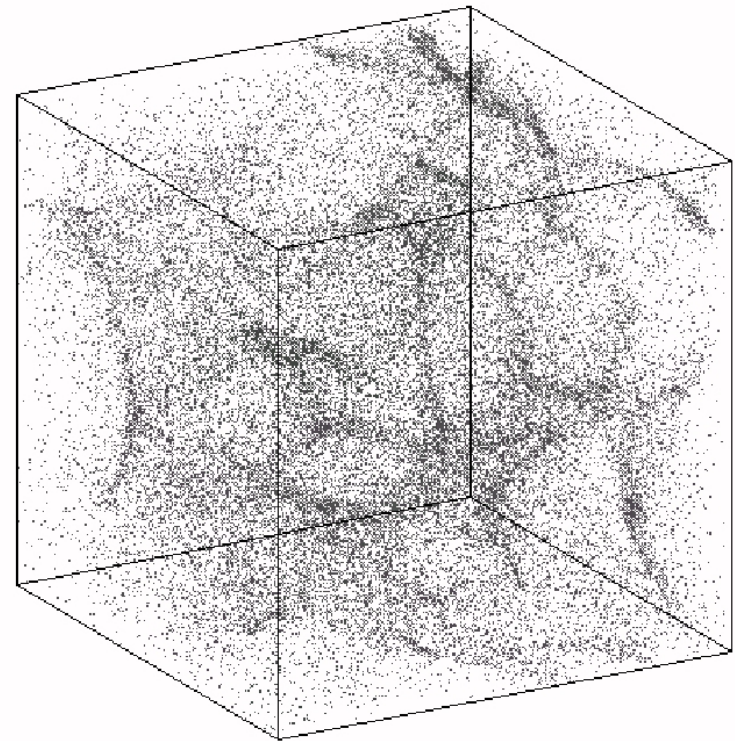
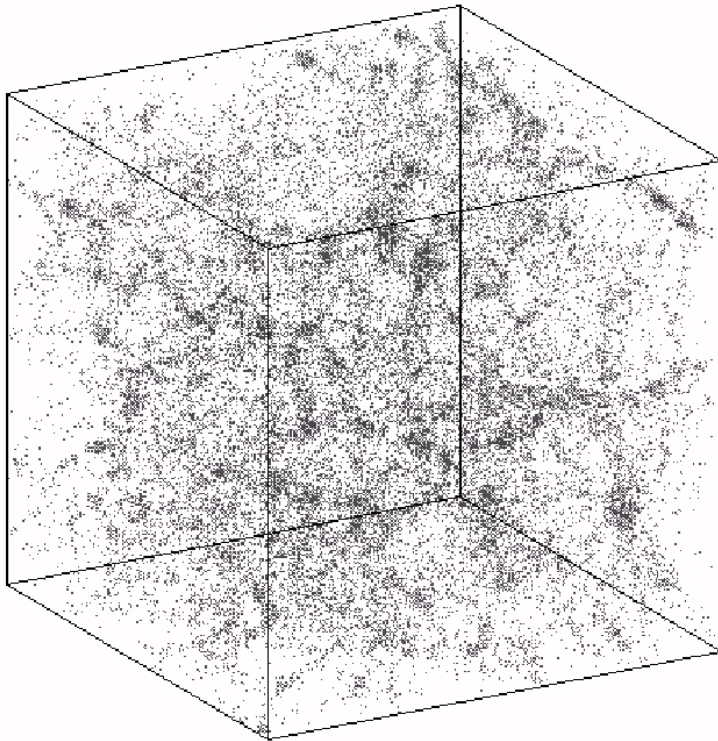
13 janvier 2005

# Décomposition sur la sphère



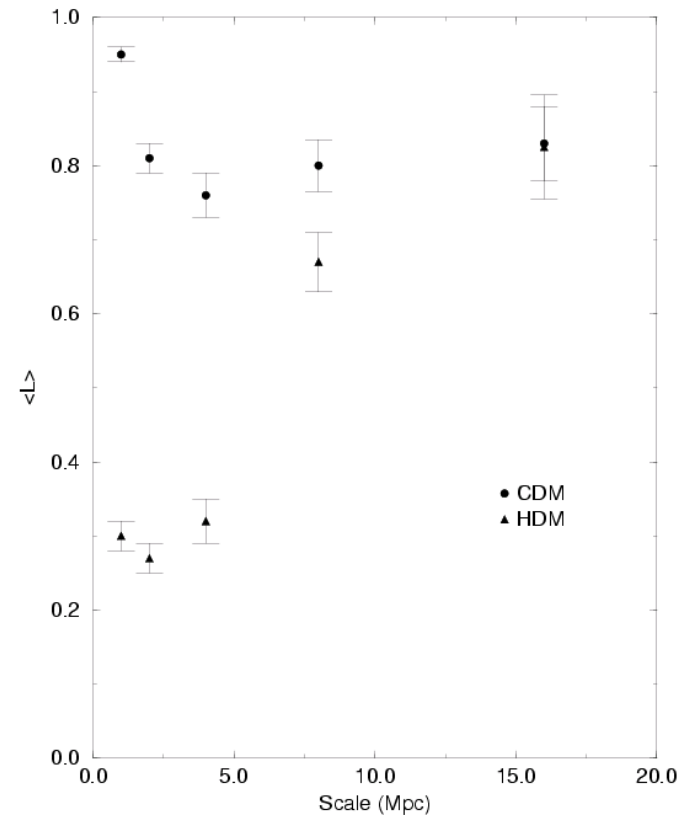
# Exemples de simulation

- CDM / HDM



# Indicateur Morphologie/Ondelette

- Il s'agit de tester l'existence de structures filamenteuses
- La transformée en ondelettes permet de décomposer en structures à différentes échelles
- Calcul d'un indice morphologique Surface / Volume



# Conclusion

- Le modèle du Big-Bang reste la base de la Cosmologie actuelle
- La formation des structures peut être simulée numériquement
- La texture résultante est d'une très grande richesse : amas, superamas, filaments, murs, grands vides
- Les astronomes sont intéressés par tout nouvel indicateur statistique afin d'évaluer les paramètres du scénario