

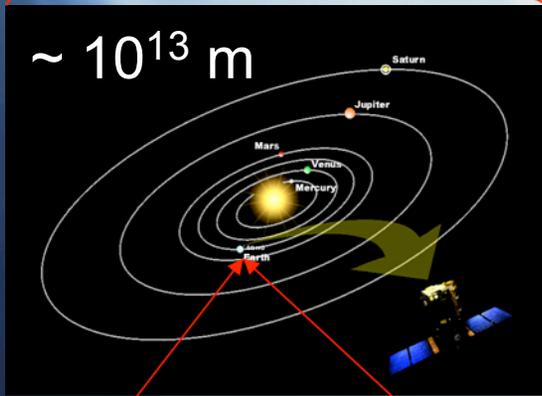
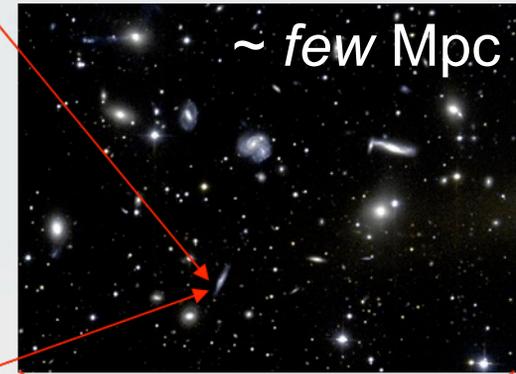
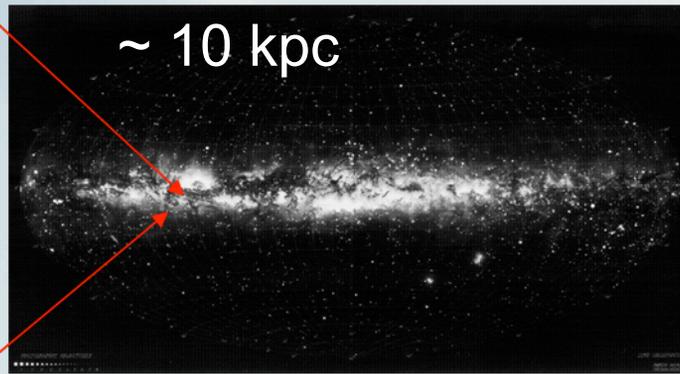
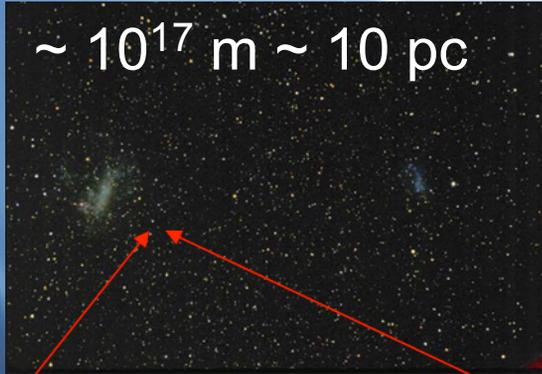
# Session cosmologie

Journées de Rencontre  
Jeunes Chercheurs 2007

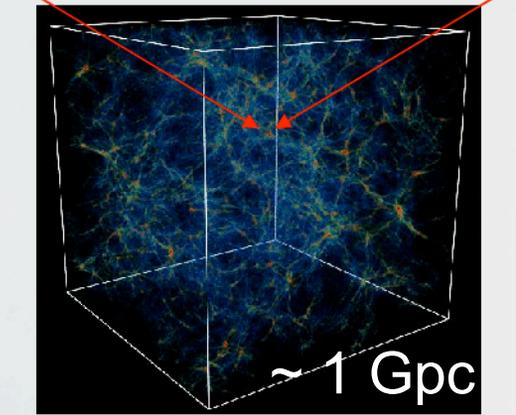
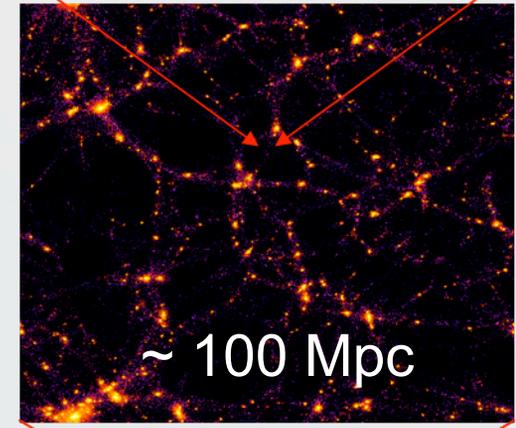
*Cyrille Rosset*

- La cosmologie étudie l'Univers dans son ensemble
- Objectifs de la cosmologie:
  - Histoire passée et future de l'Univers
  - Sa géométrie, sa topologie
  - Son contenu énergétique/matériel

# Distances dans l'Univers



- Cosmologie : distances  $> 10 \text{ Mpc}$
- Taille de l'Univers observable : qq Gpc



$1 \text{ pc} \sim 3 \text{ a.l.}$

Homogénéité et isotropie  
(Principe cosmologique)

La gravitation domine aux  
grandes échelles

Theorie

L'Univers est en expansion  
et se refroidit

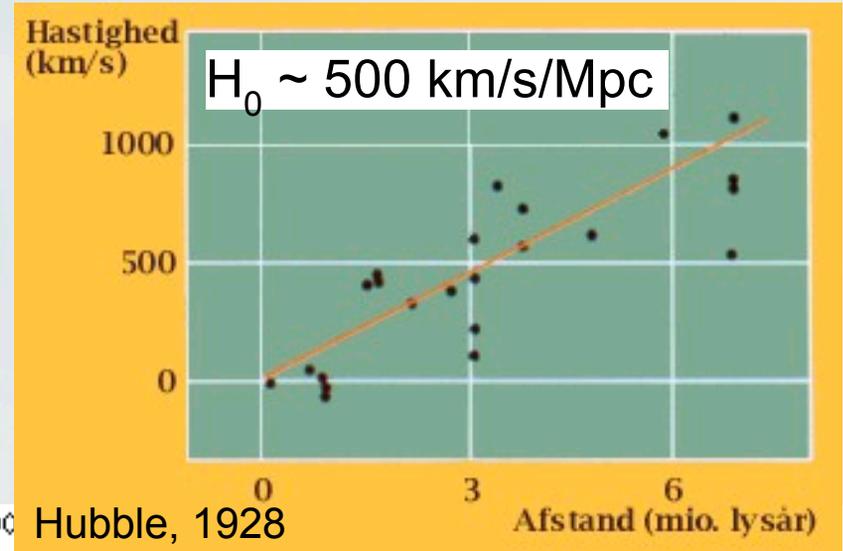
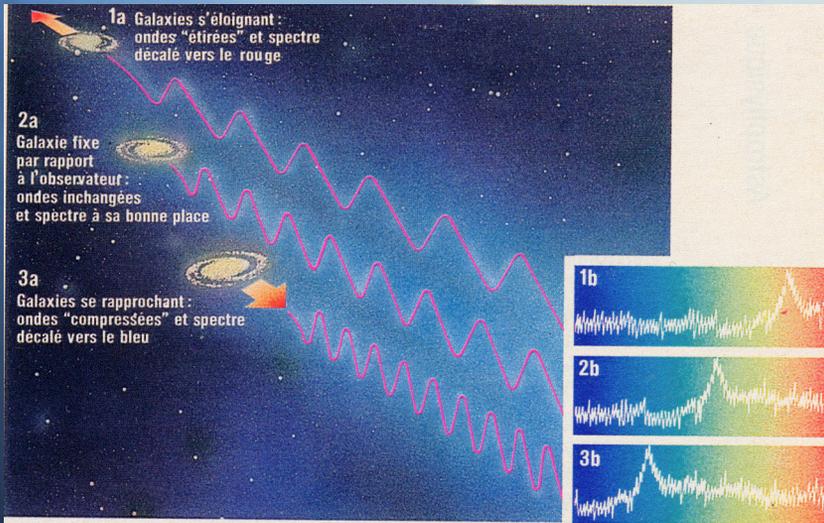
Abondance des  
éléments légers

Observations

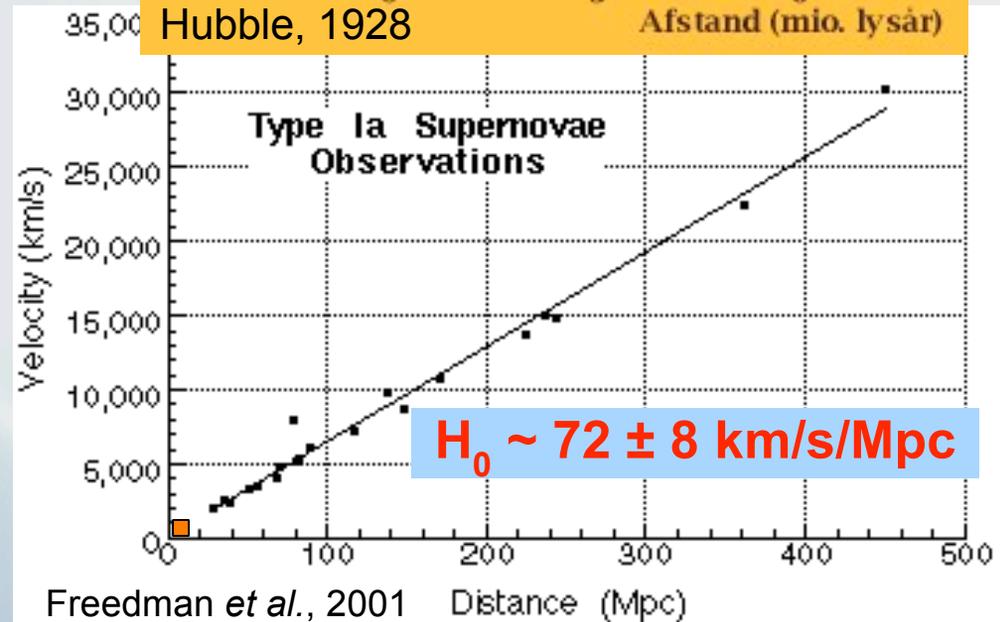
Redshift des  
galaxies

Rayonnement à 3 K

# Loi de Hubble

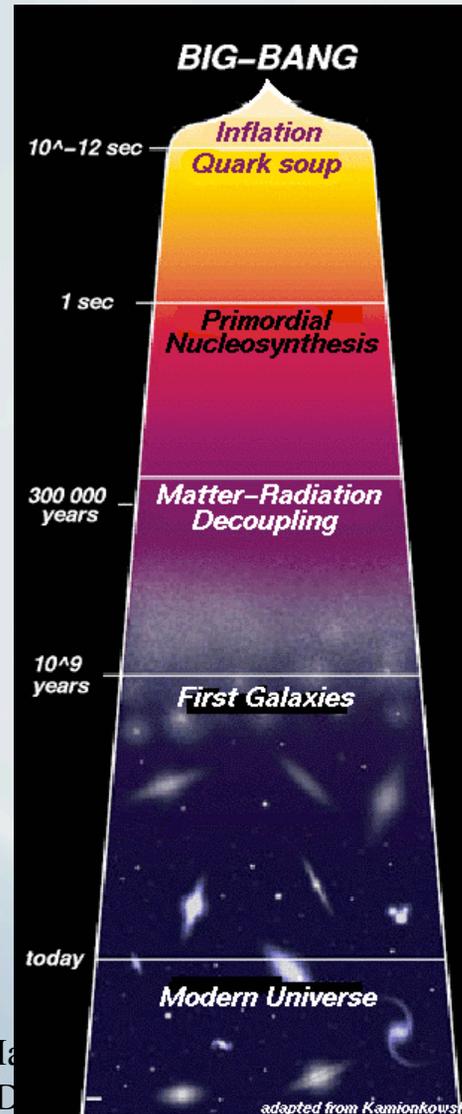


- Décalage vers le rouge :
  - Effet Doppler : vitesse d'éloignement
- **Relativité générale :**
  - **Dilatation de l'espace**



# Modèle standard de la cosmologie : le big bang chaud

- $t < 10^{-35}$  s : génération des fluctuations de densité
- $t \sim 1$  min : Nucléosynthèse des éléments légers (D, He, Li)
- $t \sim 300,000$  ans : formation des atomes neutres, émission du rayonnement à 3 K
- $t \sim 1$  milliard d'année : formation des premières galaxies



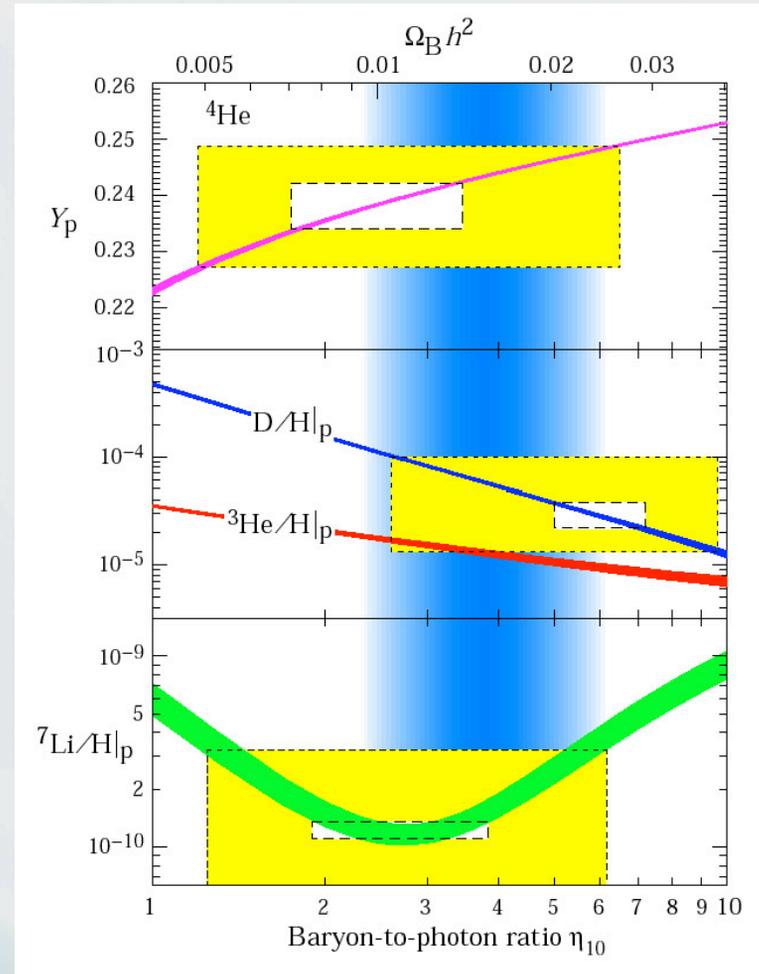
**Haute  
température,  
haute densité**

Expansion  
↓  
refroidissement

**Basse  
température,  
basse densité**

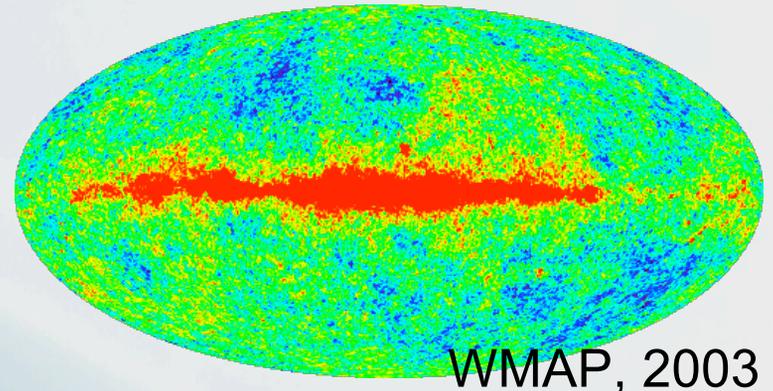
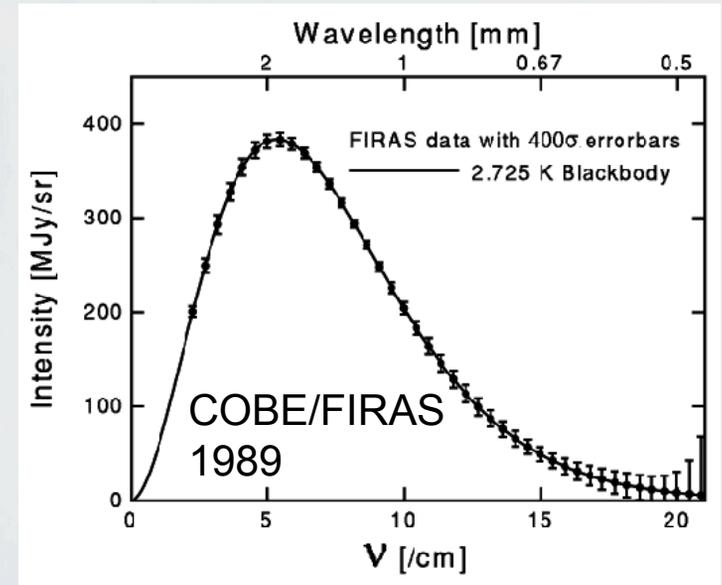
# Nucléosynthèse primordiale

- Éléments légers : produits pendant le big bang
- Éléments lourds : produits dans les étoiles
- **Un seul paramètre** : le rapport baryon/photon
- **Les mesures confirment les prédictions** théoriques sur 9 ordres de grandeur...
  - $2.6 \times 10^{-10} < \eta < 6.2 \times 10^{-10}$
- Rayonnement 3K contraint aussi ce paramètre:
  - $\eta_{\text{WMAP}} = 6.14 \pm 0.25 \times 10^{-10}$



# Rayonnement à 3 K (ou CMB)

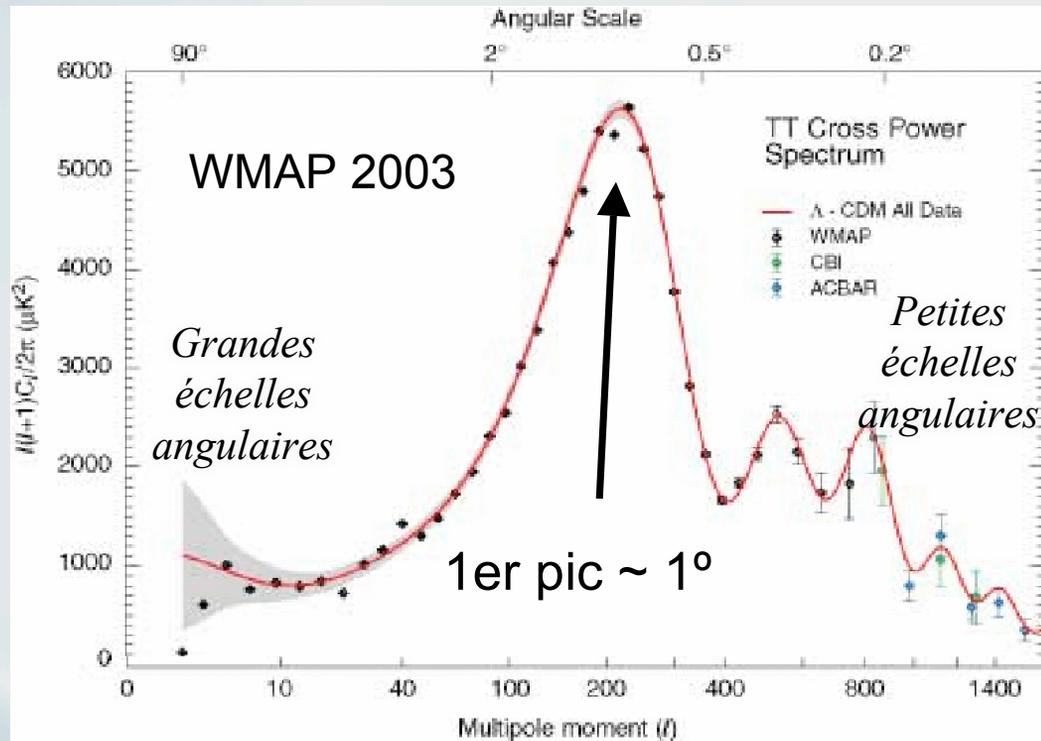
- L'Univers devient transparent quand les atomes se forment, vers  $T \sim 3000$  K
- Les photons se propagent ensuite librement en perdant de l'énergie (dilatation de l'espace  $\Rightarrow$  dilatation des longueurs d'onde) :
  - Aujourd'hui, corps noir à 2,725 K
- Les zones plus denses au moment de l'émission sont plus chaudes et inversement :
  - **Le CMB garde la trace des fluctuations de densité initiales**
  - **Fluctuations  $\sim 10 \mu\text{K}$**



# Anisotropies du CMB

- Oscillations acoustiques dans le plasma
  - Pression de radiation vs gravité
  - Joue uniquement sur les baryons
- Mesure de nombreux paramètres cosmologiques :
  - Densité totale = densité critique : “l’Univers est plat”
  - Rapport baryon/photon : mesure de la quantité de baryons (car on connaît le nombre de photons...)

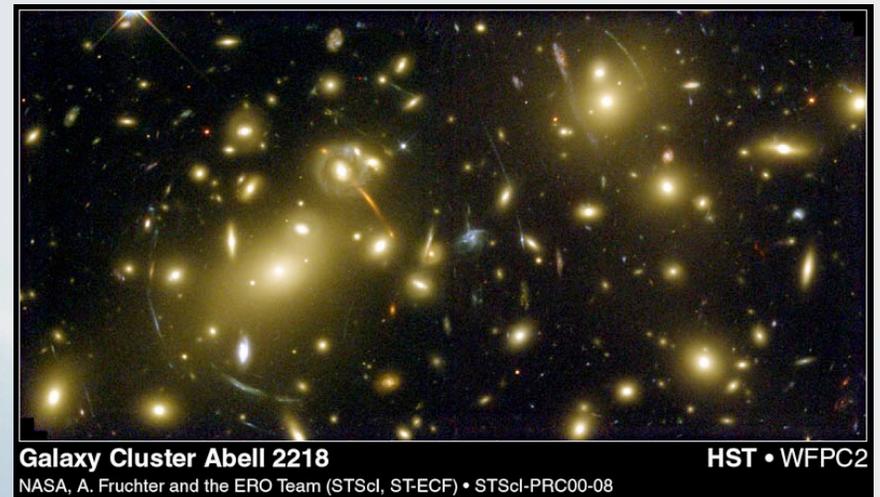
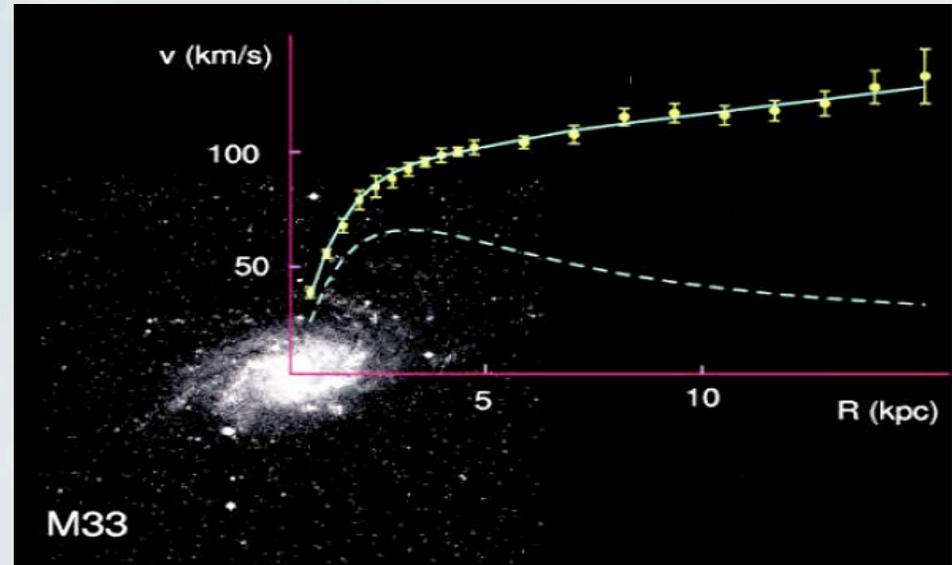
$$\Omega_0 = 1, \Omega_b = 0.04$$



**Nécessite la présence matière non baryonique...**

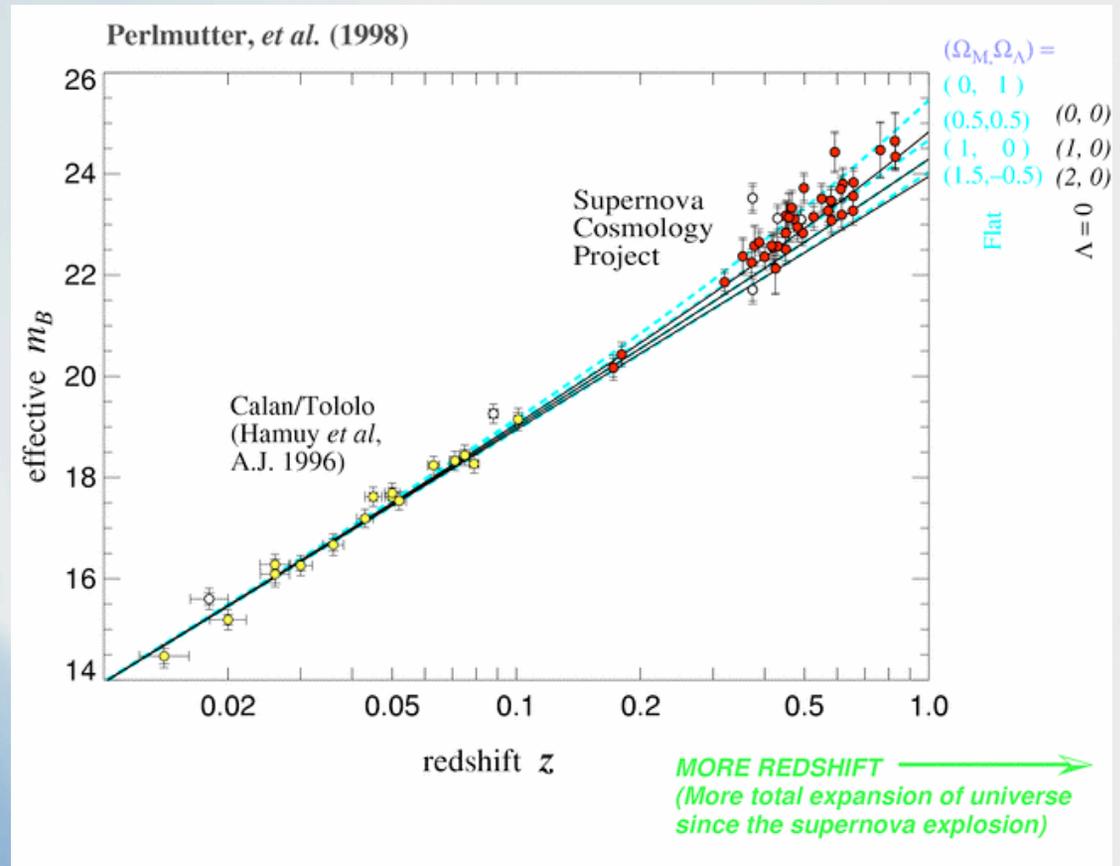
# La matière noire

- Au départ, expliquer les courbes de rotation des galaxies
  - Présence d'un halo de matière sombre autour de la galaxie
  - Domine la masse de la galaxie
- Aussi vu à travers **l'effet de lentille gravitationnelle**
  - Donne aussi une contrainte sur la quantité de matière noire
- Une partie de la matière noire est baryonique...
- ... mais de la matière noire non baryonique est nécessaire pour la formation des structures



# L'accélération de l'Univers

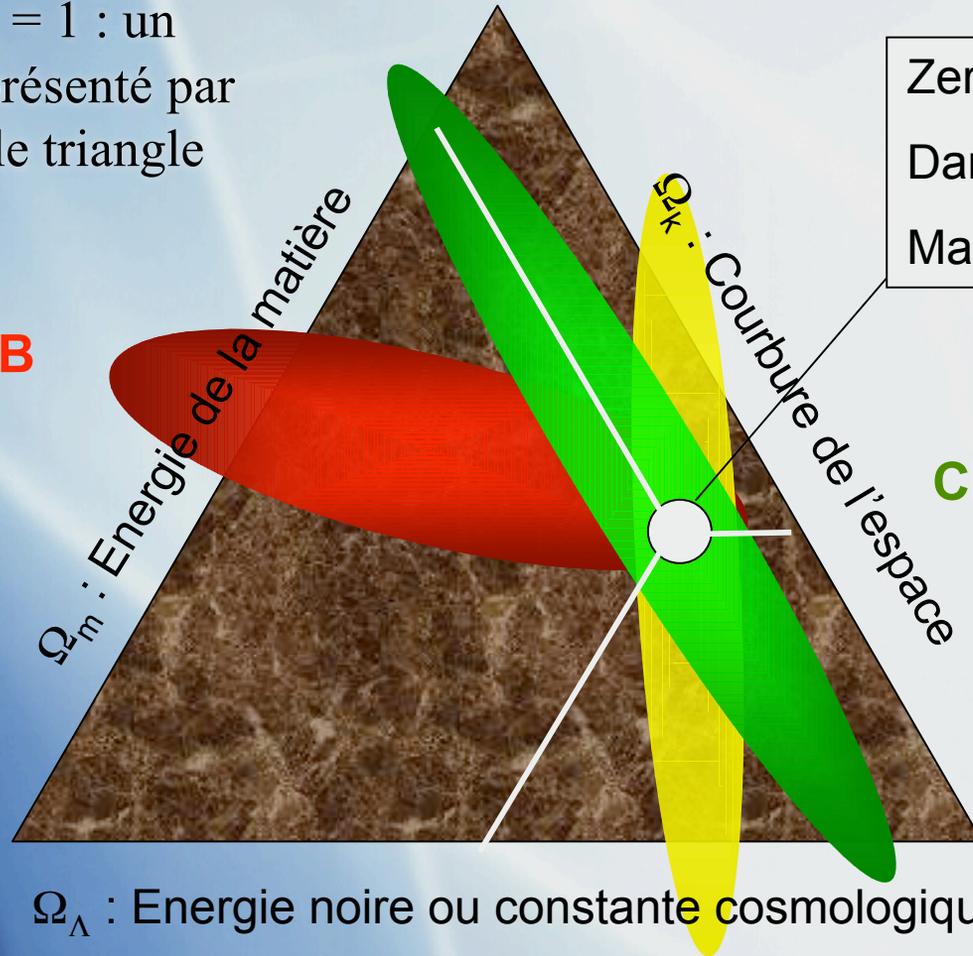
- Diagramme de Hubble avec des galaxies lointaines
  - Utilisation des supernovæ de type Ia comme chandelles standard
- Les observations montrent que l'expansion de l'Univers accélère...
  - Paramètre  $\Omega_\Lambda$  "énergie du vide" ou "énergie noire" ou "constante cosmologique"



# Triangle cosmologique

$\Omega_m + \Omega_\Lambda + \Omega_k = 1$  : un modèle est représenté par un point dans le triangle

**CMB**



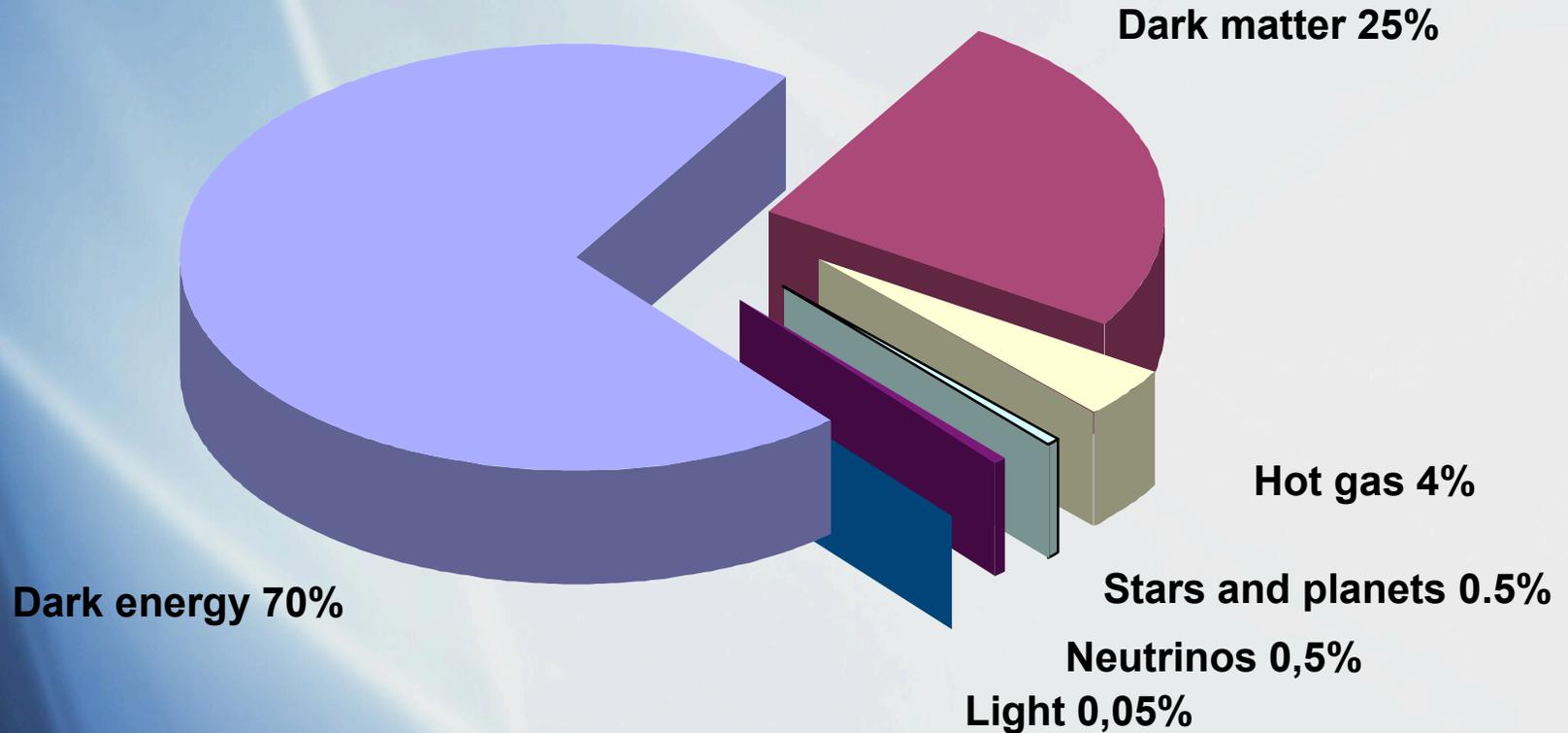
Zero curvature  
Dark energy 70%  
Matter 30%

**Clusters and galaxies**

*Adapted from  
Bahcal et al, 1999*

**Supernovæ**

# Contenu de l'Univers



- Le modèle du big bang marche très bien...
- ... mais il a besoin de matière noire et d'énergie noire dont on ne sait rien !
- Développer de nouvelles théories, et les tester avec des observations plus précises.

# Place aux jeunes !

- Farhang Habibi, LAL :
  - Simulation de la Scintillation Interstellaire par la matière noire transparente
- Diane Talon-Esmieu, CPPM :
  - Extraction des paramètres cosmologiques par une approche multisonde.
- Taia Kronborg, LPNHE :
  - L'effet de lentille gravitationnelle dans les mesures cosmologiques avec les supernovae de type Ia
- Radouanne Gannouji, LPTA :
  - Modèles de gravitation modifiée, énergie noire
- Aurélien Benoît-Lévy, CSNSM :
  - Contraintes observationnelles d'un Univers de Milne symétrique matière-antimatière