

Cours 5 – 17 octobre 2023

Quizz du jour

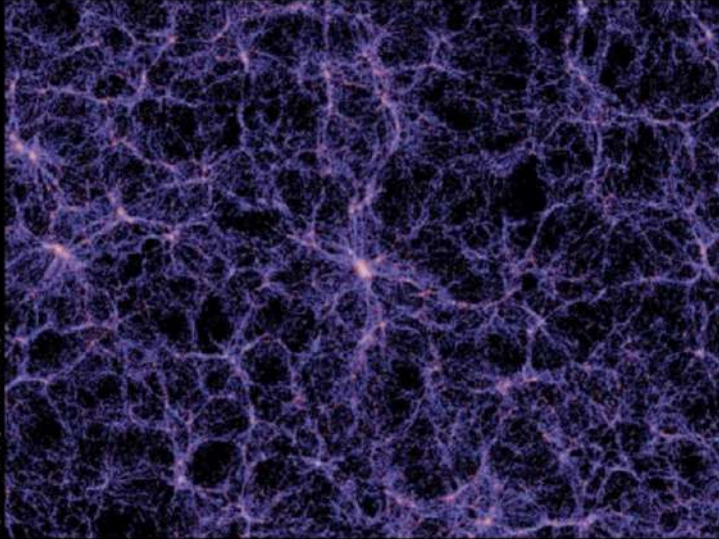


Slides et réponses au quiz



Cosmologie

Corinne Charbonnel & Stéphane Paltani
Professeur.e.s au Département d'Astronomie UniGE



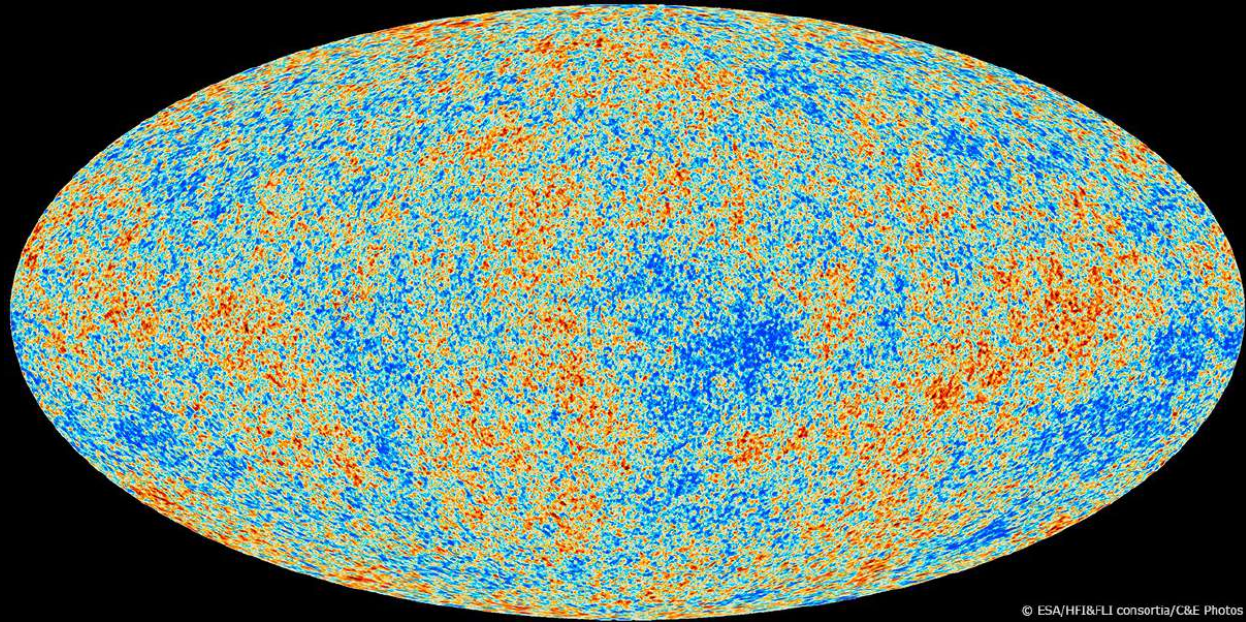
le mardi, du 19 septembre au 19 décembre 2023
de 17h45 à 18h45

Auditoire A300 - Sciences II, 30 quai Ernest-Ansermet, Genève

Inscription au cours sur place le 19 septembre
Renseignements : <http://unige.ch/sciences/astro>

Cours 5 – 17 octobre 2023

Le fonds diffus cosmologique



Contenu

- Phénoménologie du fonds diffus cosmologique
- Origine du fonds diffus cosmologique
- Structure du CMB
- Origine de la structure du CMB

Phénoménologie du fonds diffus cosmologique

Histoire du CMB

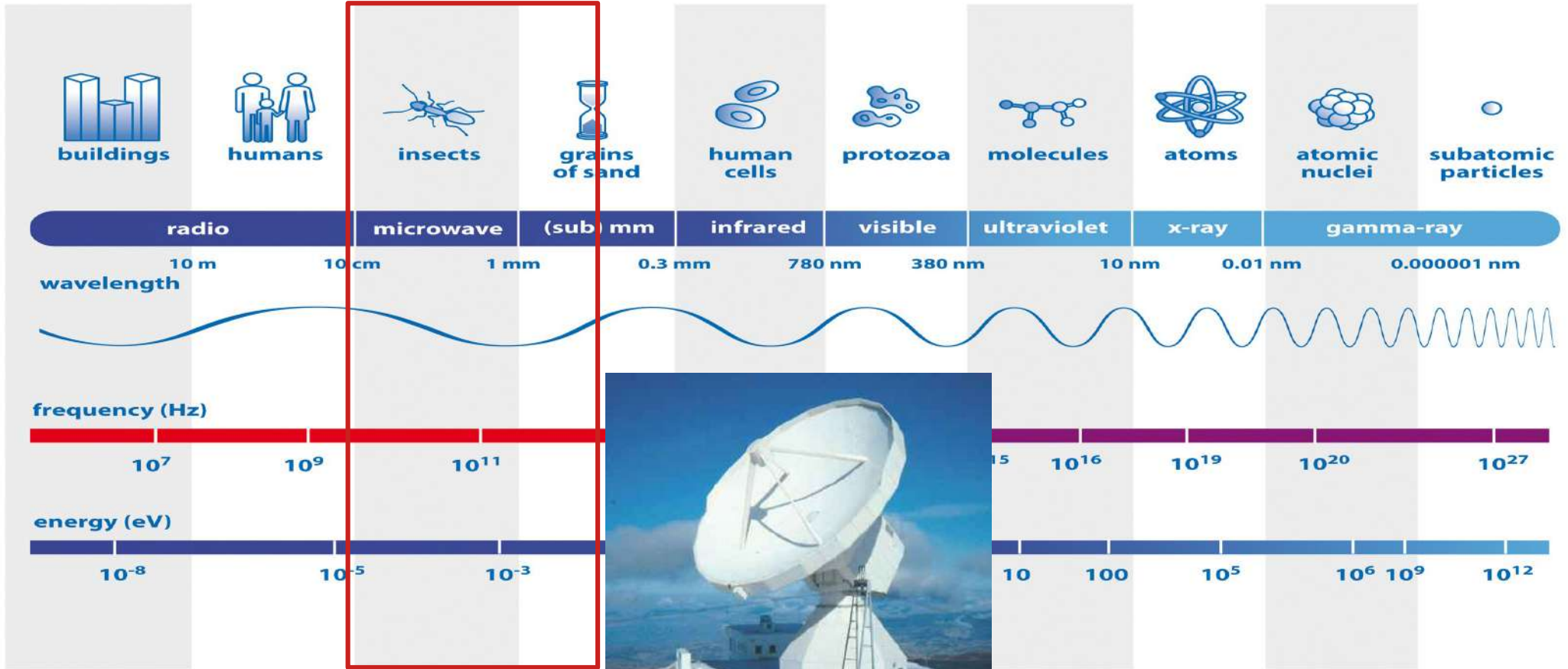
- Fonds diffus cosmologique = Cosmic microwave background (CMB)
- Prédit par Gamow en 1946 comme une conséquence du big bang
- Plusieurs travaux théoriques prédisent une température de quelques degrés K, soit environ -270 C (Alpher & Herman 1950, Peebles 1965)
- Observations de certaines raies dans les étoiles confirment cette valeur (McKellar 1941)

Première détection du CMB

- Découverte par Penzias & Wilson (1965) d'un rayonnement isotrope en micro-onde
- Caractérisé par une "température d'antenne" de 3.5 K à 7.5 cm
- Prix Nobel de Physique en 1978

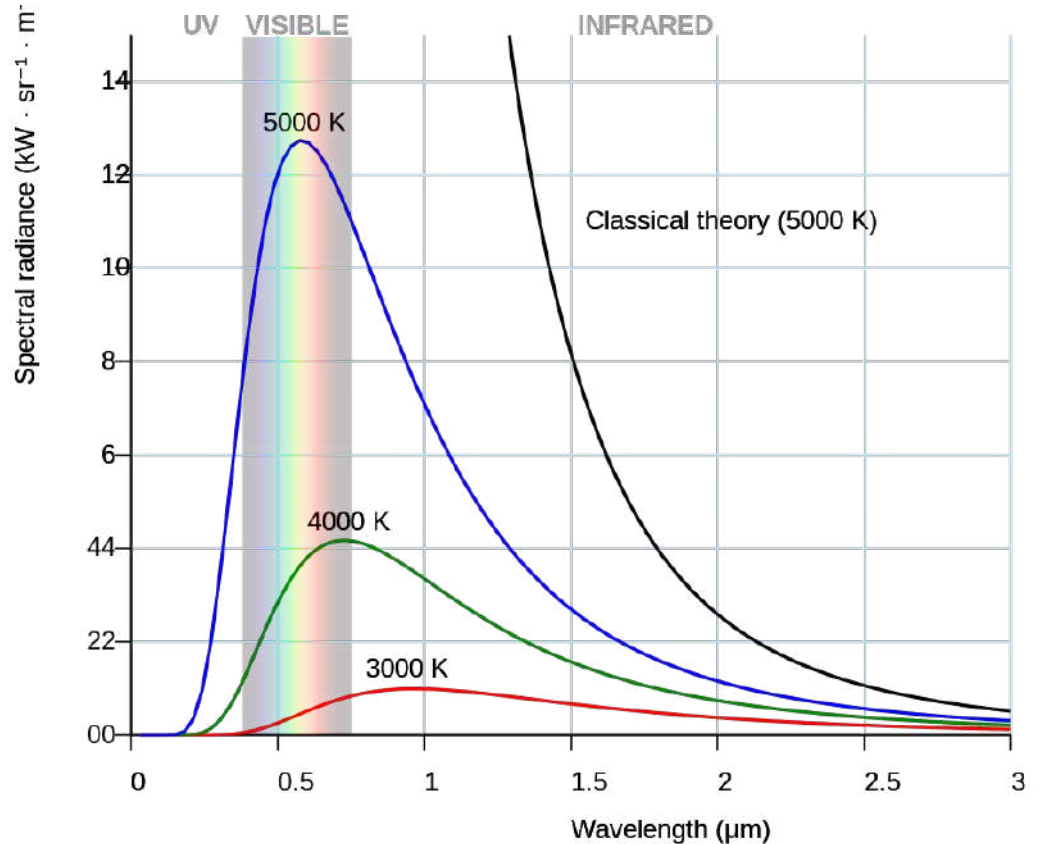


Rayonnement micro-onde

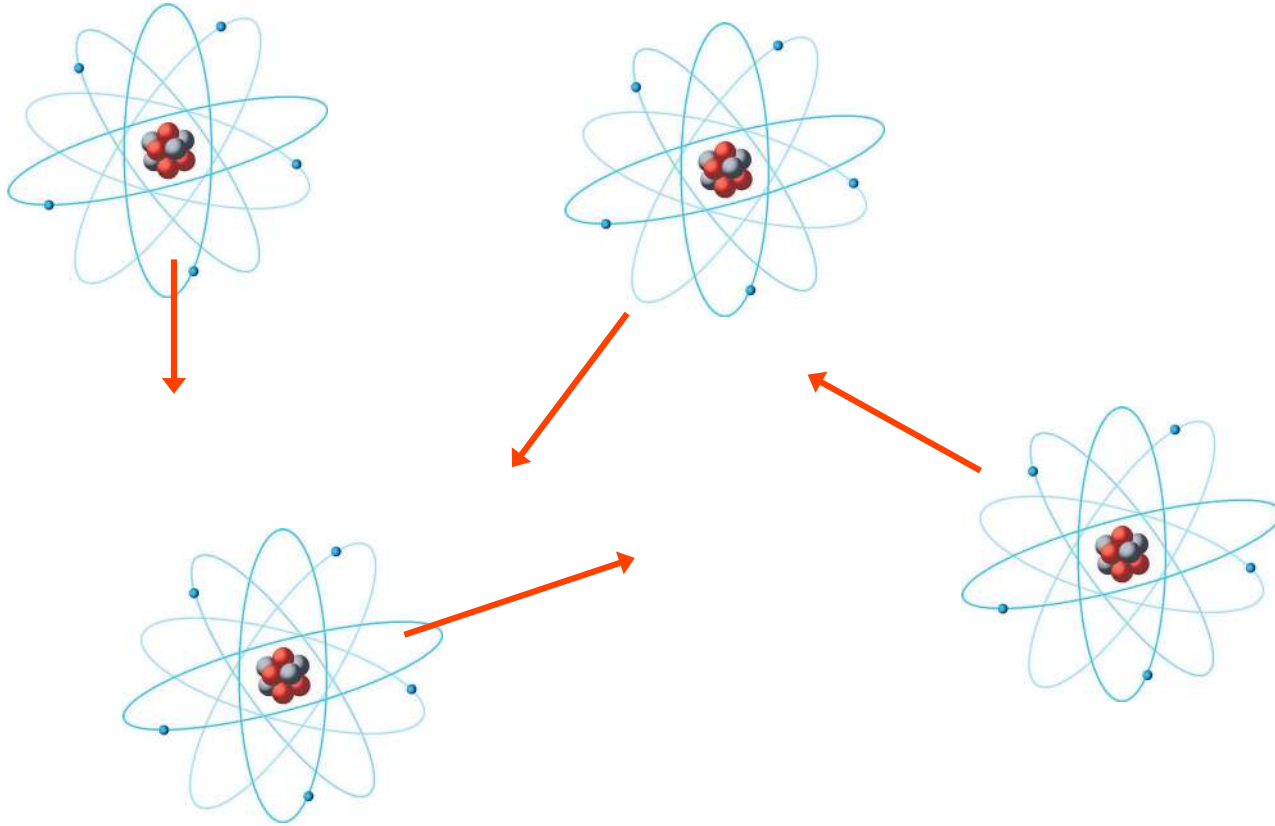


Corps noir

- Tout corps émet de la lumière par sa propre température
- Loi de Planck
- $P \sim A T^4$
- $\lambda \cdot T = \text{constante}$

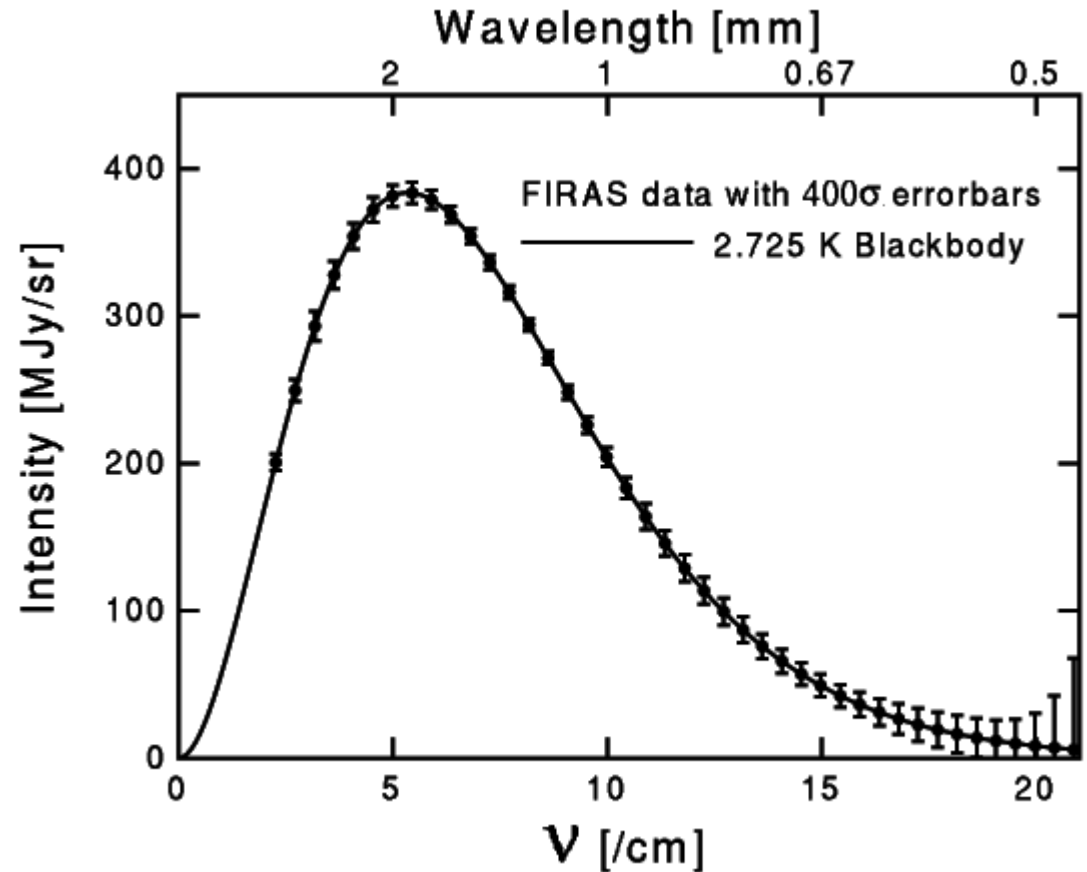


Origine physique du corps noir

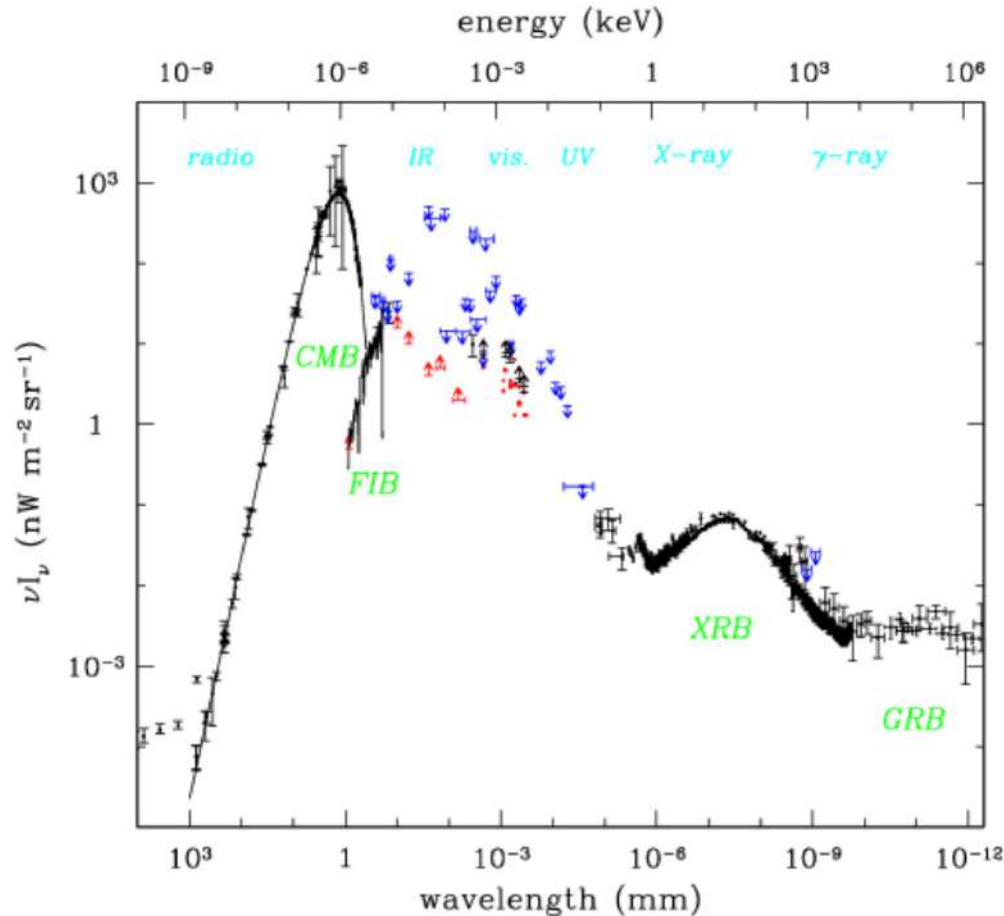


Spectre COBE du CMB

- Mesure du spectre du CMB par FIRAS/COBE
- Corps noir parfait
- $T = 2.726 \pm 0.01$ K
- Prix Nobel de Physique 2006 Mather & Smoot



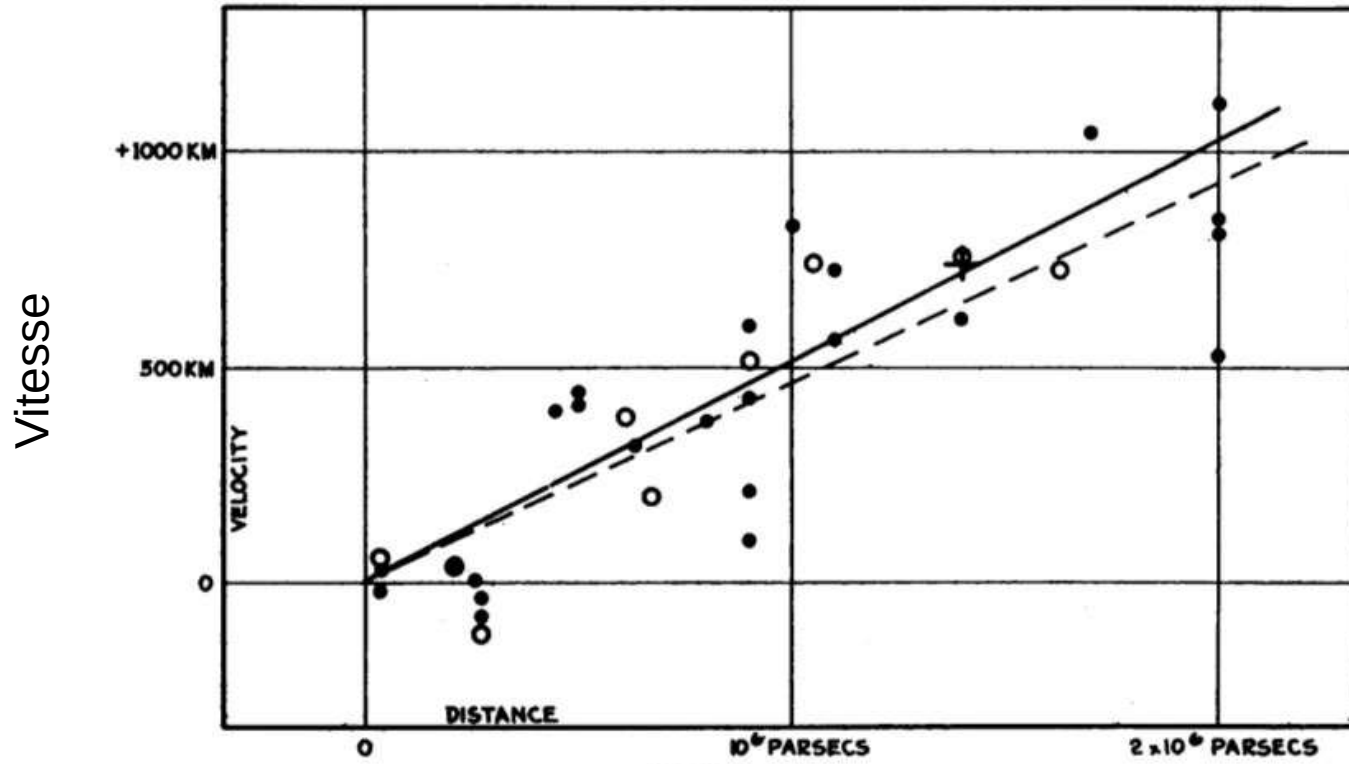
Fonds diffus



La grande majorité de tous les photons de l'Univers proviennent du CMB

Origine du CMB

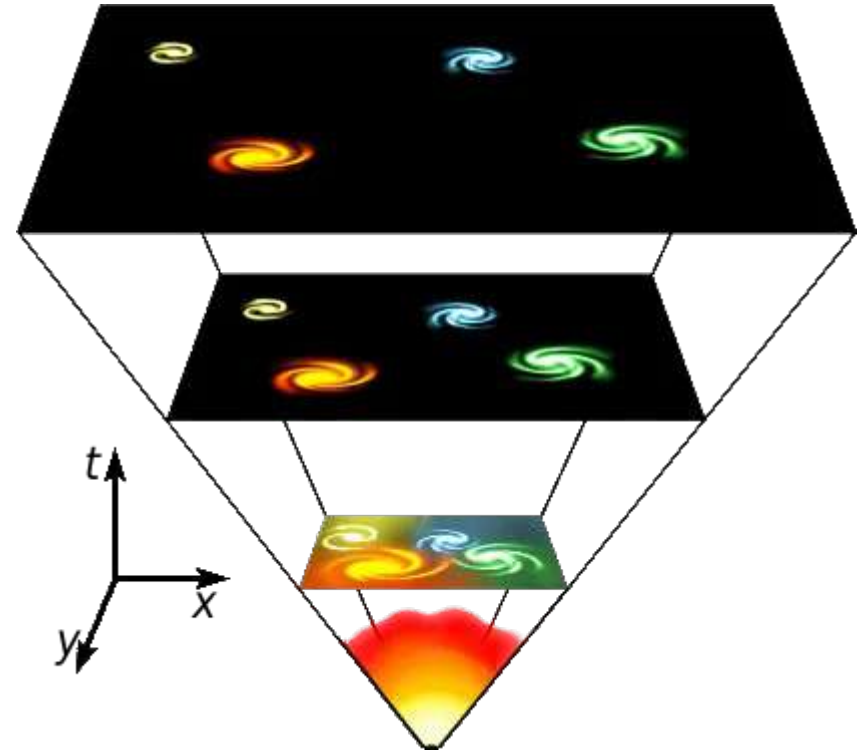
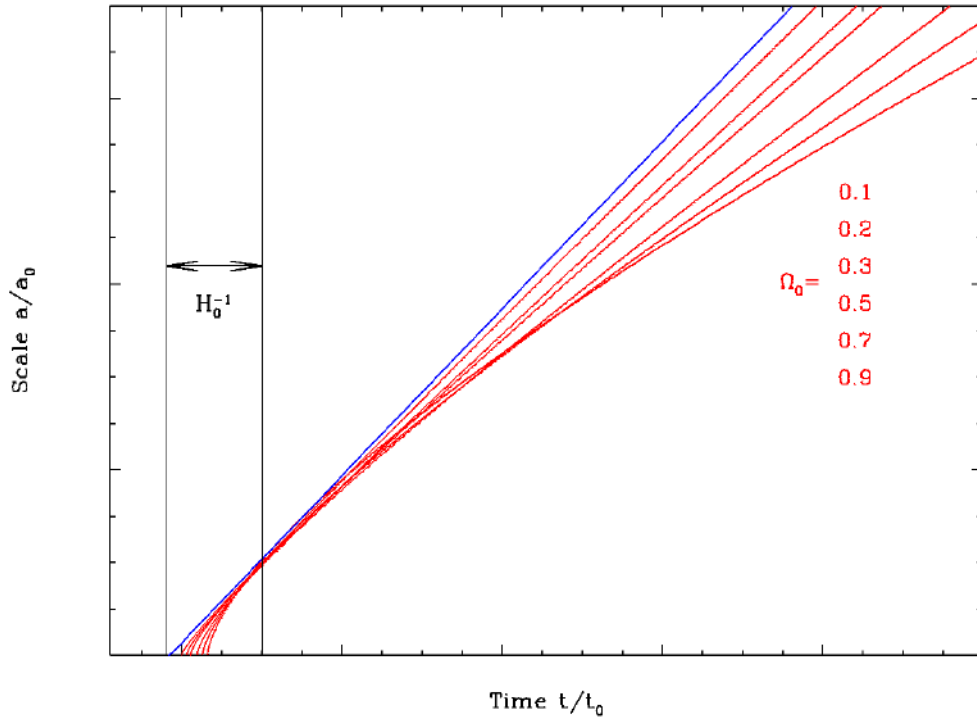
Le big bang



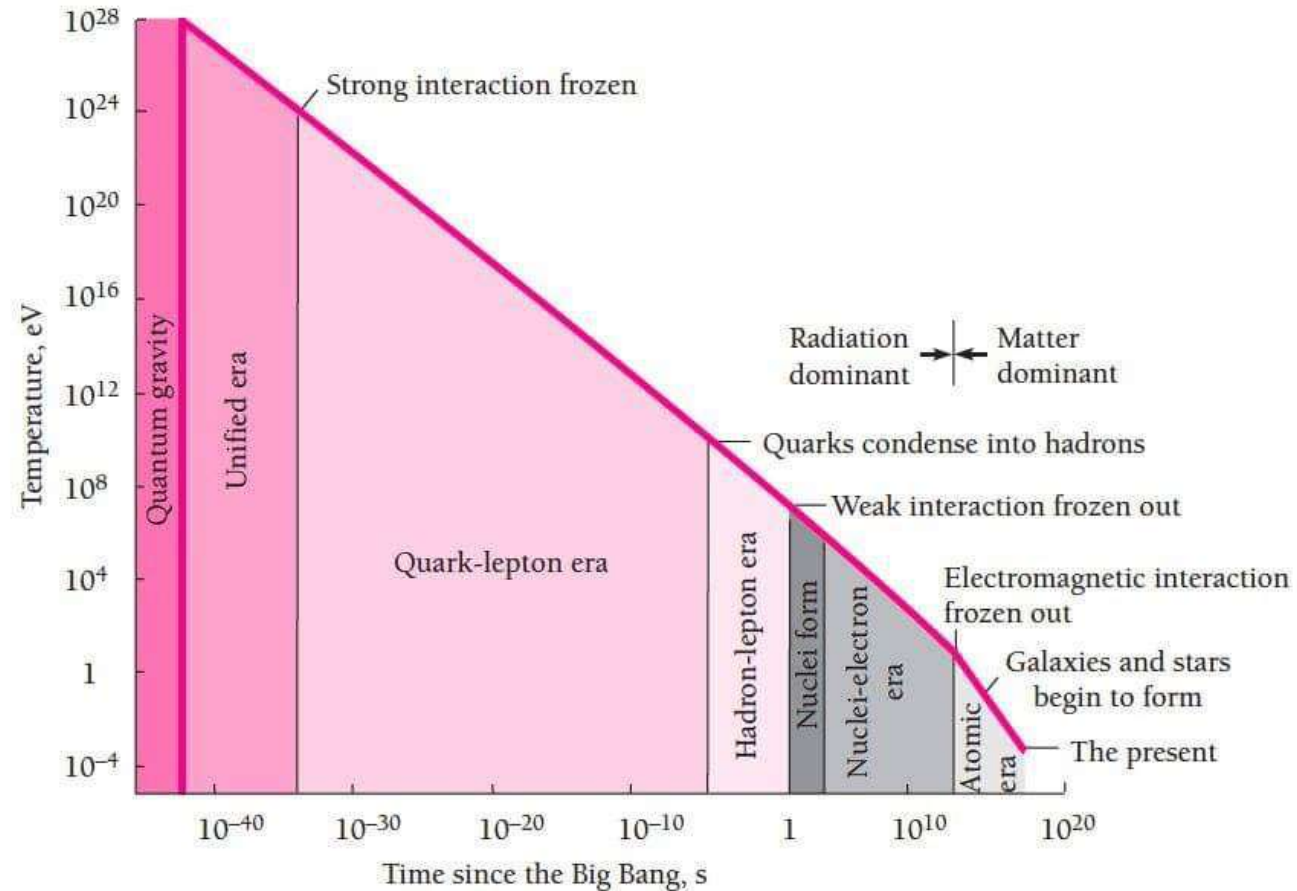
Distance

Hubble 1929

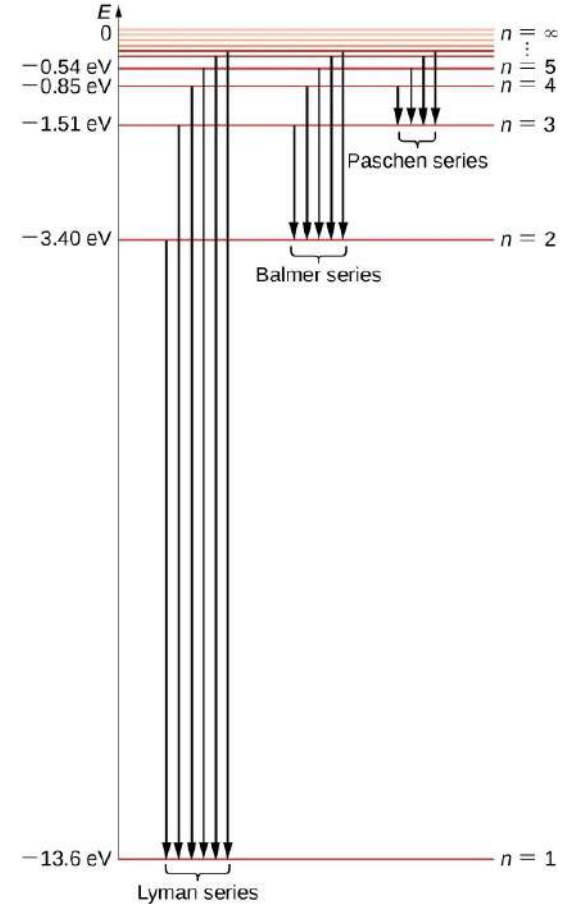
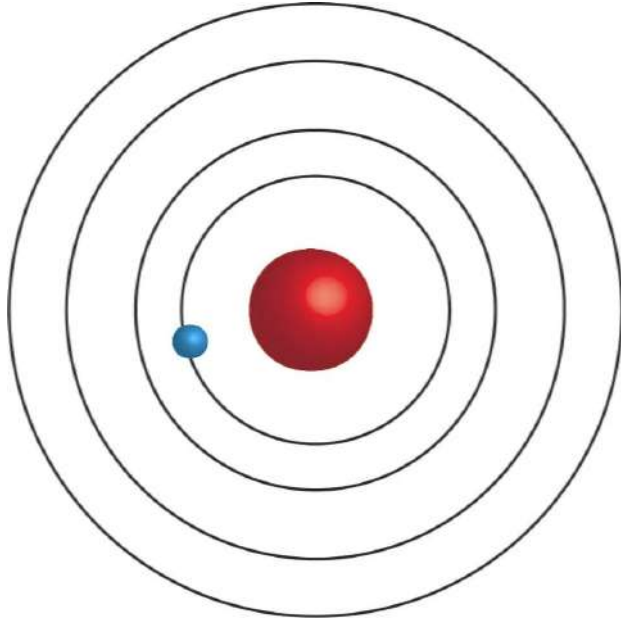
Le big bang



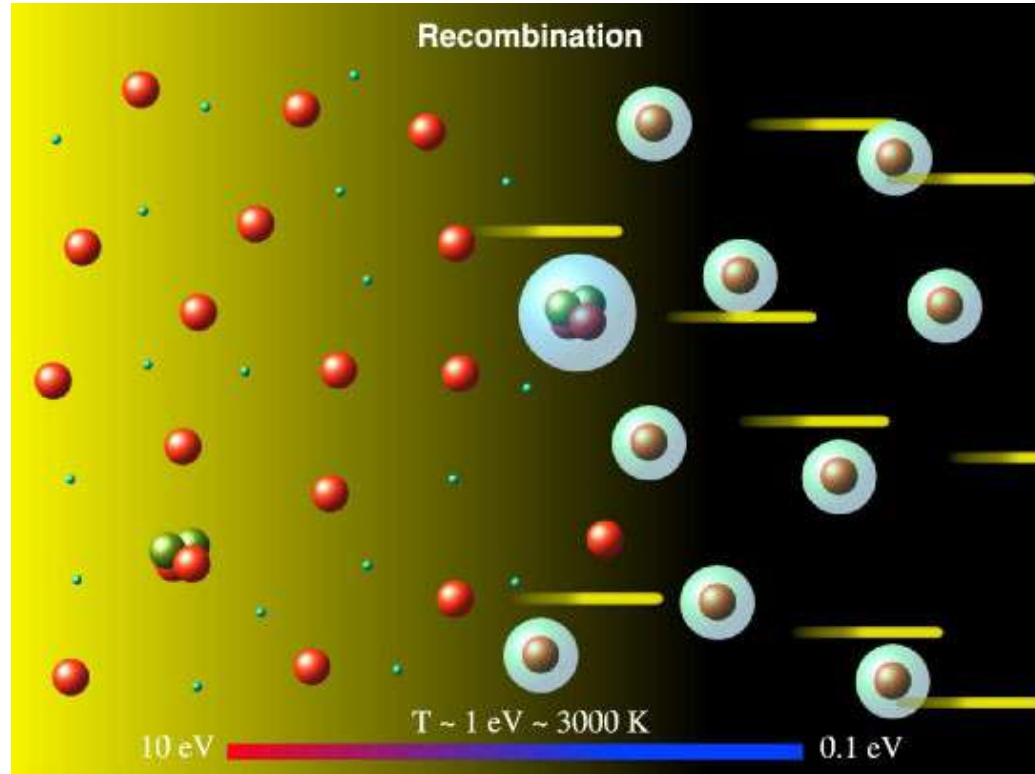
Histoire thermique du big bang



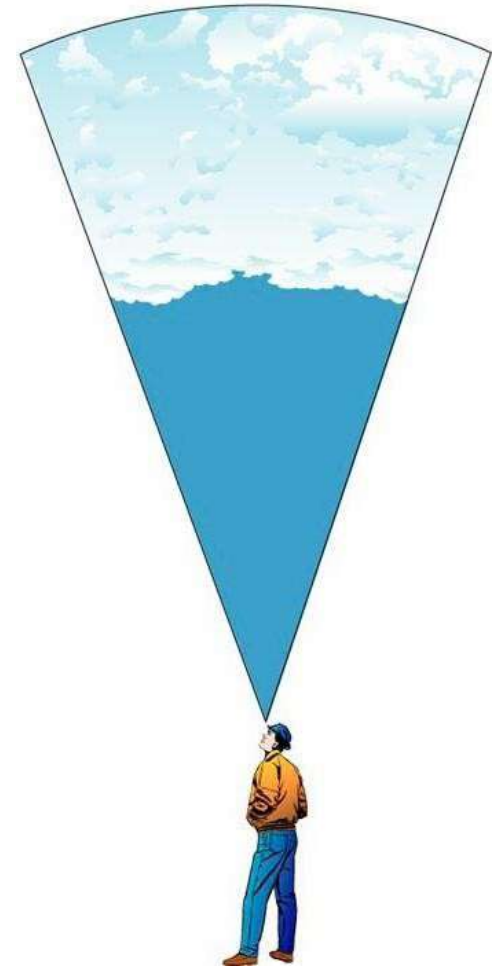
L'atome d'hydrogène



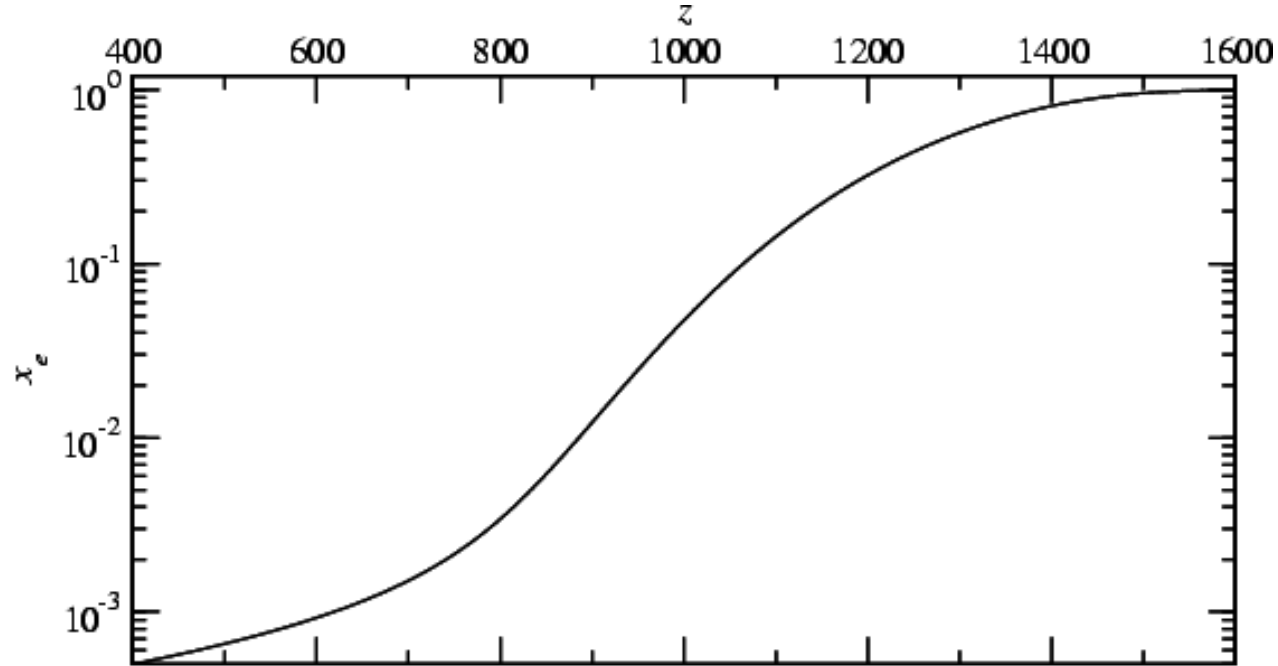
Recombinaison



Naissance des atomes
Température $\sim 3000 \text{ K}$



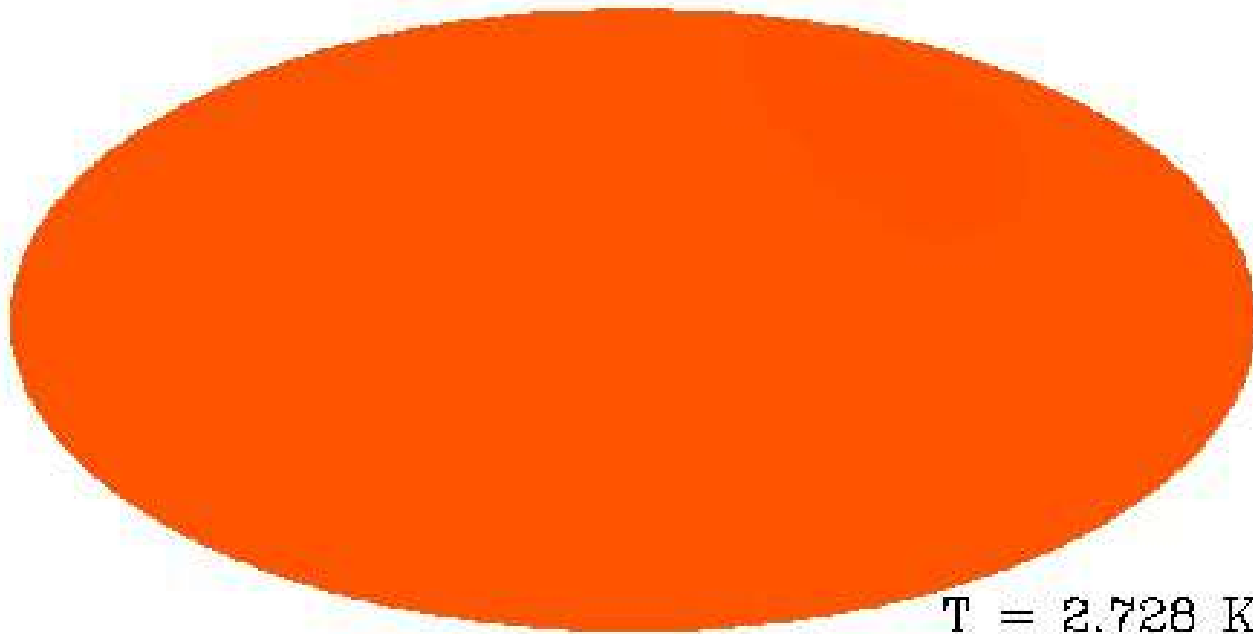
Fraction d'hydrogène ionisé



$z = 1090$; l'Univers a $\sim 370'000$ ans

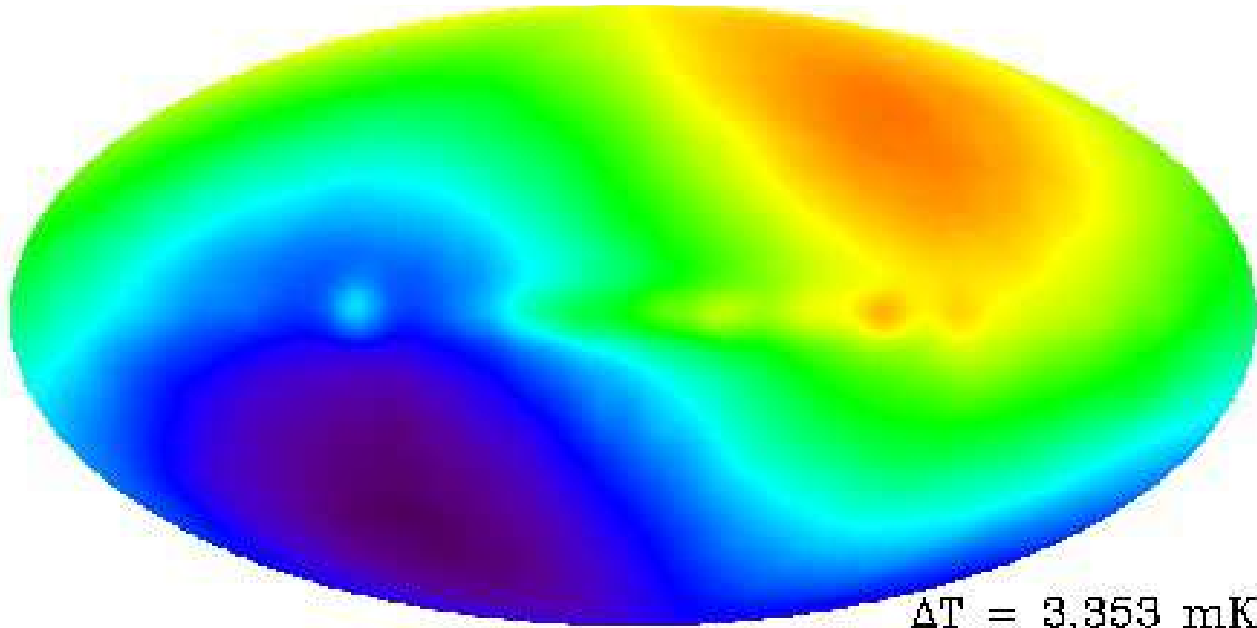
Structures du CMB

Carte du CMB



NASA/COBE

Carte du CMB

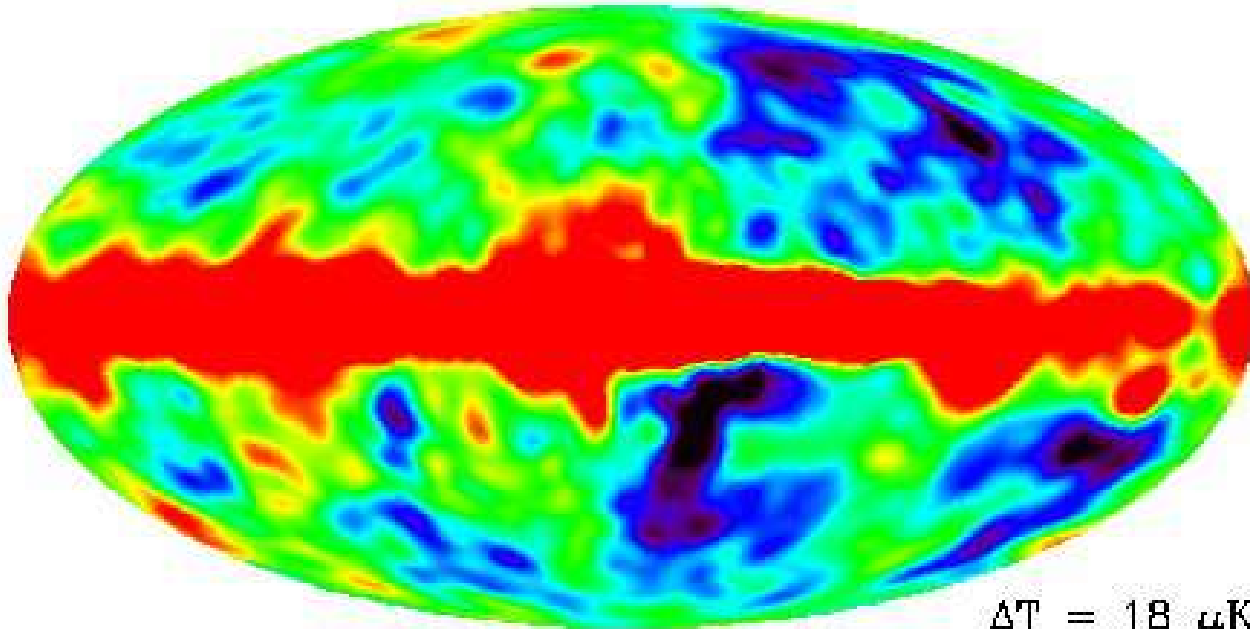


x 0.001



NASA/COBE

Carte du CMB

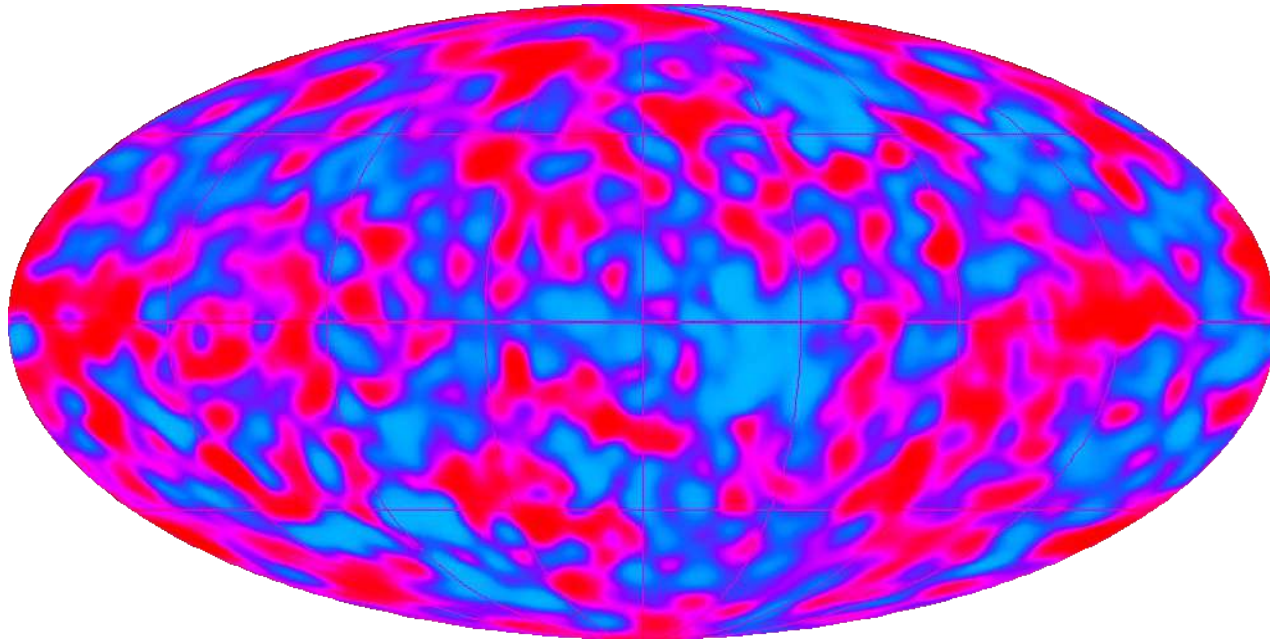


x 0.00 001



NASA/COBE

Inhomogénéités du CMB

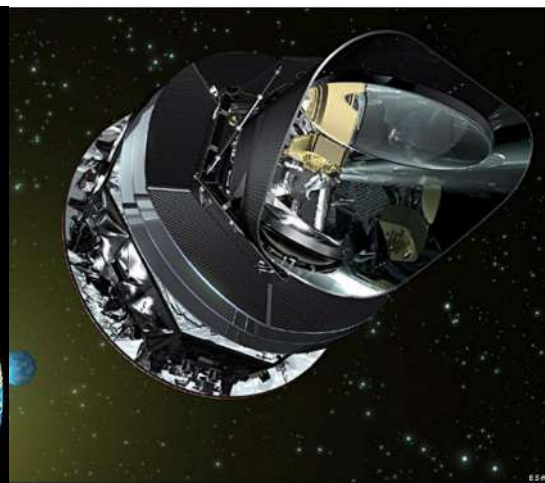
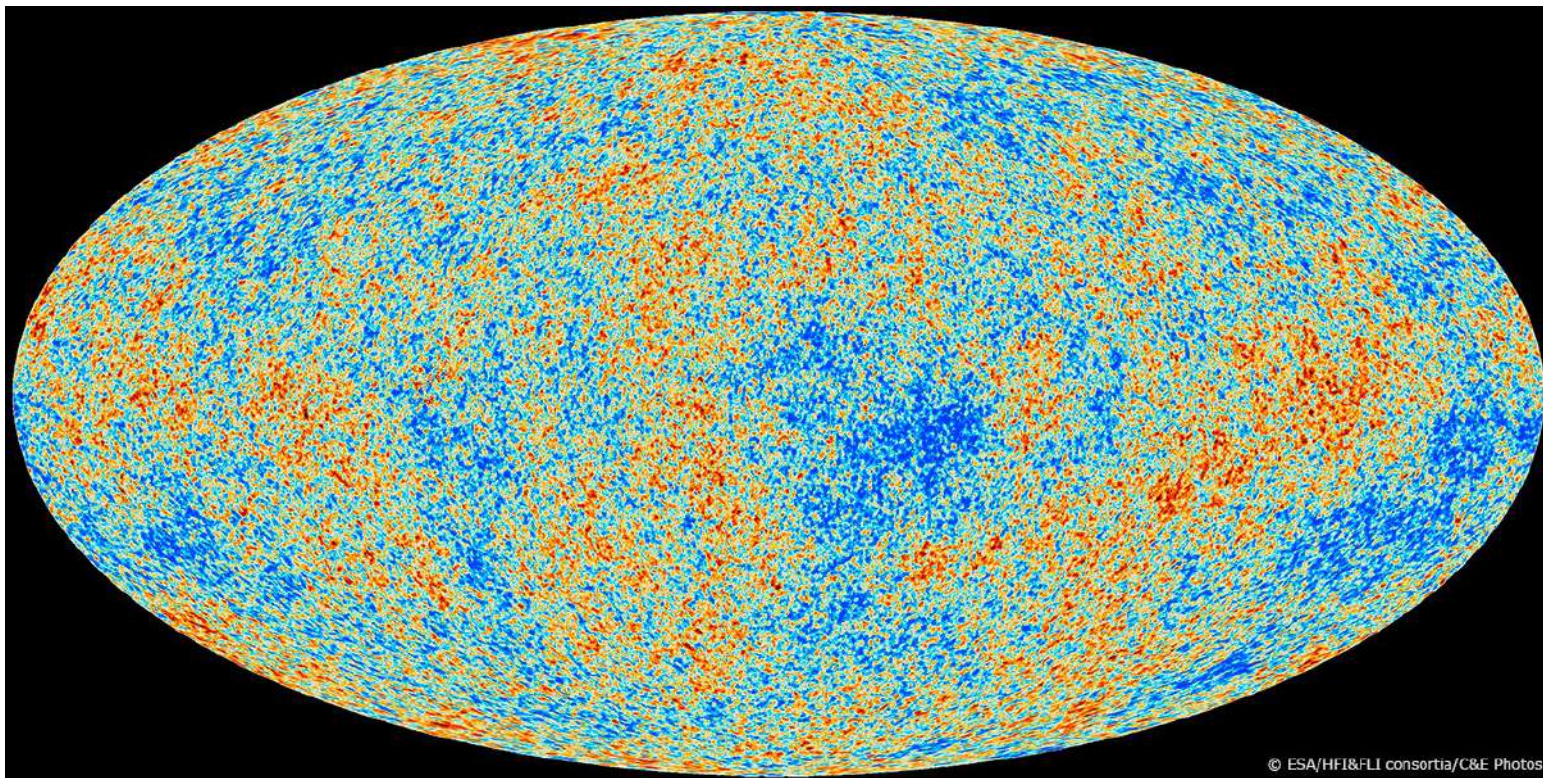


x 0.00 001



NASA/COBE

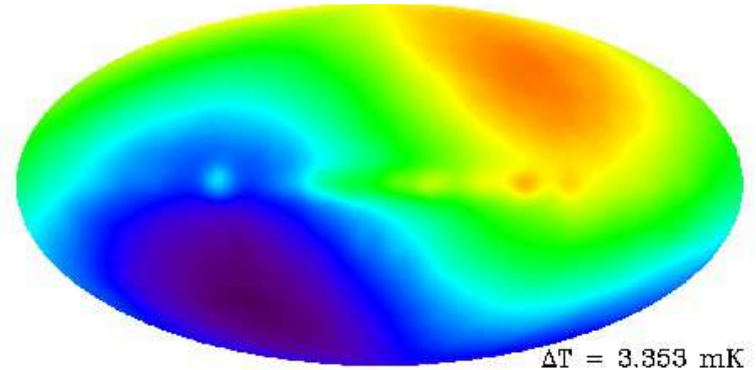
Planck



Origine des structures du CMB

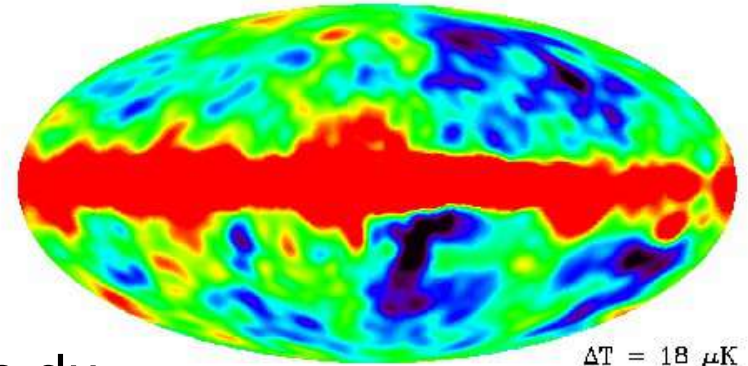
Dipôle

- Mouvement du Soleil
- Effet Doppler → augmentation de la température apparente
- Mouvement par rapport à un référentiel fondamental de l'Univers
- Vitesse de 370 km s^{-1} en direction de Crater/Leo

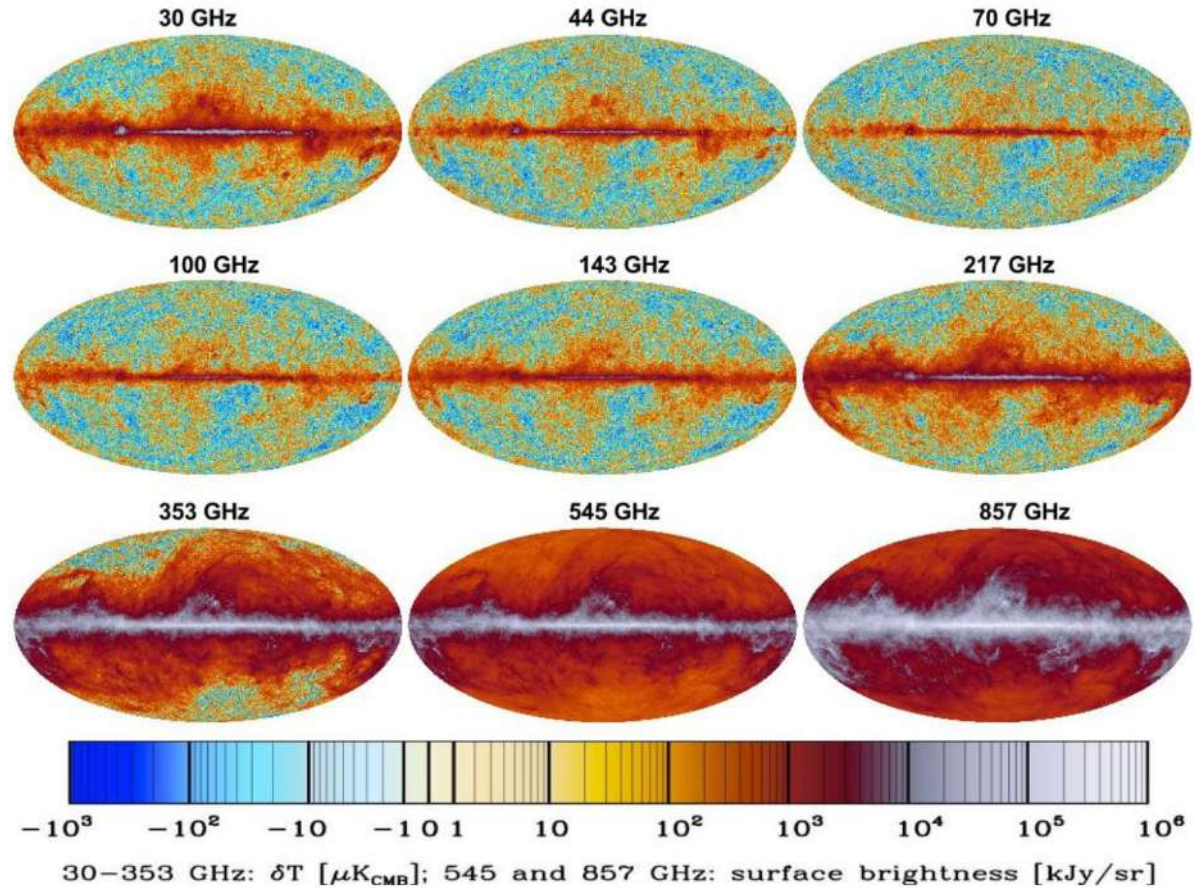


Galaxie

- Poussière froide dans la galaxie
 - Beaucoup plus chaude que le CMB
20 – 100 K
- Bruit d'avant plan (\neq bruit de fonds)
- Nécessite de séparer l'émission thermique du CMB et des poussières



Le ciel vu par Planck



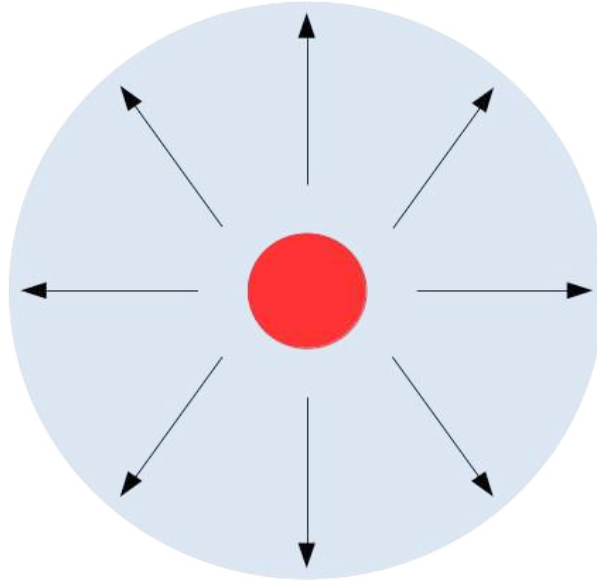
Vitesse du son

- Avant la recombinaison, l'Univers est rempli de photons et d'électrons, qui interagissent fortement entre eux
 - Pression
 - Donc, ondes de pression (son) et vitesse du son
- On peut montrer que la vitesse du son vaut:

$$c_s^2 = \frac{1}{3 \left(1 + \frac{3\rho_B}{4\rho_R} \right)} c^2$$

- $C_s < \sqrt{3}^{-1} c \approx 0.56 c$, dépend de la cosmologie

Taille des fluctuations

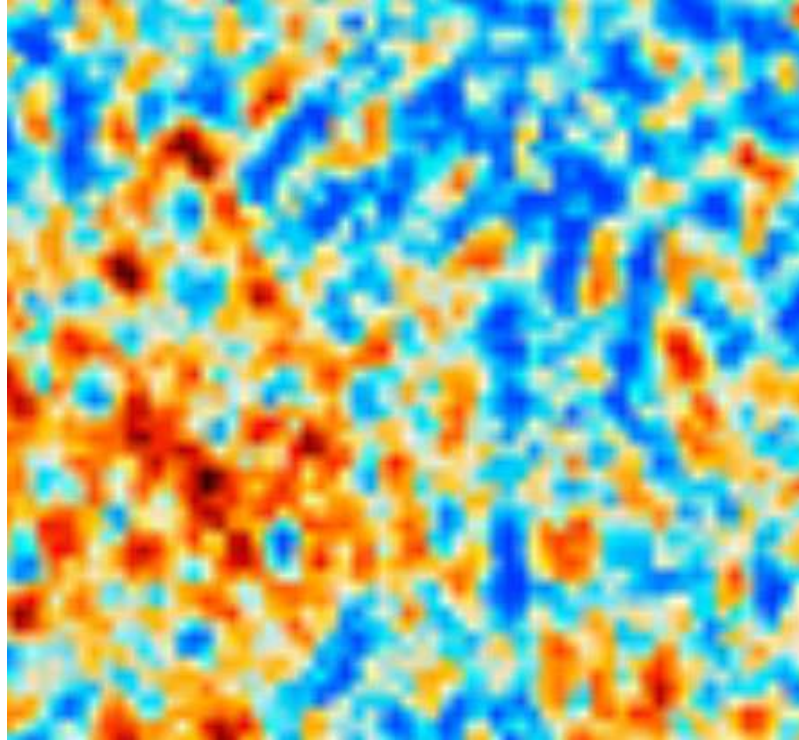


Horizon sonore : Taille de la zone **causalement reliée de la surdensité**

Taille correspond à une **compression**

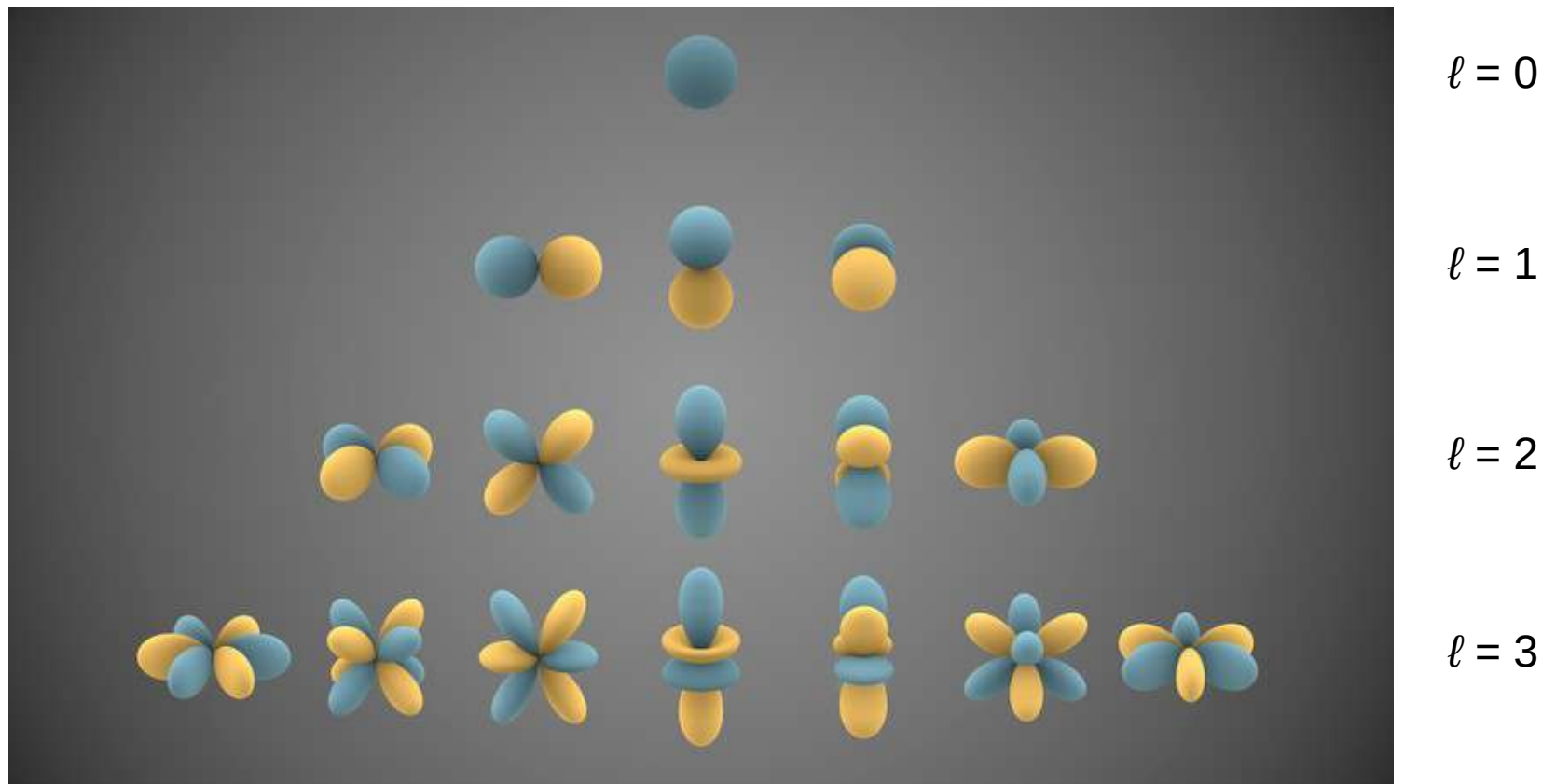
Ordre de grandeur: En 370'000 ans, la distance parcourue par le son est 56 Mpc

Mesure de la taille des fluctuations



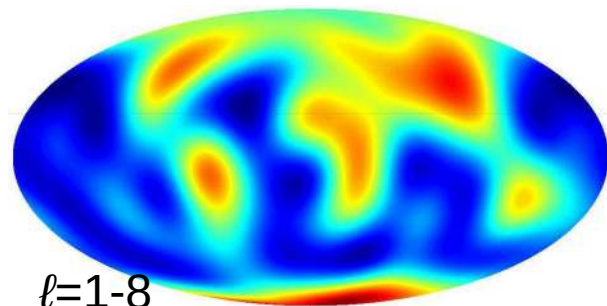
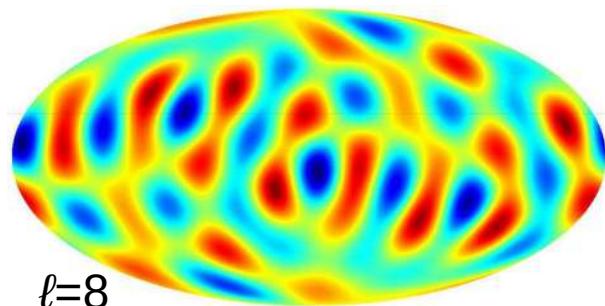
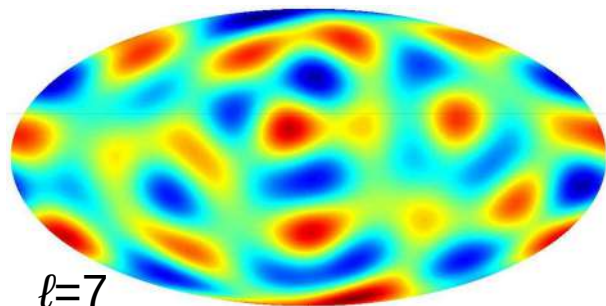
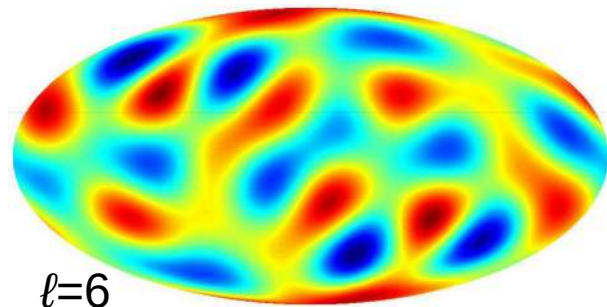
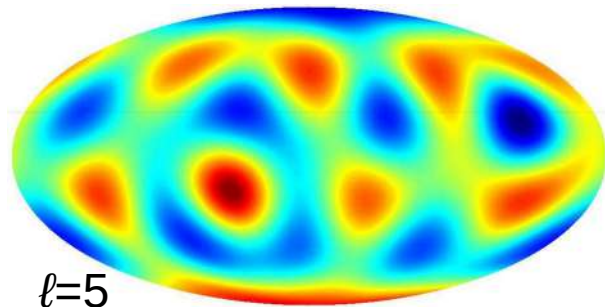
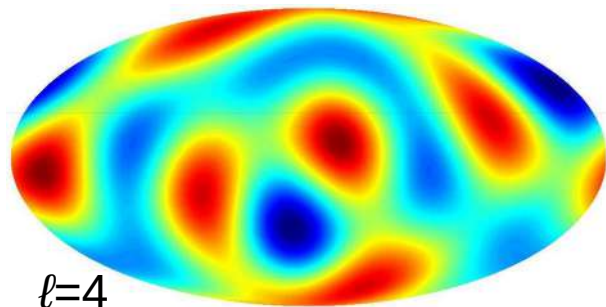
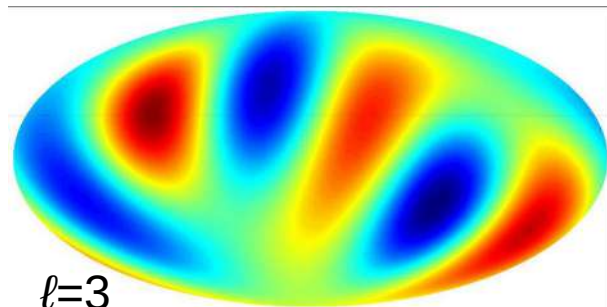
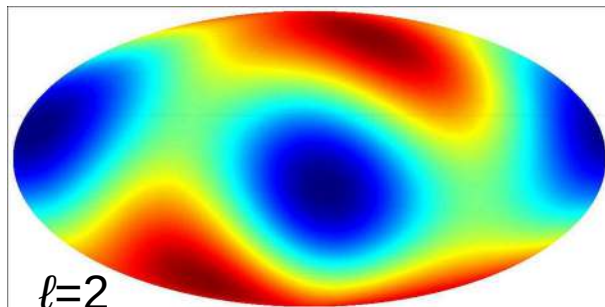
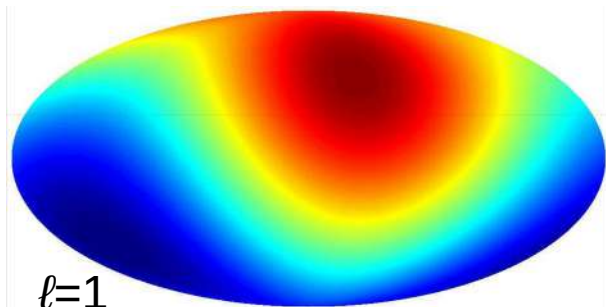
La taille des fluctuations contient l'histoire de ρ_M et de ρ_R

Harmoniques sphériques

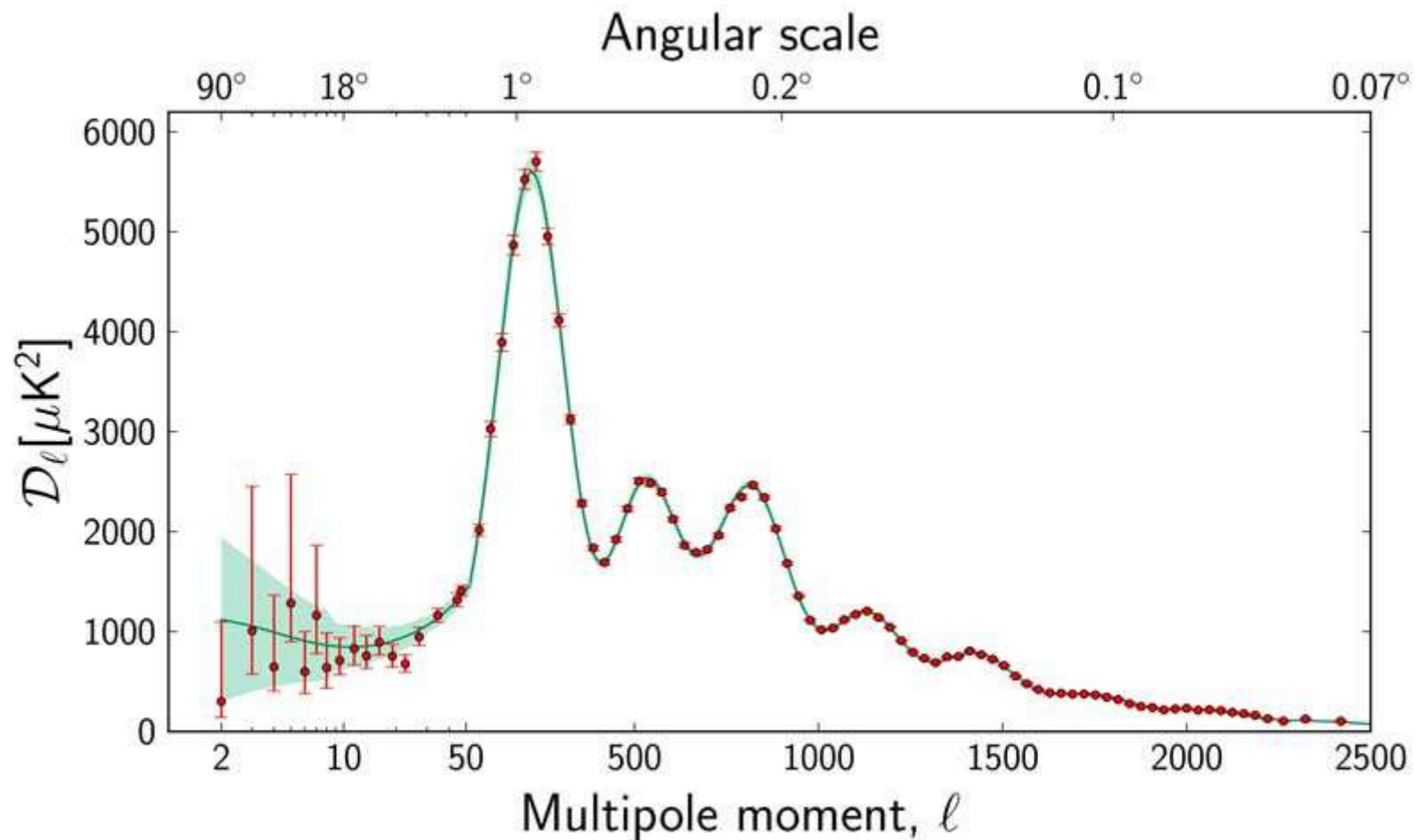


Décomposition de l'image du ciel en une somme de formes de base

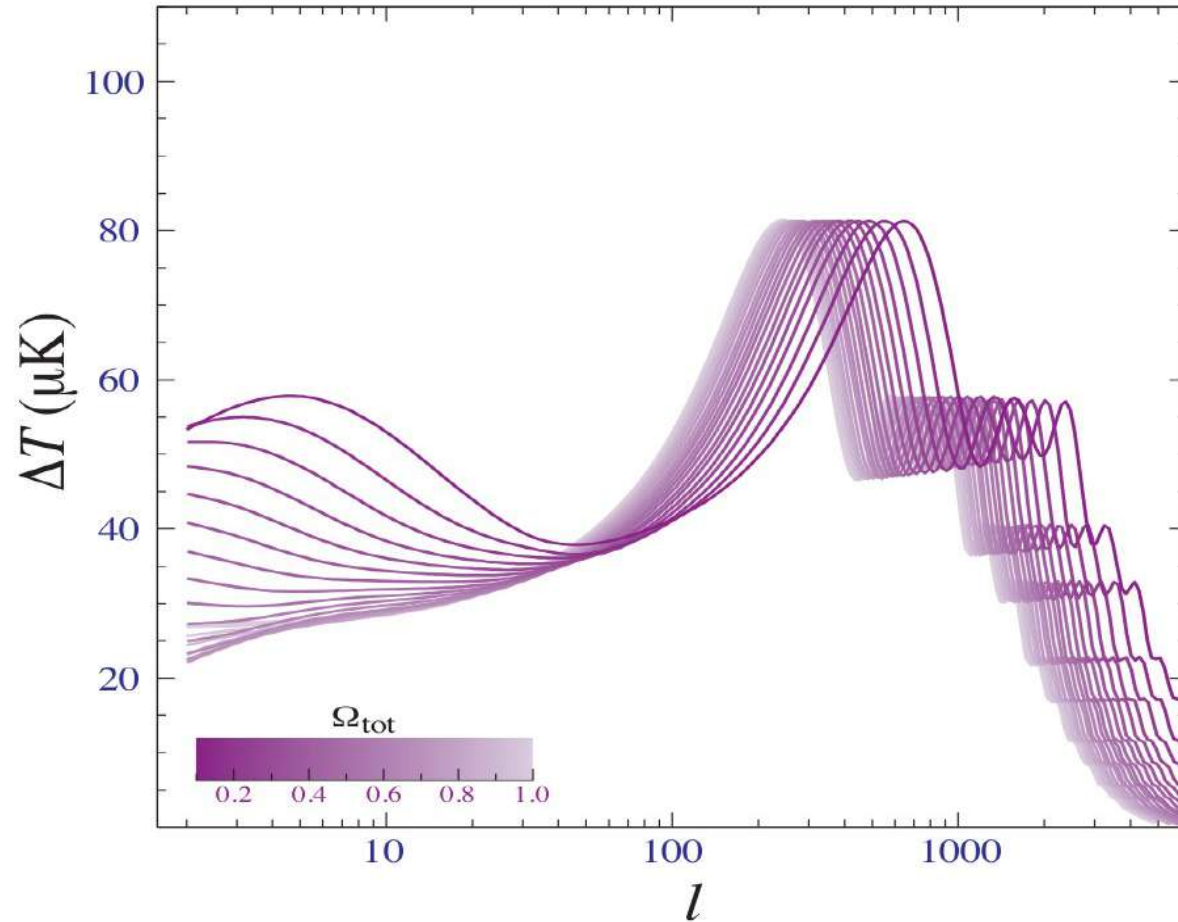
Harmoniques sphériques



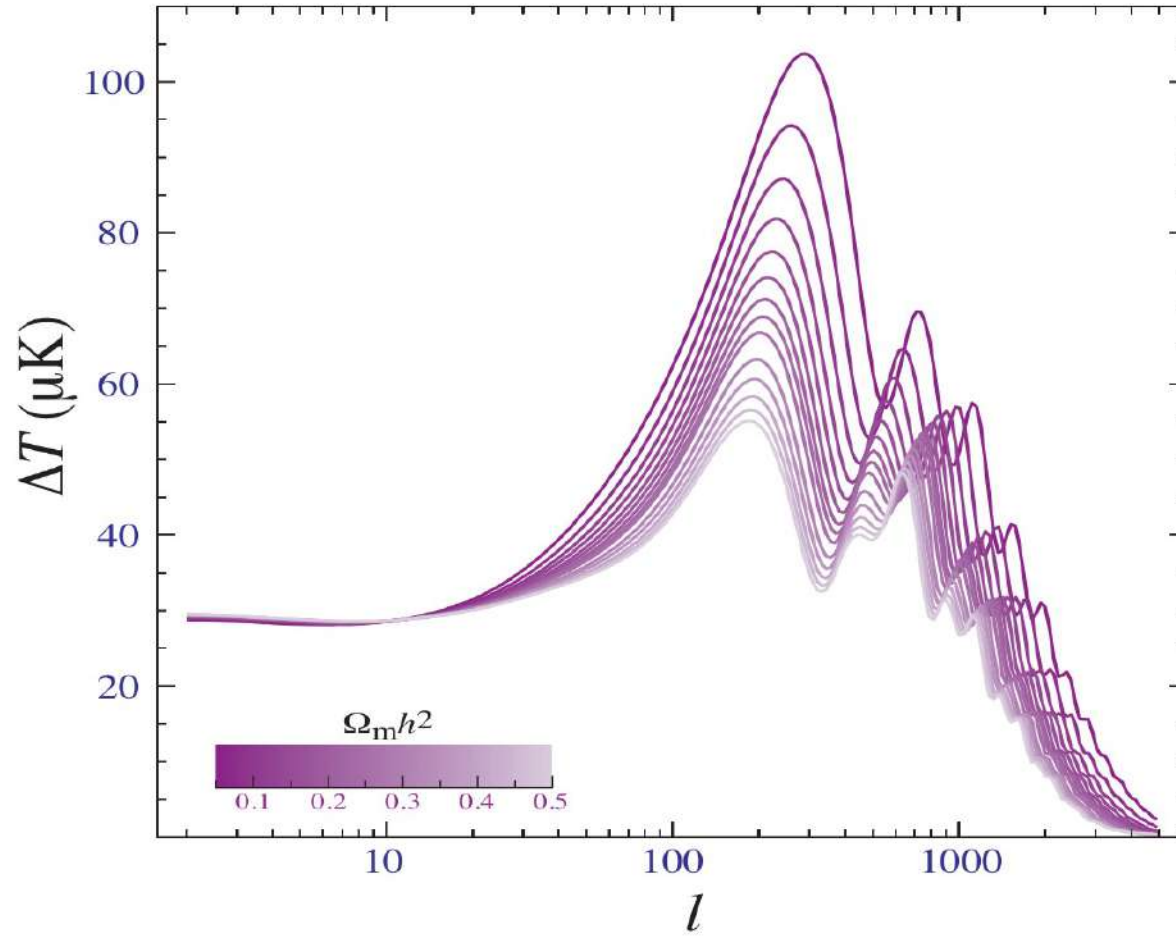
Spectre de puissance du CMB



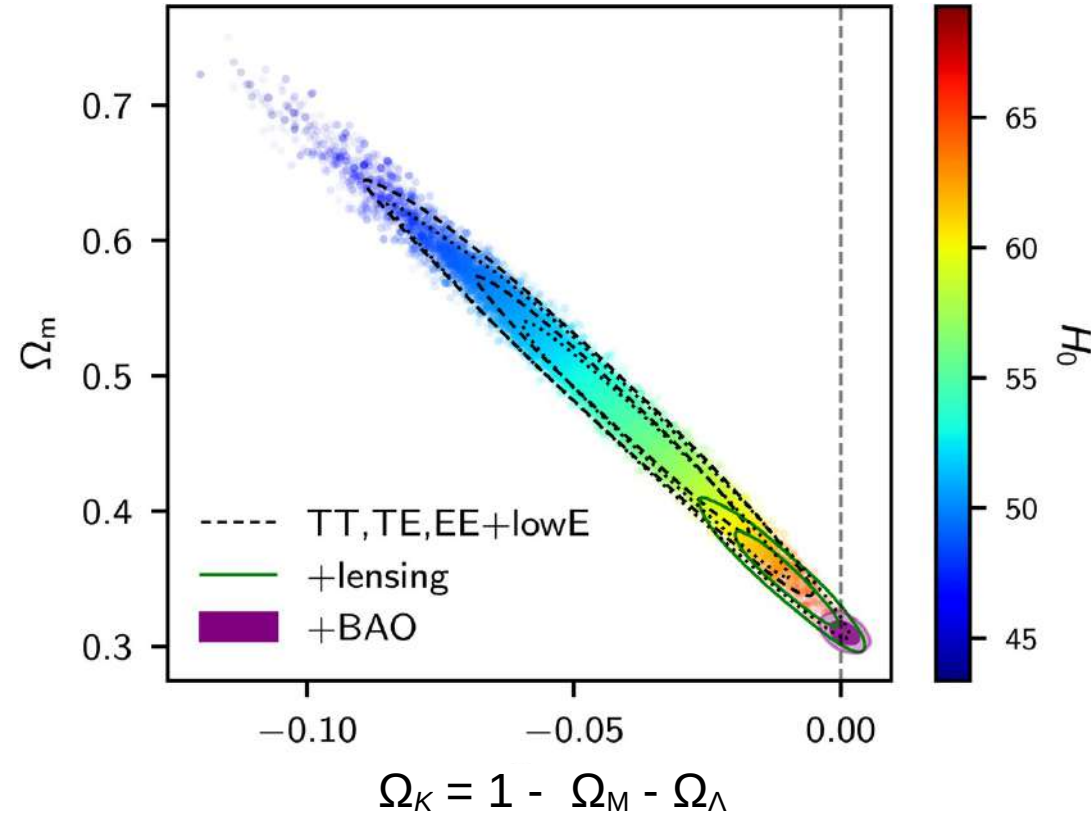
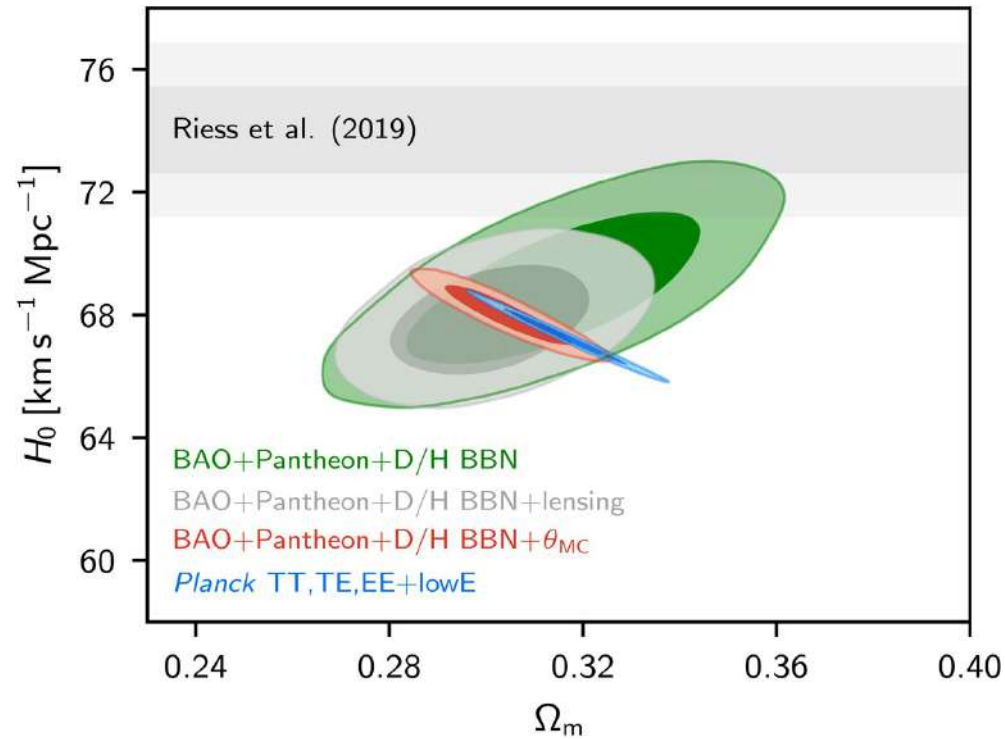
Effet de Ω_T



Effet de Ω_M



La cosmologie de Planck



$H_0 = 67.7 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$

$\Omega_M = 0.31$

$\Omega_\Lambda = 0.69$

$\Omega_K = 0$