

Cosmologie Moderne

Cours 10



J.-Ch. Hamilton, APC
hamilton@apc.univ-paris7.fr



Petite Histoire de l'Univers

temps



dernière diffusion — 380 000 ans

égalité matière — 10 000 ans
rayonnement

nucléosynthèse
primordiale — 3 mn

disparition
anti-hadrons — 10^{-4} sec

confinement
quarks — 10^{-6} sec

fin inflation — 10^{-33} sec
début ère
rayonnement

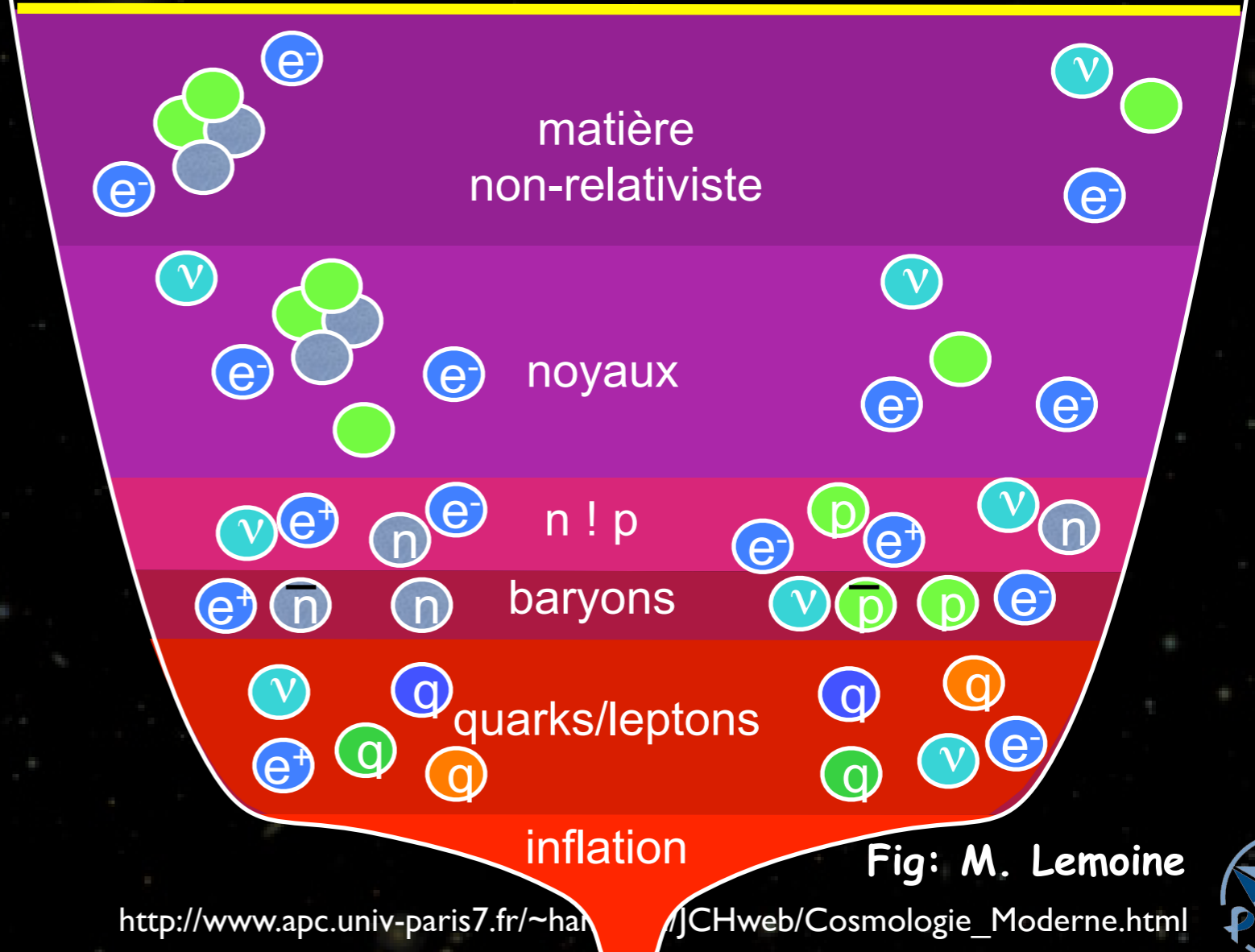
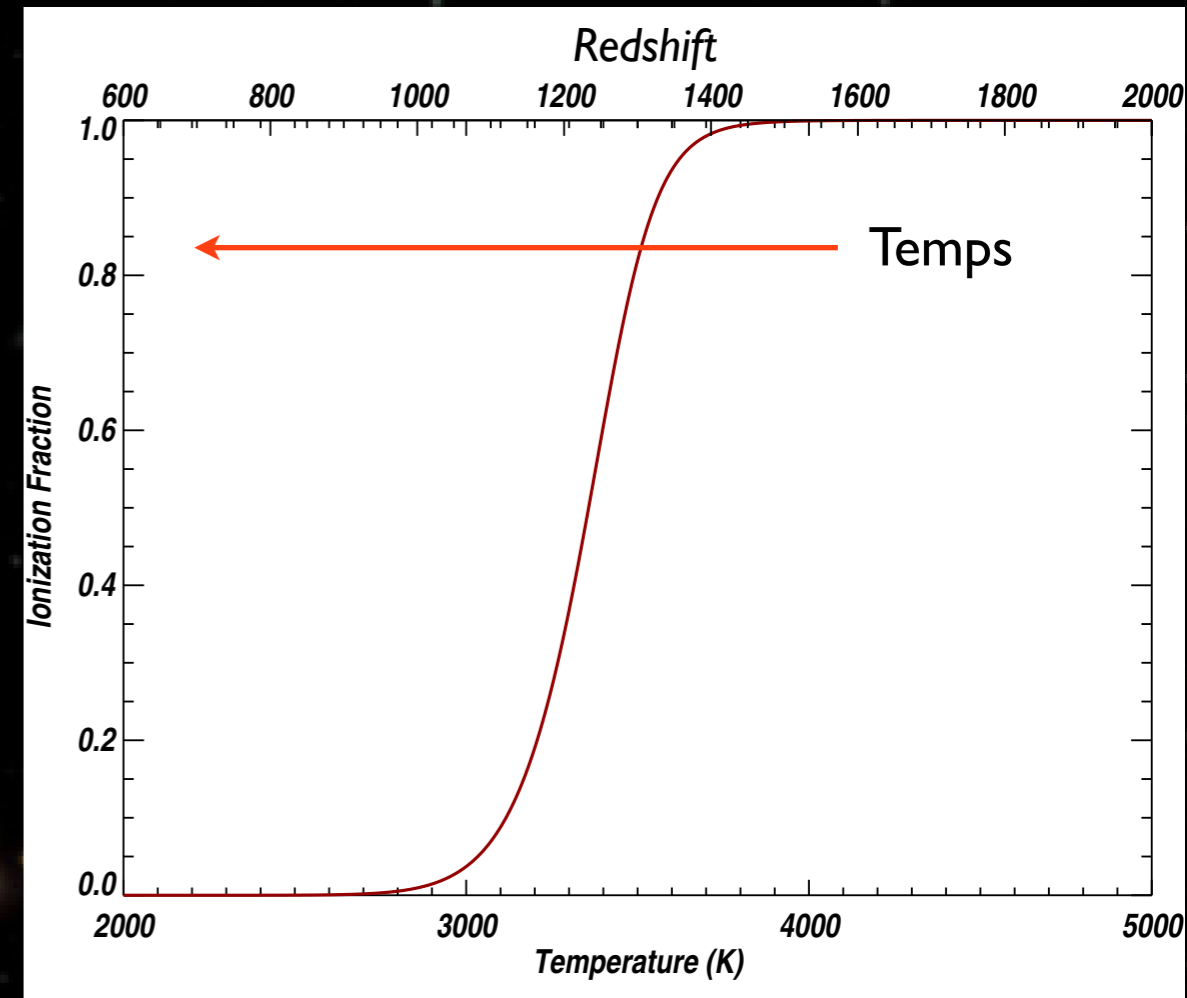


Fig: M. Lemoine



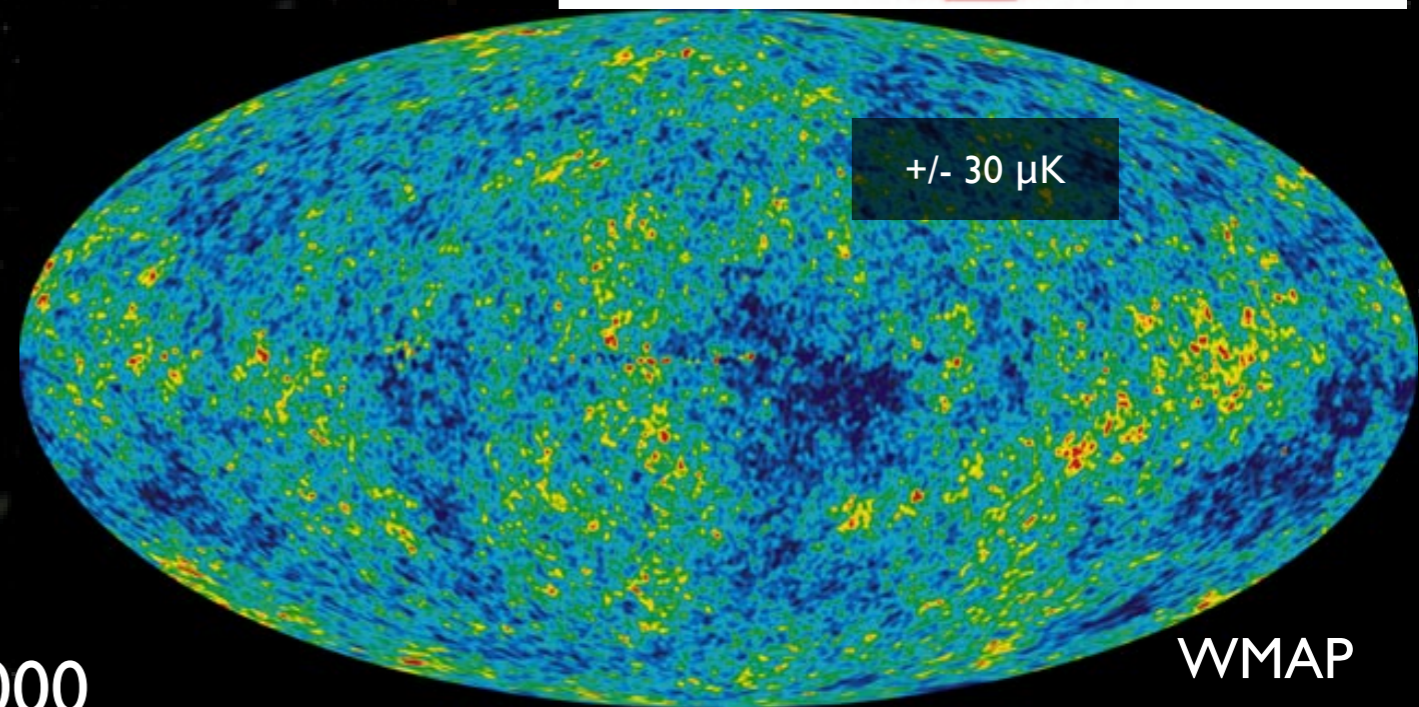
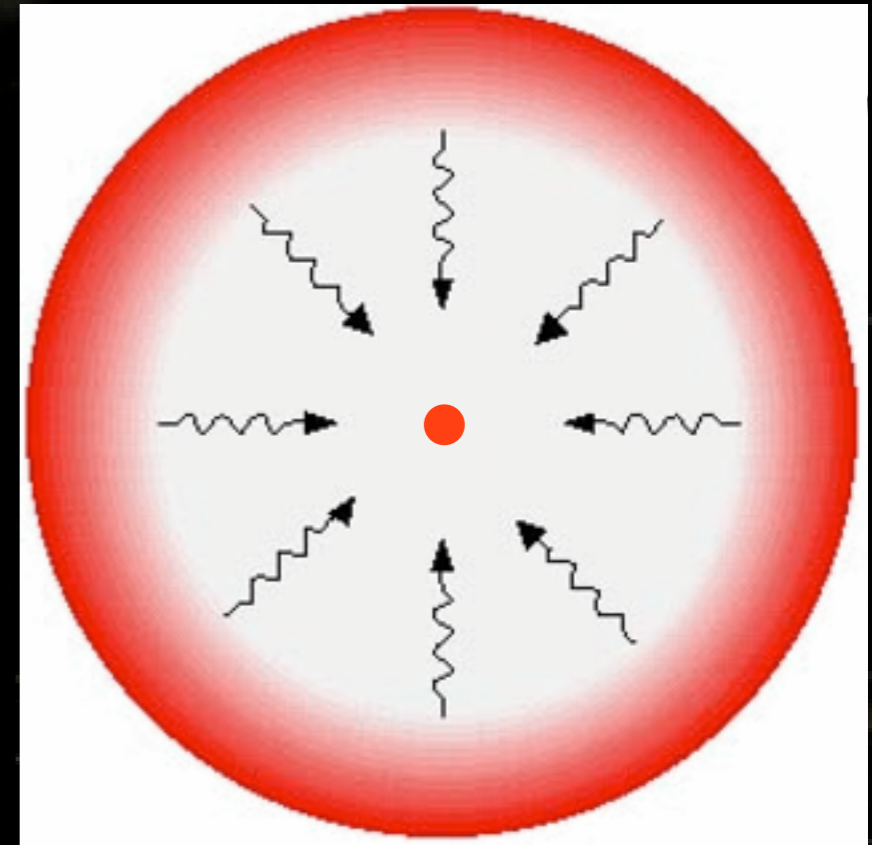
Découplage Matière-rayonnement

- Noyaux, électrons et photons
 - ★ Interactions continues
 - ★ Équilibre thermodynamique
 - ★ Libre parcours moyen des photons court
 - ★ Univers opaque
- La température baisse
 - ★ $T < 13.6 \text{ eV} - 3000 \text{ K}$
 - ★ Électrons et noyaux forment des atomes
 - ★ Les photons n'interagissent plus
 - ★ Univers transparent
- Émission du fond diffus cosmologique
 - ★ 3000 K à $z=1000$
 - ★ 3 K aujourd'hui
 - ★ Rayonnement sur tout le ciel
 - ★ Photographie de l'Univers à $z=1000$
 - endroits plus denses = plus chauds
 - endroits moins denses = moins chauds



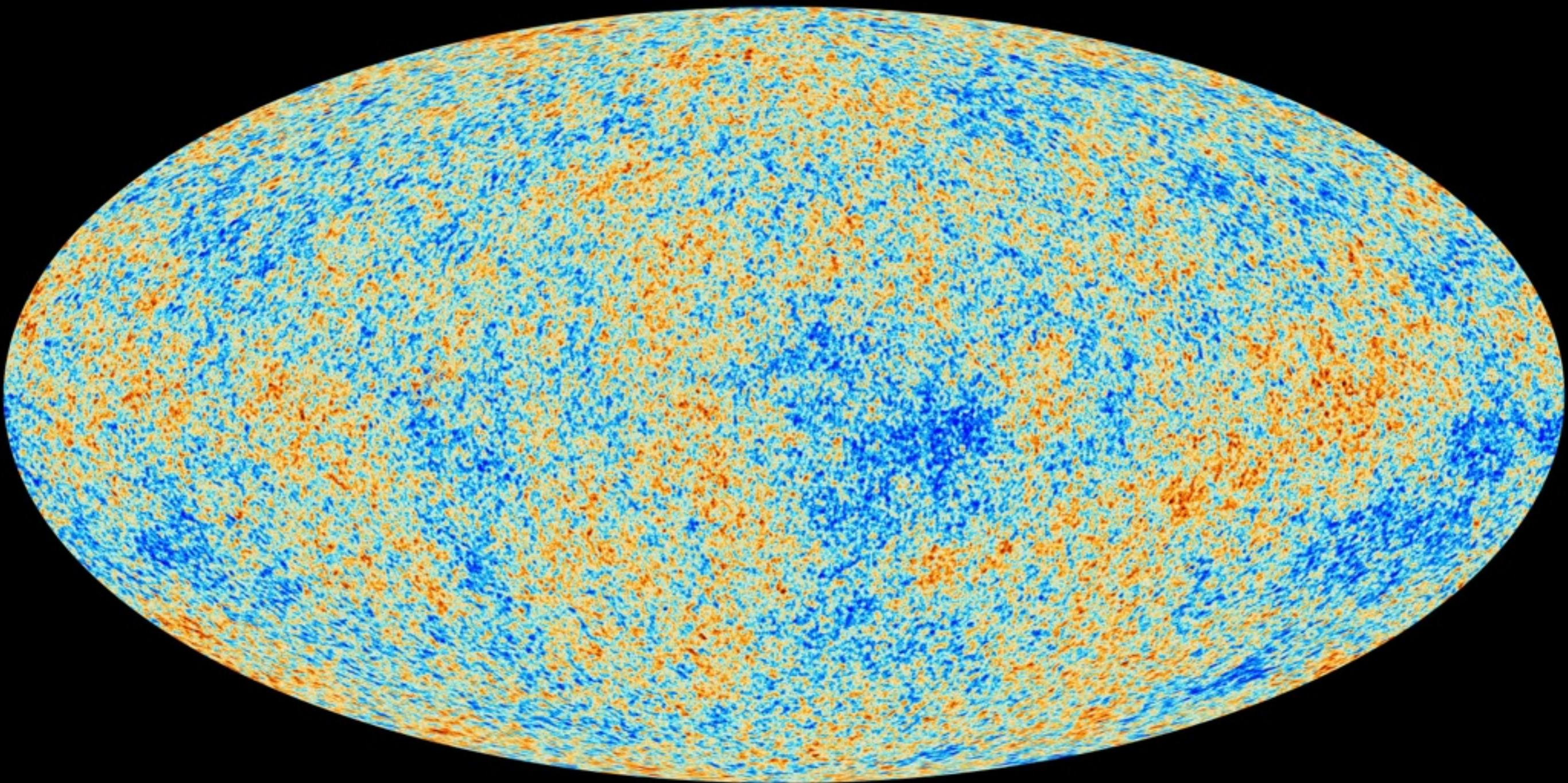
Découplage Matière-rayonnement

- **Noyaux, électrons et photons**
 - ★ Interactions continues
 - ★ Équilibre thermodynamique
 - ★ Libre parcours moyen des photons court
 - ★ Univers opaque
- **La température baisse**
 - ★ $T < 13.6 \text{ eV} - 3000 \text{ K}$
 - ★ Électrons et noyaux forment des atomes
 - ★ Les photons n'interagissent plus
 - ★ Univers transparent
- **Émission du fond diffus cosmologique**
 - ★ 3000 K à $z=1000$
 - ★ 3 K aujourd'hui
 - ★ Rayonnement sur tout le ciel
 - ★ Photographie de l'Univers à $z=1000$
 - endroits plus denses = plus chauds
 - endroits moins denses = moins chauds



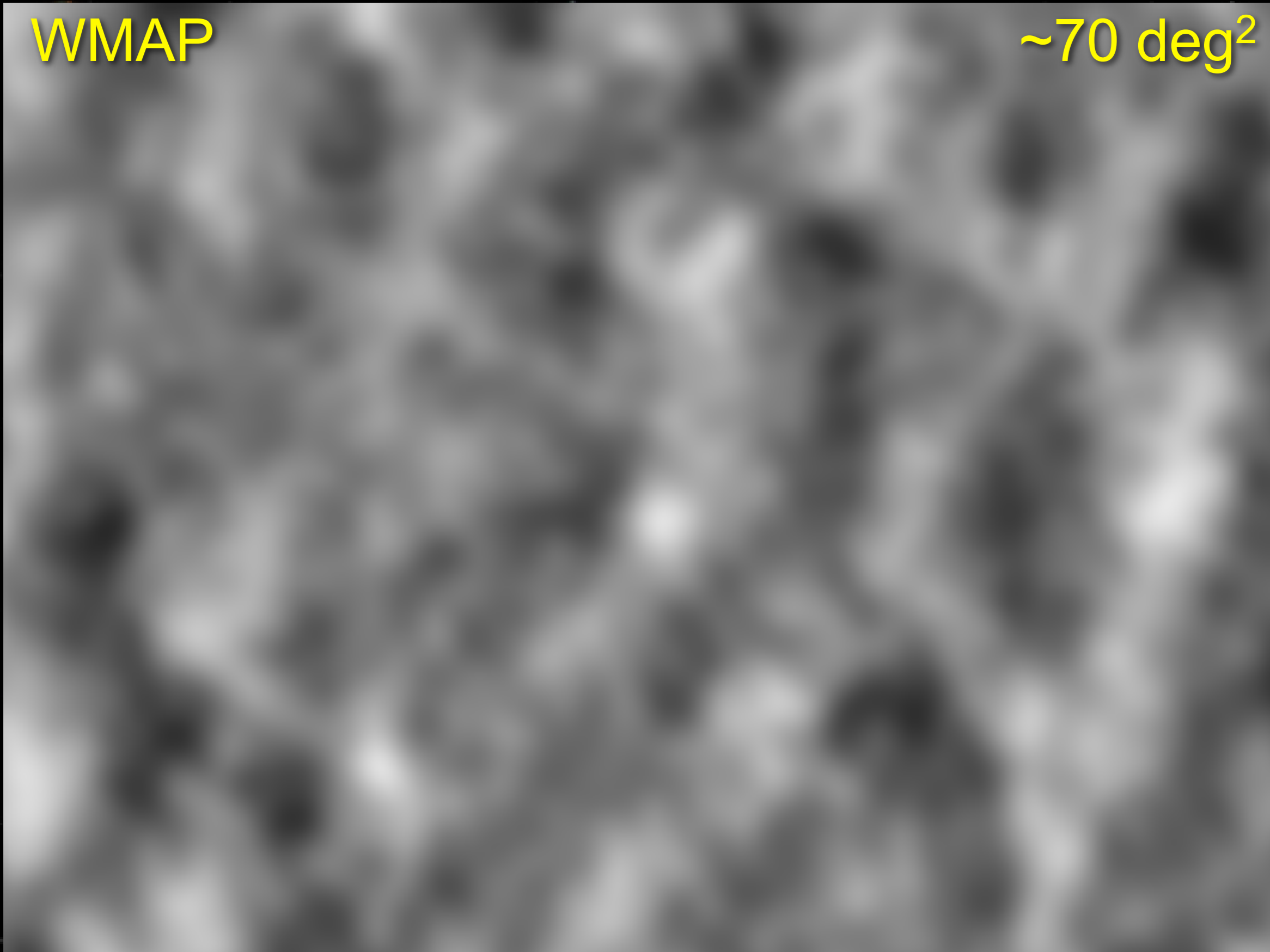


PLANCK



WMAP

$\sim 70 \text{ deg}^2$

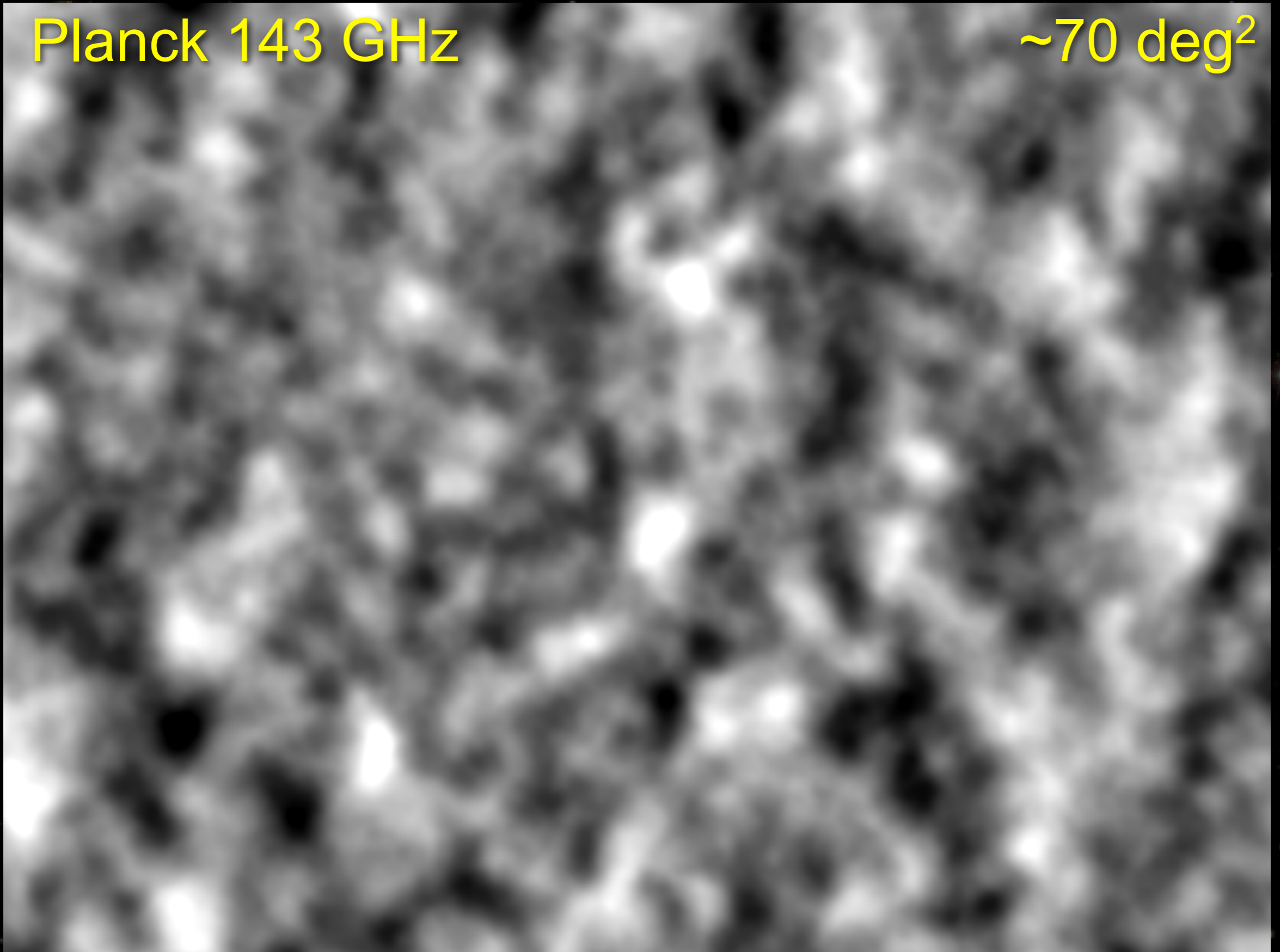


[J. Carlstrom]



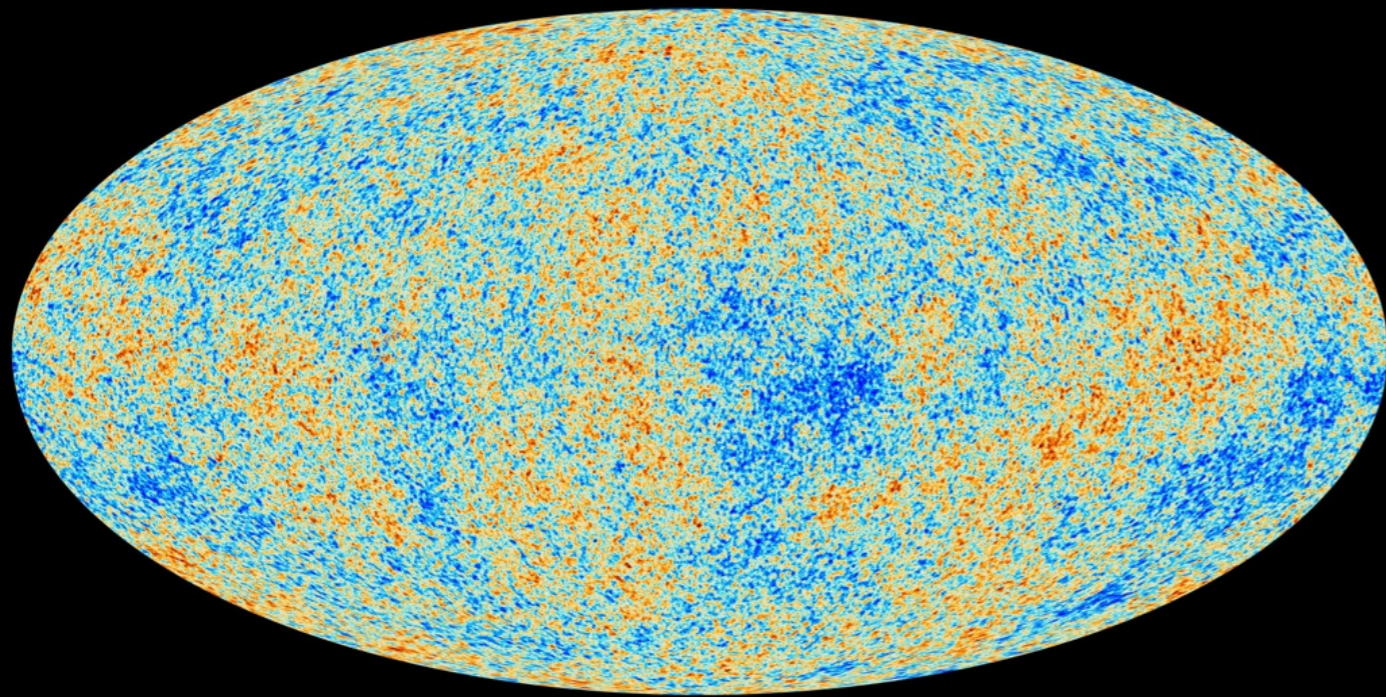
Planck 143 GHz

~70 deg²

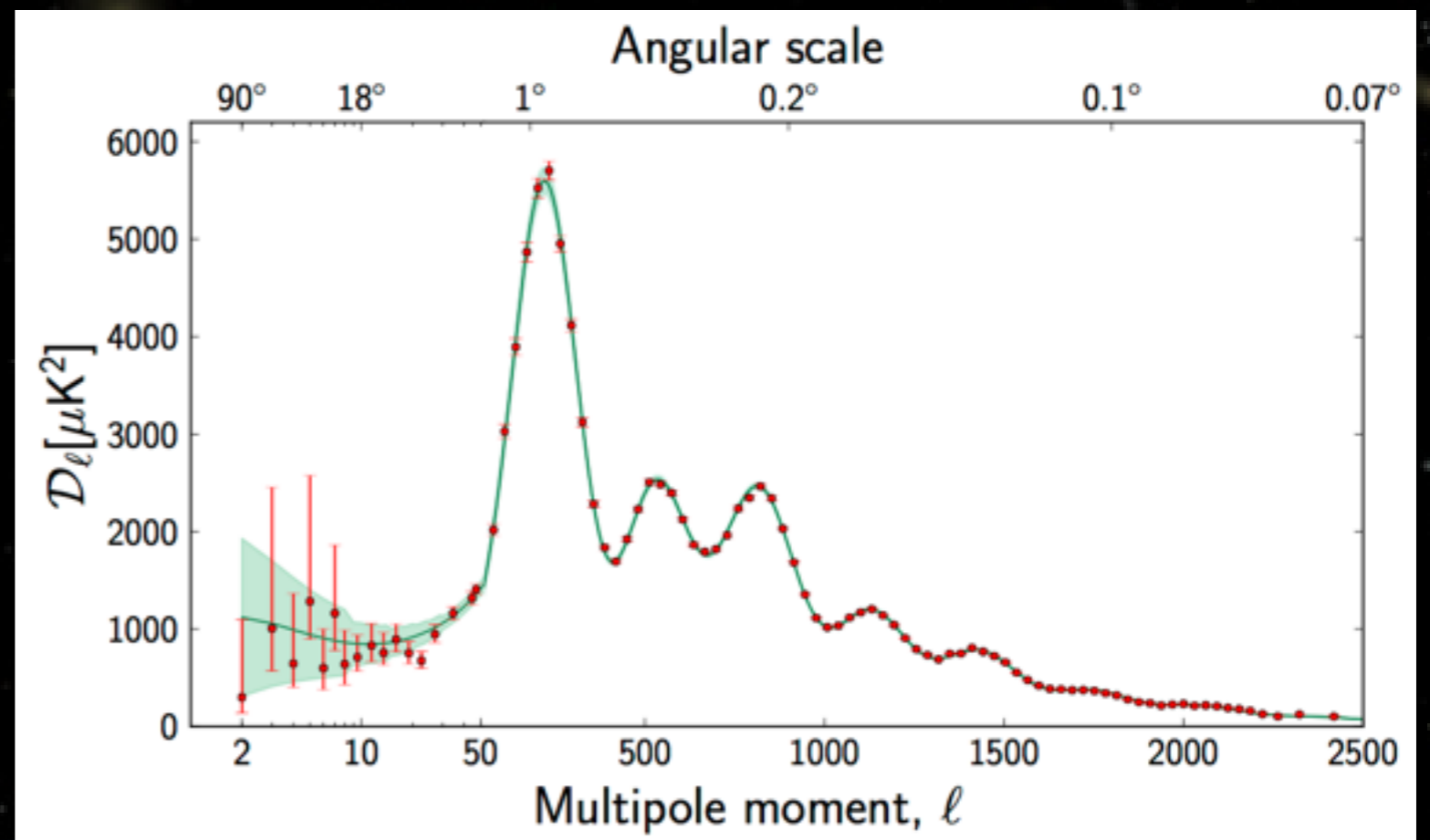


[J. Carlstrom]



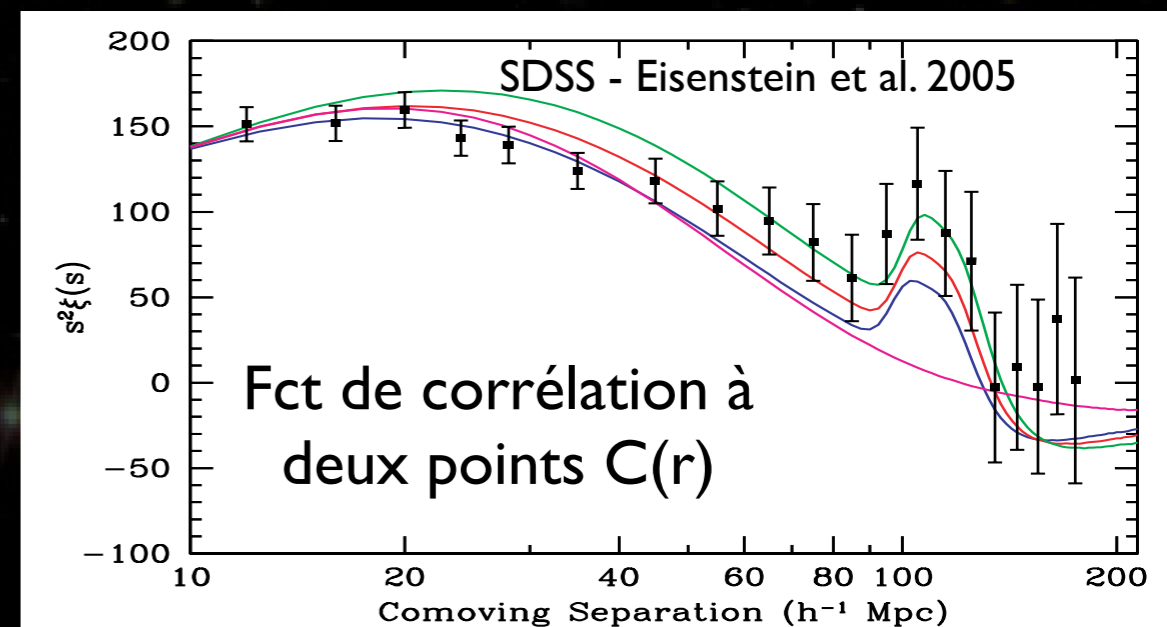
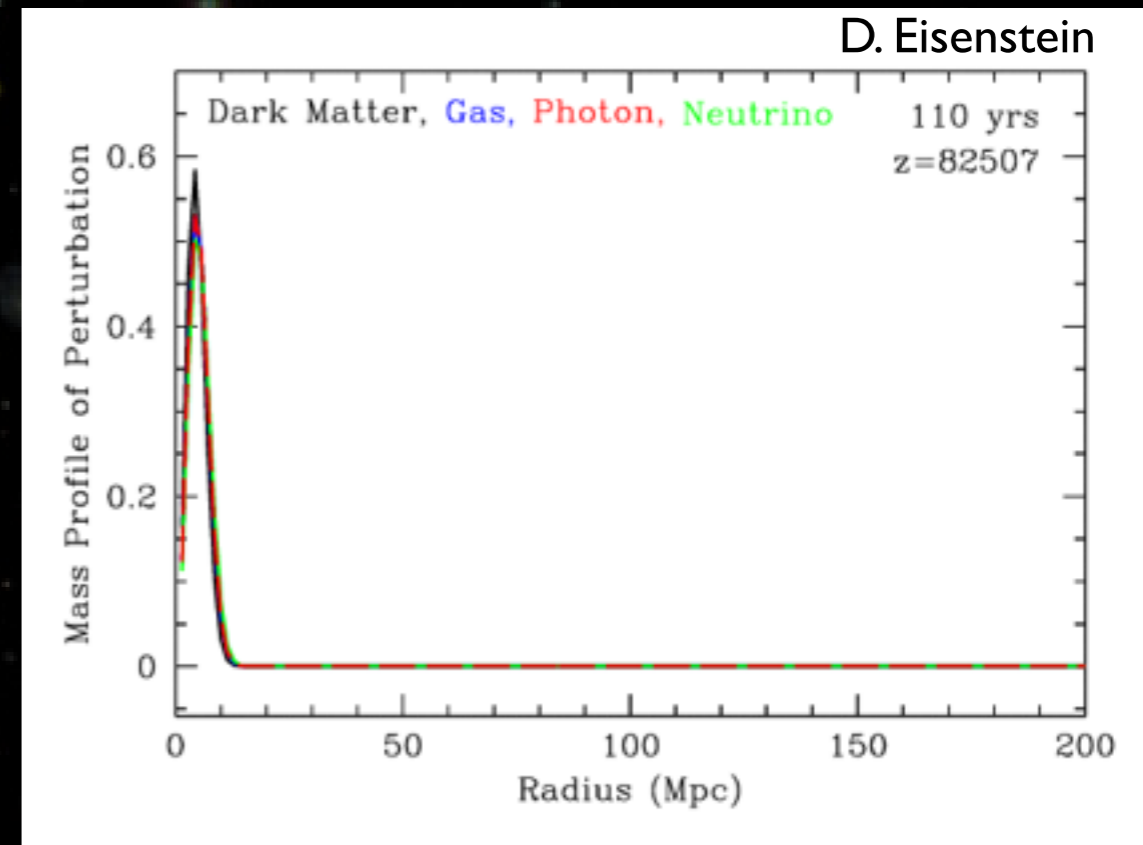


Amplitude des
fluctuations en fonction
de leur taille angulaire :
Spectre de Puissance

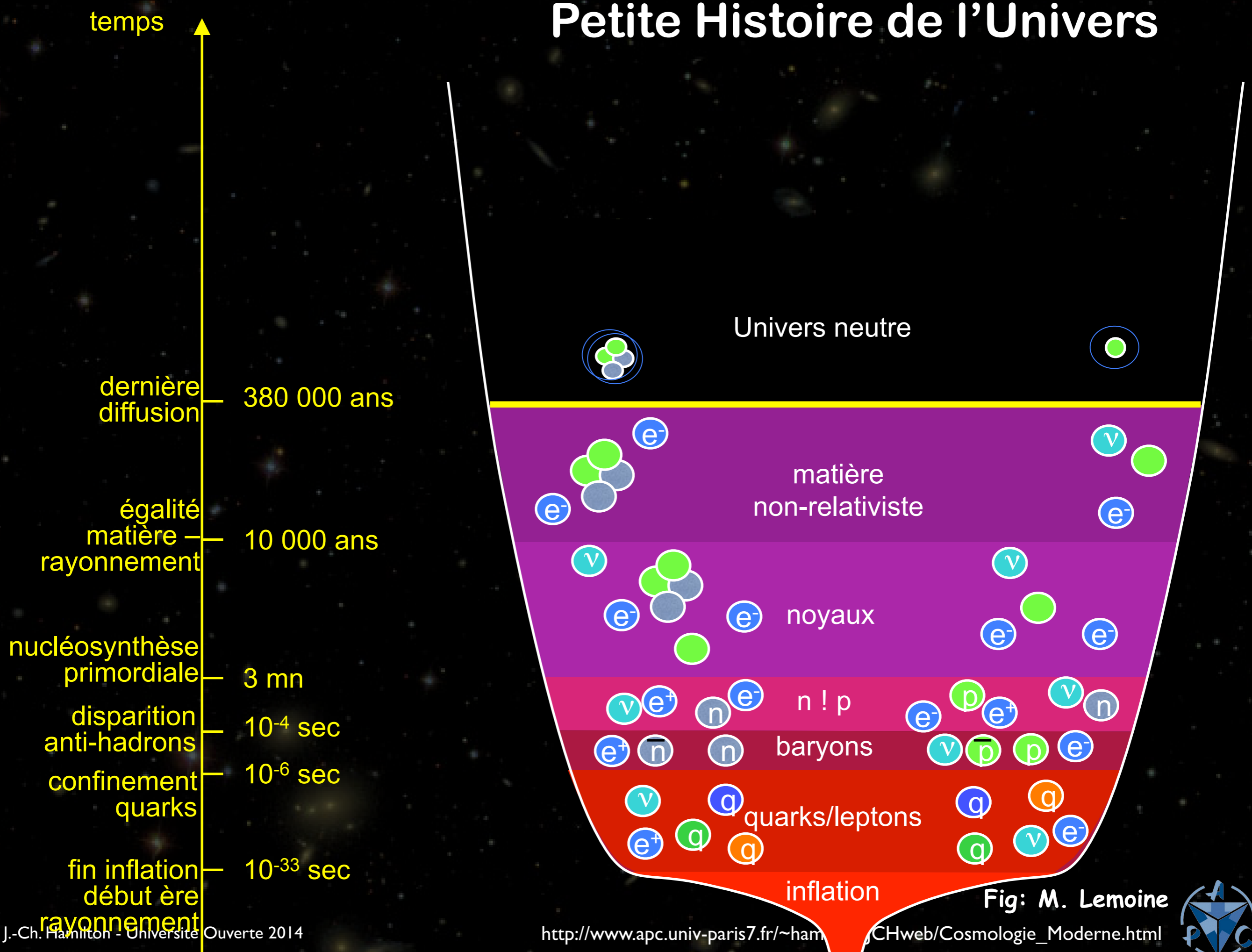


Pic Acoustique des Baryons

- à partir de l'égalité matière-rayonnement
 - ★ surdensité = onde de pression qui se propage (onde acoustique)
 - ★ Vitesse : vitesse du son dans le fluide
- Découplage matière-rayonnement
 - ★ L'onde s'arrête : les photons s'échappent
 - ★ Coquille de matière à 150 Mpc de la surdensité de matière noire
 - ★ Les deux surdensités s'équilibrent
 - ★ Il reste un pic à 150 Mpc : pic des oscillations acoustiques de baryons (BAO)
 - ★ CMB, Distribution des galaxies



Petite Histoire de l'Univers



Ages sombres : Formation des structures

- La matière s'effondre sur les surdensités de matière noire
 - ★ Toujours pas d'étoiles
 - ★ seuls photons:
 - raie d'émission de l'hydrogène neutre (21 cm)
 - CMB
- Lutte entre:
 - ★ effondrement gravitationnel
 - ★ expansion de l'Univers
- Au delà d'un certain contraste de densité
 - ★ La structure s'effondre et ne voit plus l'expansion
- Des structures de plus en plus grosses se forment par collisions

$R = 6.0 \text{ Mpc}$

$z = 10.155$



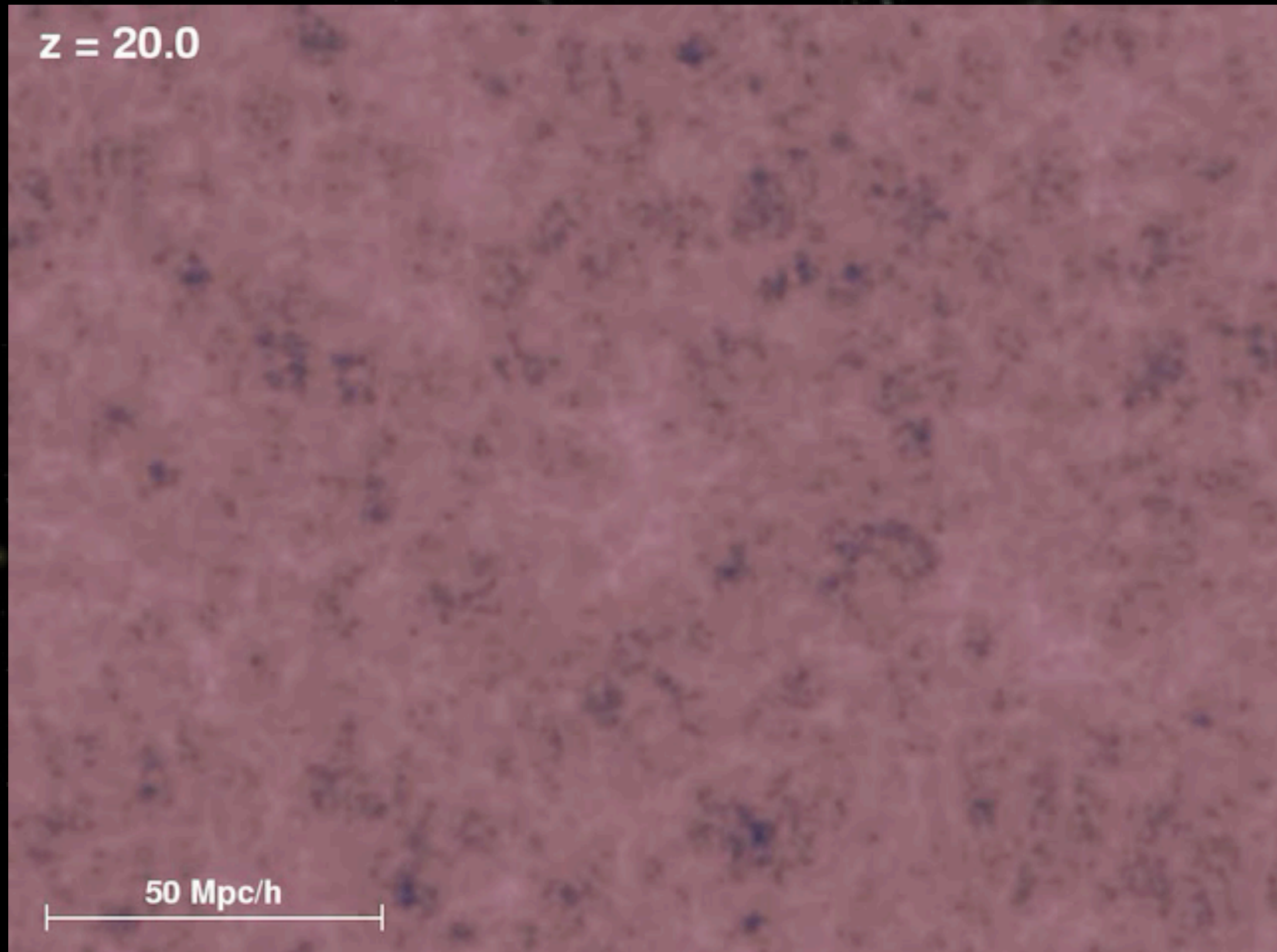
$a = 0.090$

diemand 2003

Le taux de croissance des structures va dépendre des paramètres cosmologiques



Simulation N corps en coordonnées comobiles



Formation des amas (merging)

