

Contexte cosmologique

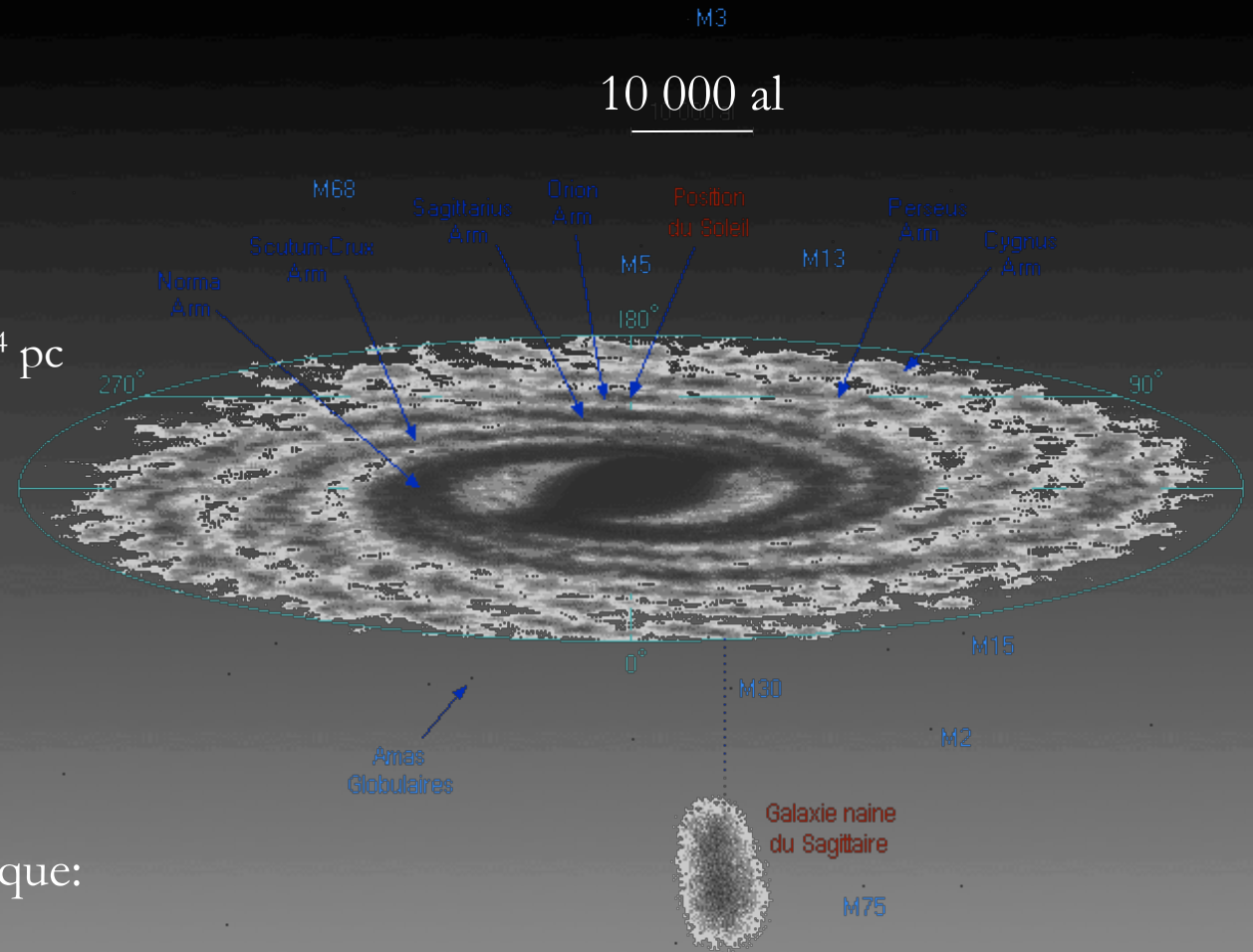
Nicolas Ponthieu

IAS, Orsay

- ✓ Tour d'horizon
- ✓ Les “paramètres cosmologiques”
- ✓ Le Big-Bang et l'Inflation

Tour d'horizon

- Système solaire
 - Soleil-Terre : $5 \cdot 10^{-6}$ pc
 - Soleil-Neptune : $1.5 \cdot 10^{-4}$ pc
- Plus proche étoile: 1.3 pc
- Voie lactée : $R \sim 15$ kpc
 - Centre-Soleil: 8 kpc
- Plus proche galaxie elliptique:
 - Andromède: 778 kpc
- Un Amas proche: la Vierge : 1.5 Mpc

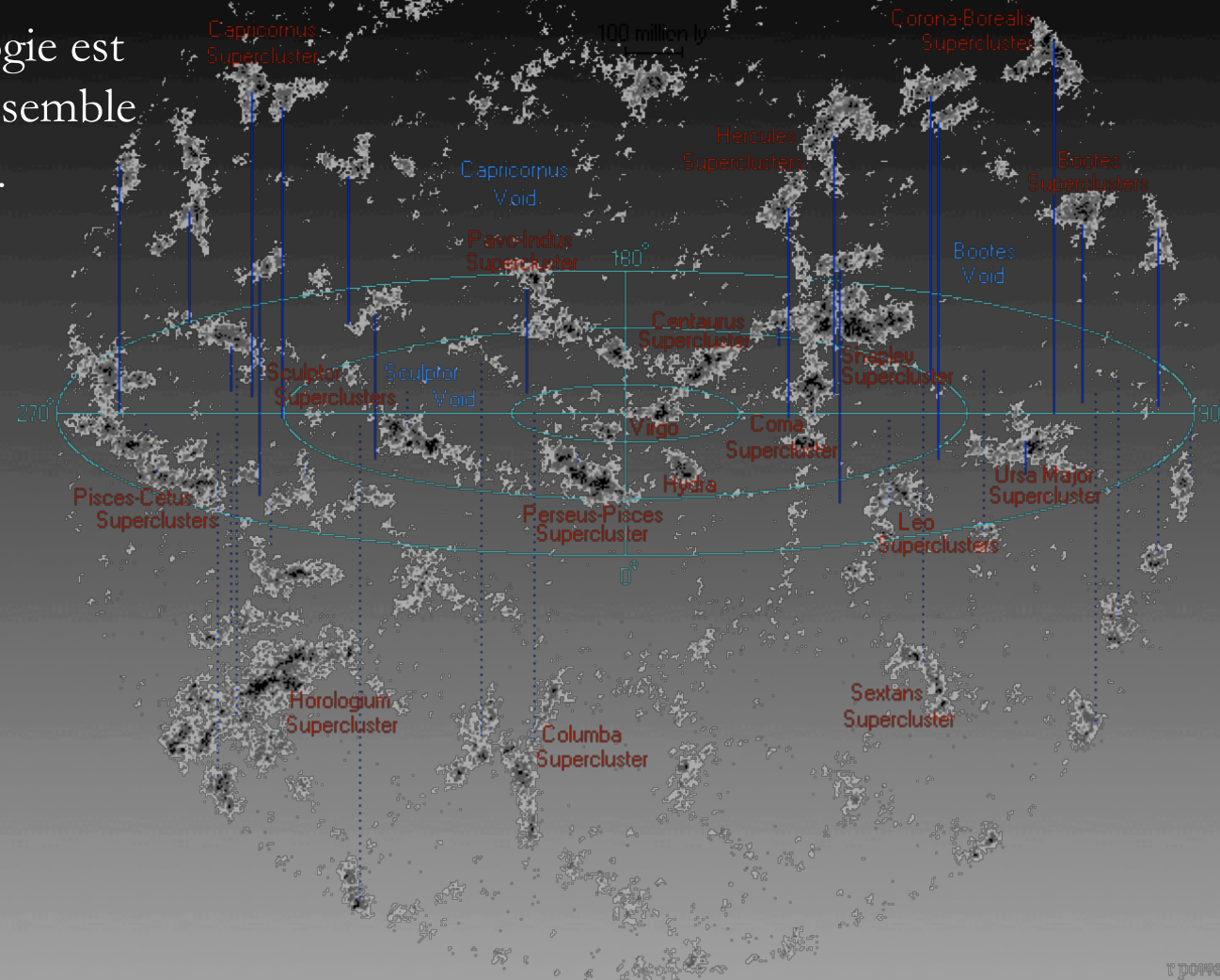


r powell

Tour d'horizon

100 millions al

- Super Amas ~ 1000 Mpc
- L'objet de la cosmologie est l'Univers dans son ensemble
 - vs Astrophysique...



Relativité Générale (1 slide, sic !)

- Einstein 1915
- Géométrie différentielle

- Élément de distance

- Espace Euclidien 'plat': $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$
- Espace courbe: $ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$

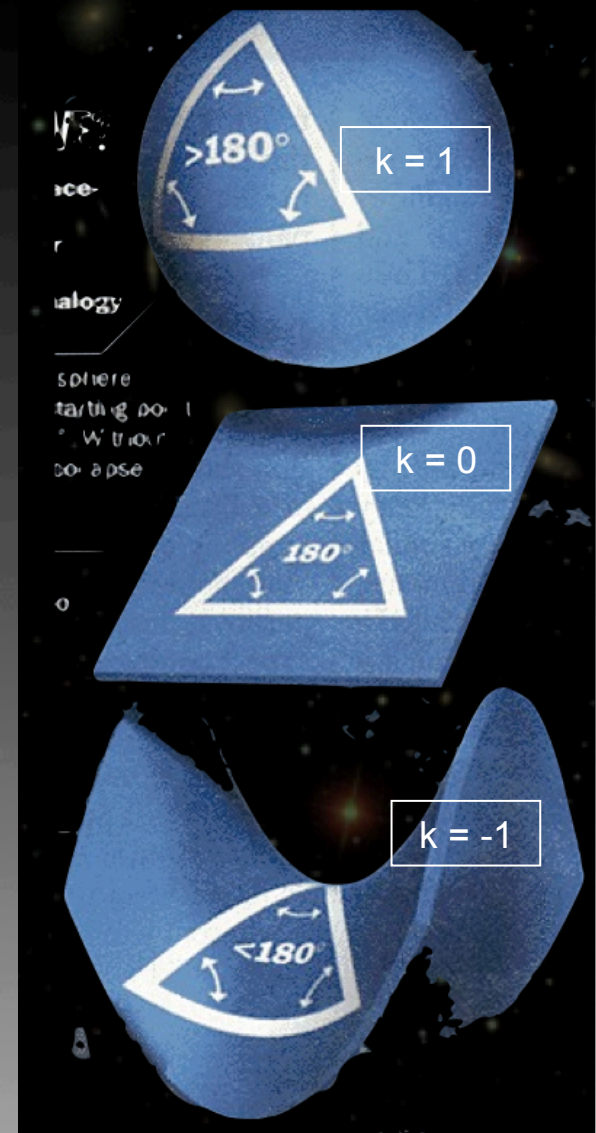
- A grande échelle, seule la gravitation intervient

$$\underbrace{R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R}_{\text{Géométrie}} = \underbrace{\frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu}}_{\text{Contenu matière-énergie}}$$

- Isotropie et homogénéité

- Métrique de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker

$$ds^2 = dt^2 - a(t) \left[\frac{dr^2}{1 - \underbrace{kr^2}_{k = -1, 0, 1}} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2 \right]$$

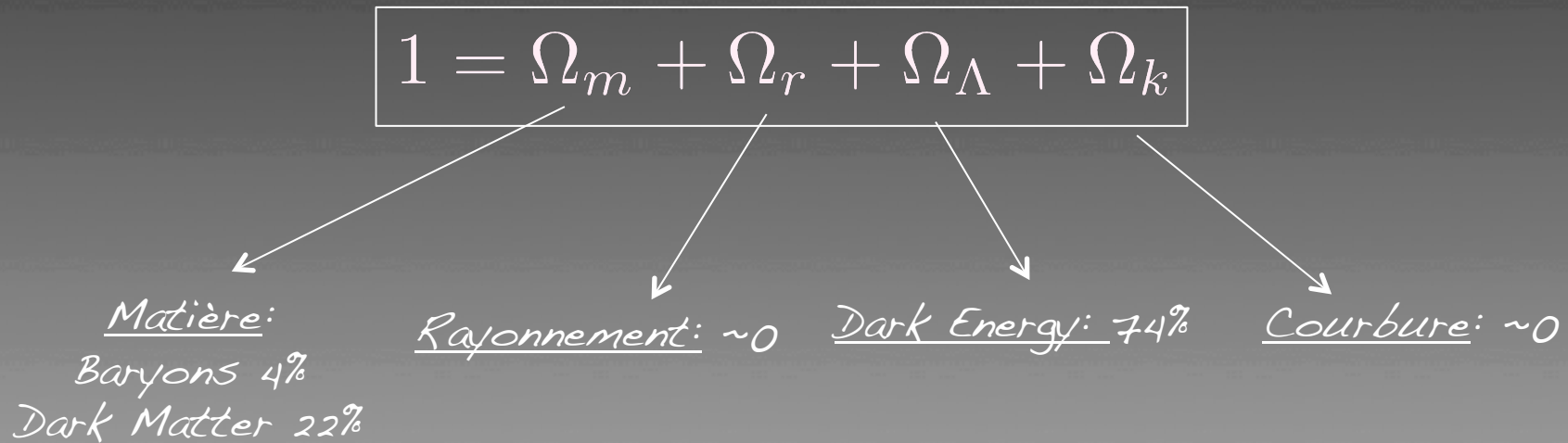


Les paramètres cosmologiques

- Evolution de la taille du facteur d'échelle (Friedmann)

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = H^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{\Lambda}{3} - \frac{k}{a^2}$$
$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) + \frac{\Lambda}{3}$$

- La constante cosmologique accélère l'expansion
- Normalise la première à la densité critique $3H^2/8\pi G$



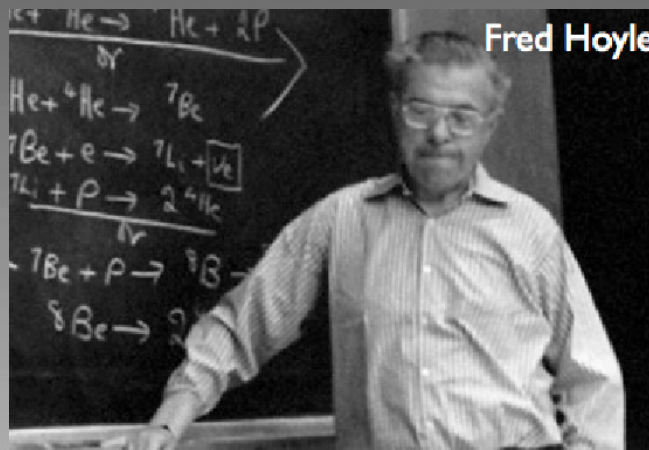
Arnaud, Francesca

Le Big-Bang

- La RG décrit un Univers dynamique, en contraction ou expansion
- Einstein le voit statique
- Georges Lemaître en 1927 préfère un modèle en expansion
 - L'Univers est né d'un atome primitif qui se serait désintégré en ce que nous connaissons aujourd'hui
 - Einstein : "Vos calculs sont justes, mais votre sens physique est épouvantable"
 - Hoyle nomme ironiquement le modèle de Lemaître "Big Bang"
- Hubble 1929 observe l'expansion
 - Einstein, ca et Λ : "ma plus grosse boulette"
- Gamow étudiera en détail l'extrapolation à haute densité et énergie et jettera les bases de la nucléosynthèse



Georges Lemaître



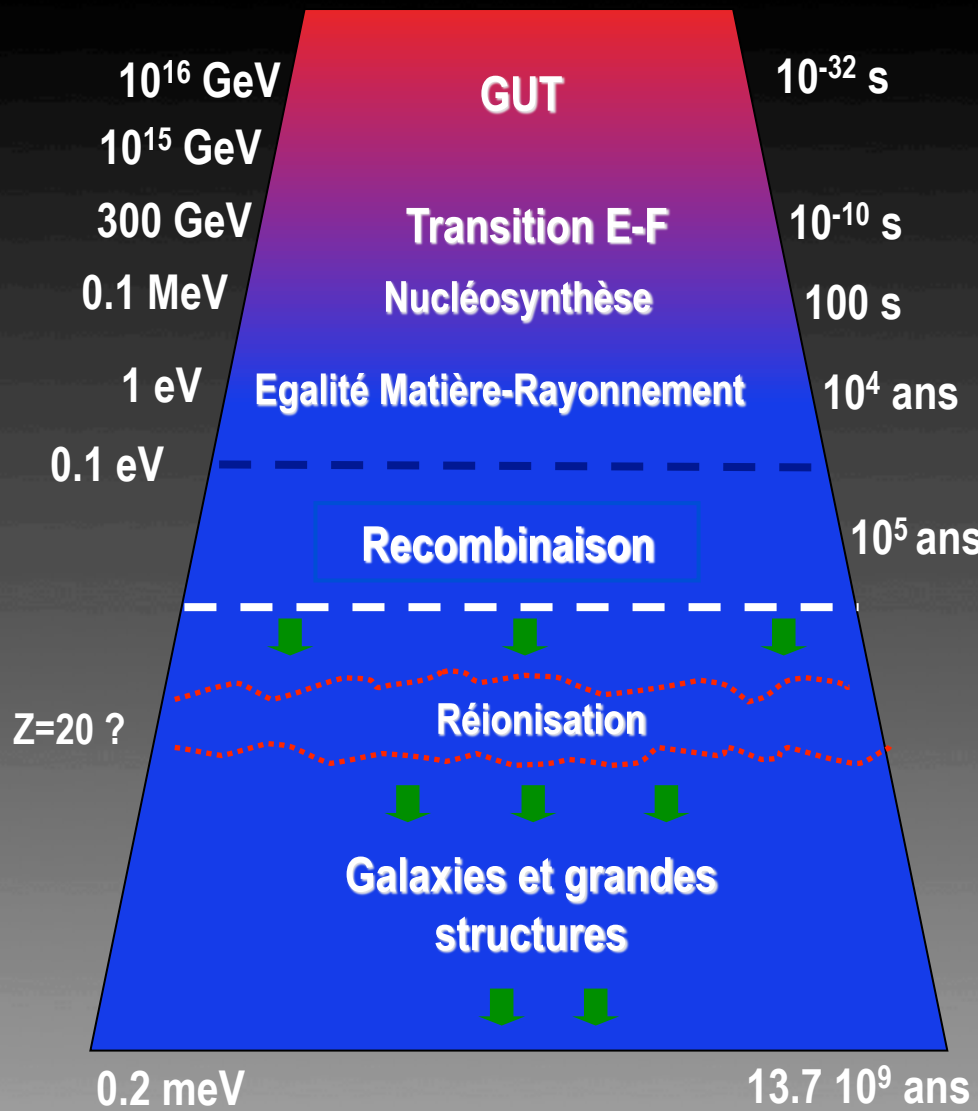
Fred Hoyle



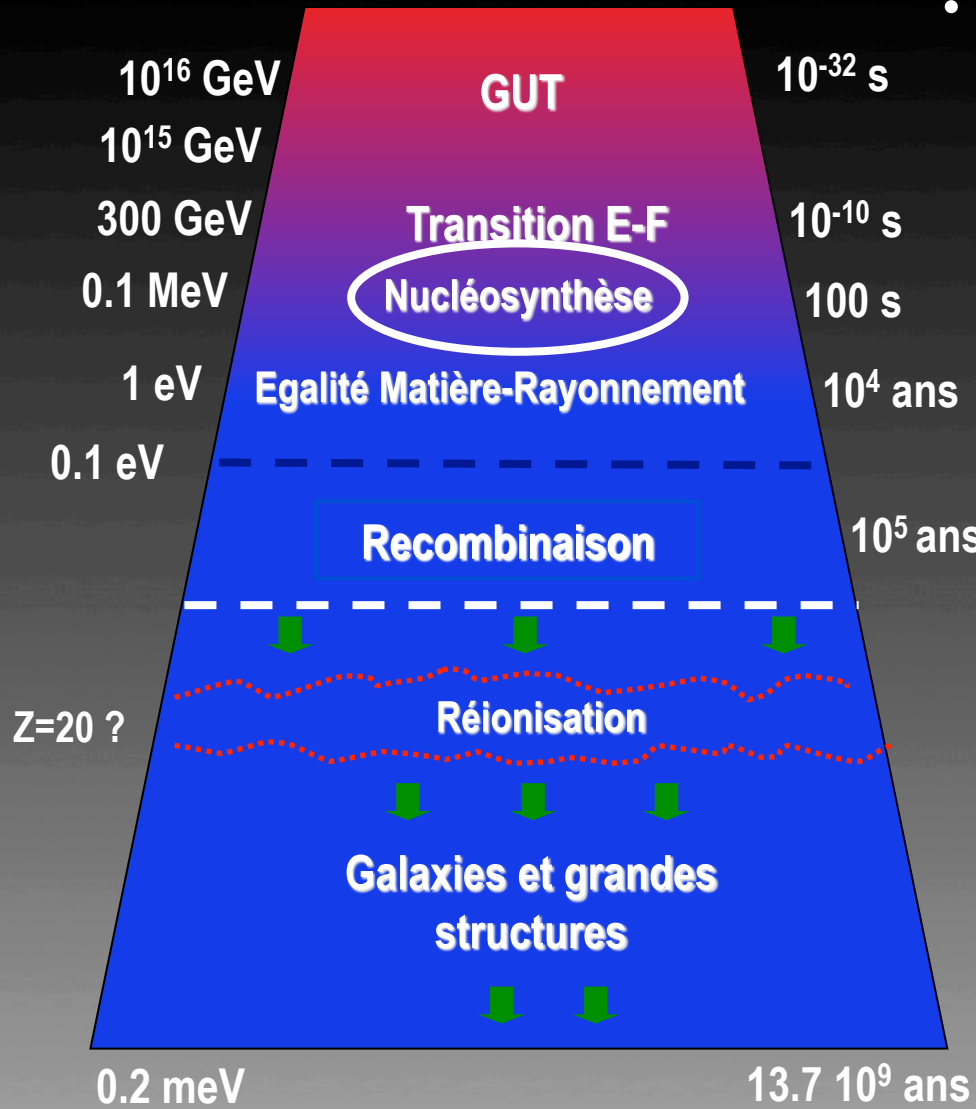
George Gamow

Pictures from
JC Hamilton's
lecture:

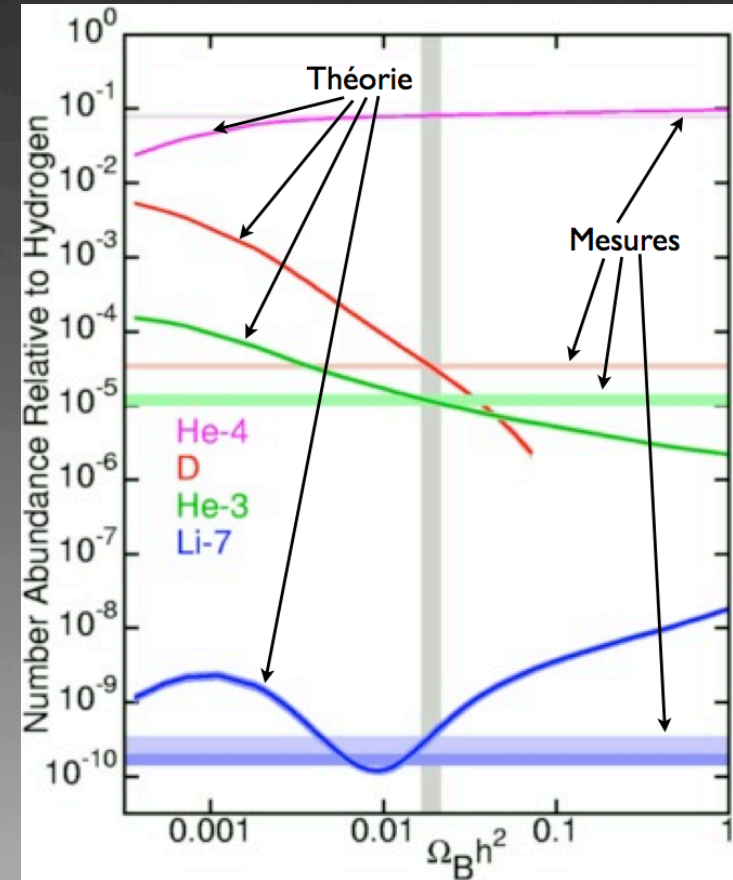
Le Big-Bang



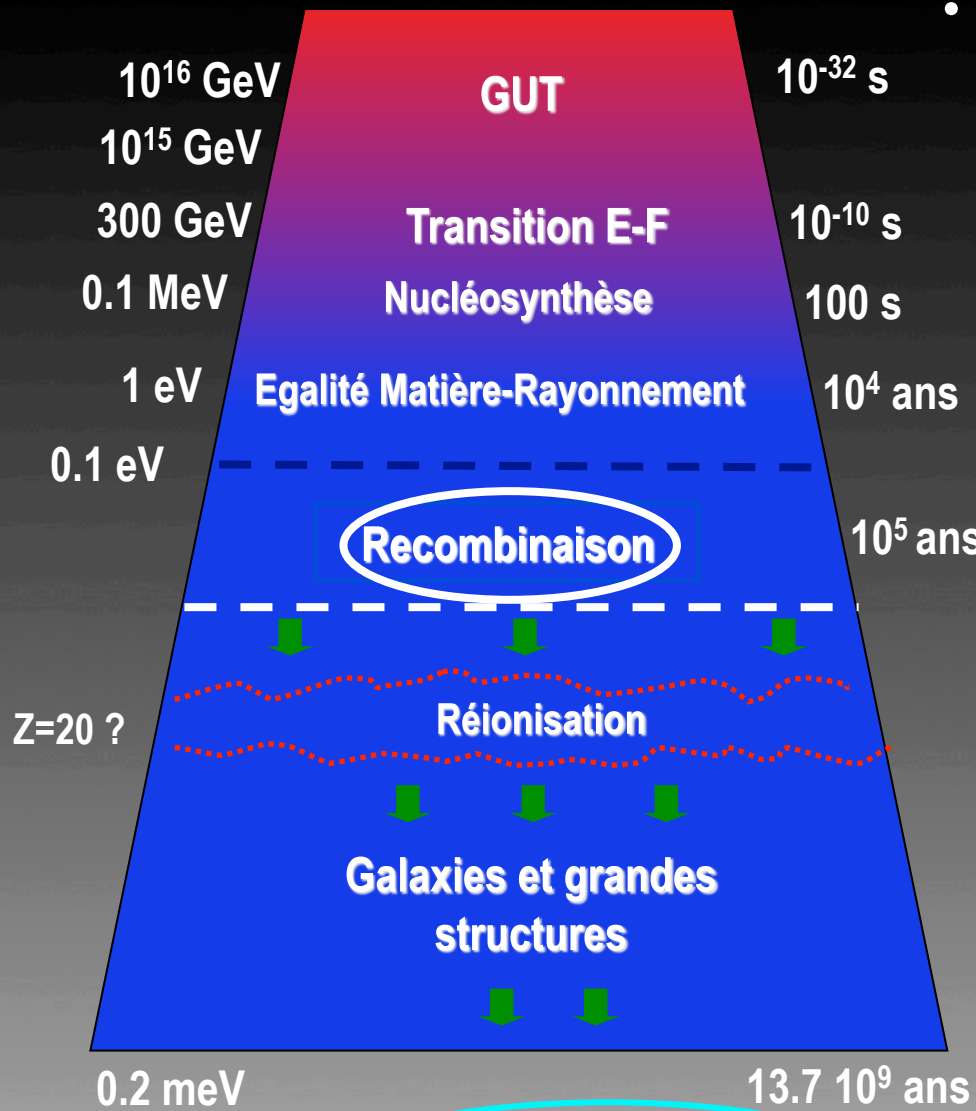
Le Big-Bang



- Nucléosynthèse primordiale (de 3 à 20 mn)
 - $p + n \rightarrow {}^2\text{H}$
 - puis ${}^3\text{H}$, ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$... Li , ${}^8\text{Be}$
 - Abondances relatives figées (sauf désintégrations des plus lourds)

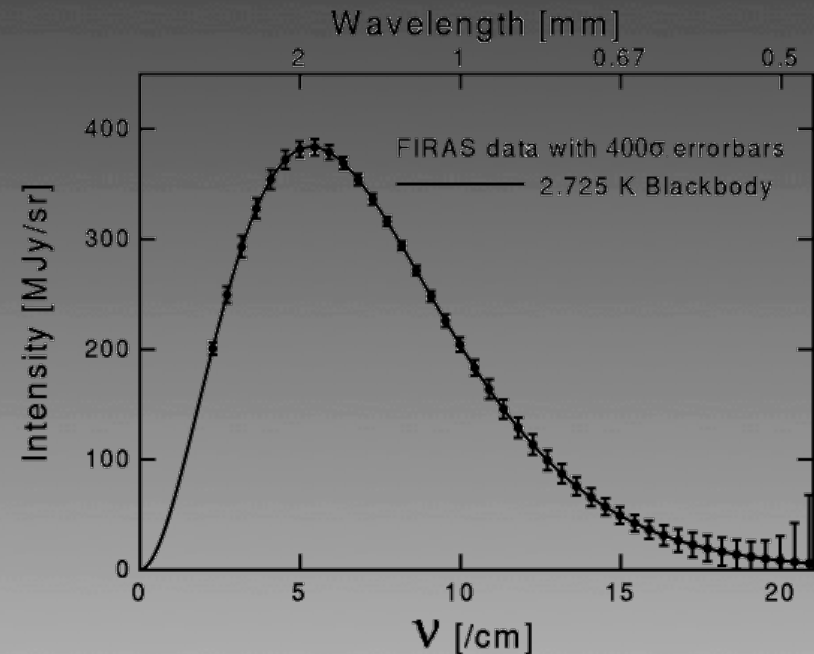


Le Big-Bang

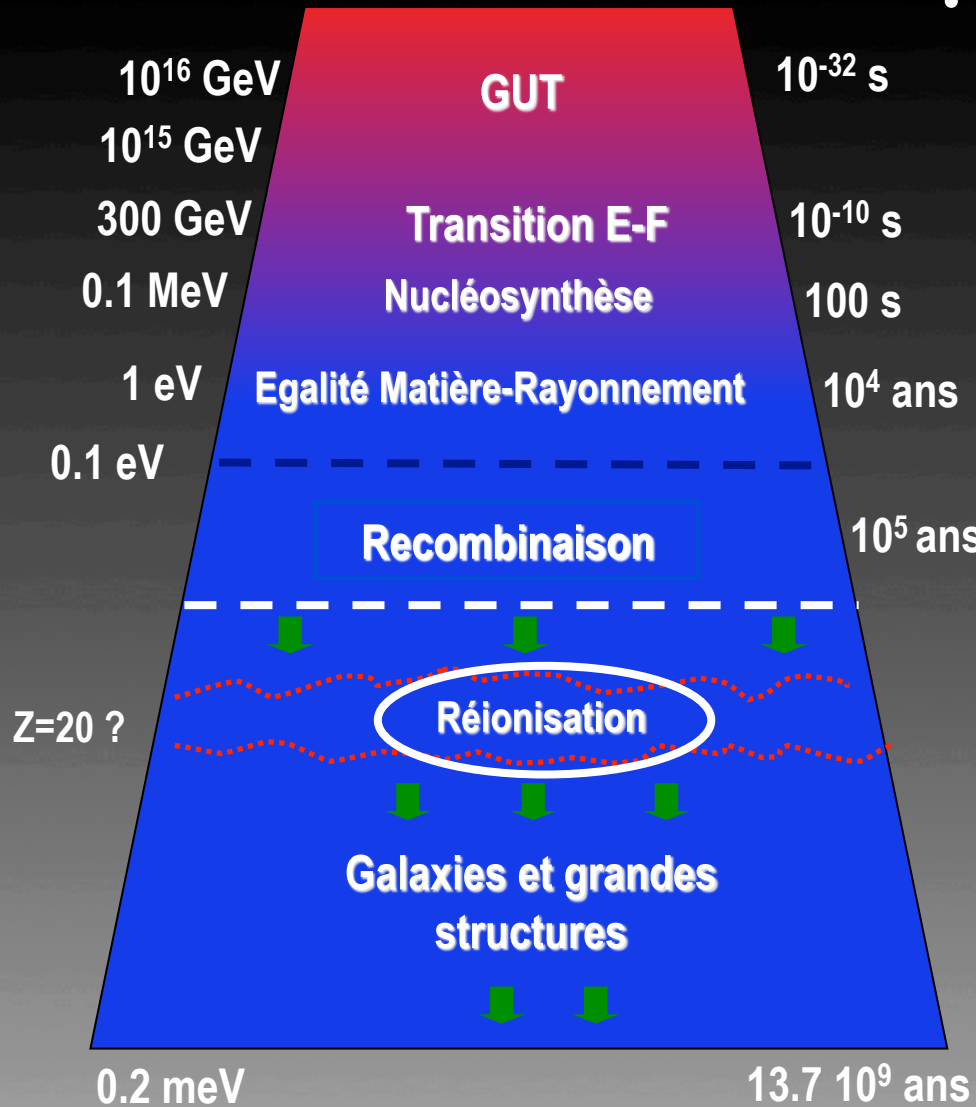


Clément, Guillaume

- Le Fond Diffus (400 000ans)
 - *a.k.a.* FDC, CMB, 3K, ray. fossile...
 - Photons trop faibles pour ioniser H
 - L'Univers devient transparent
 - Les photons forment un corps noir qui ne subit plus que l'expansion
 - Prédit en 1948 par Gamow, Alpher, Hermann
 - Détecté en 1965 par Penzias et Wilson

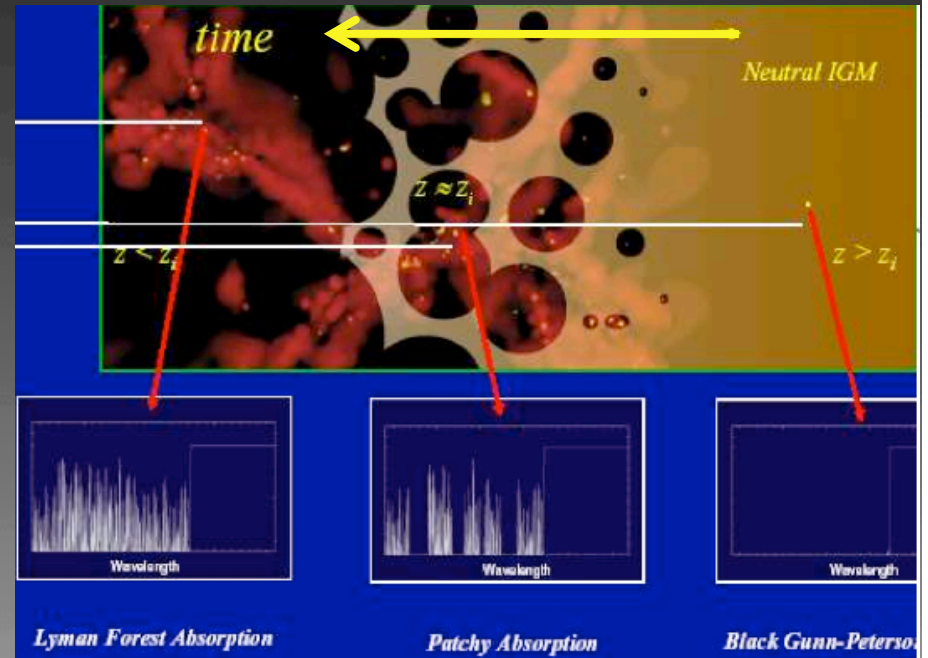


Le Big-Bang



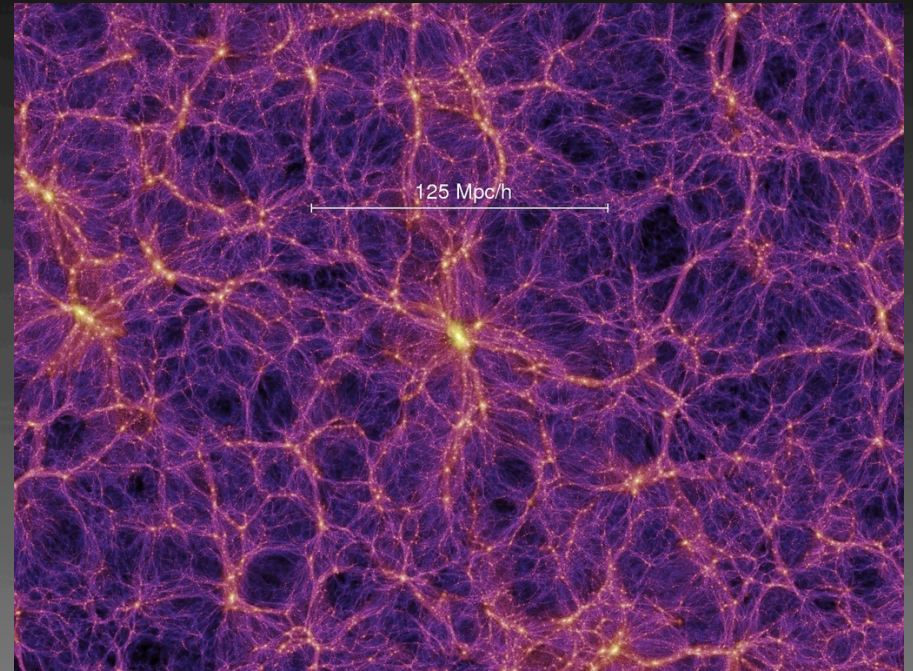
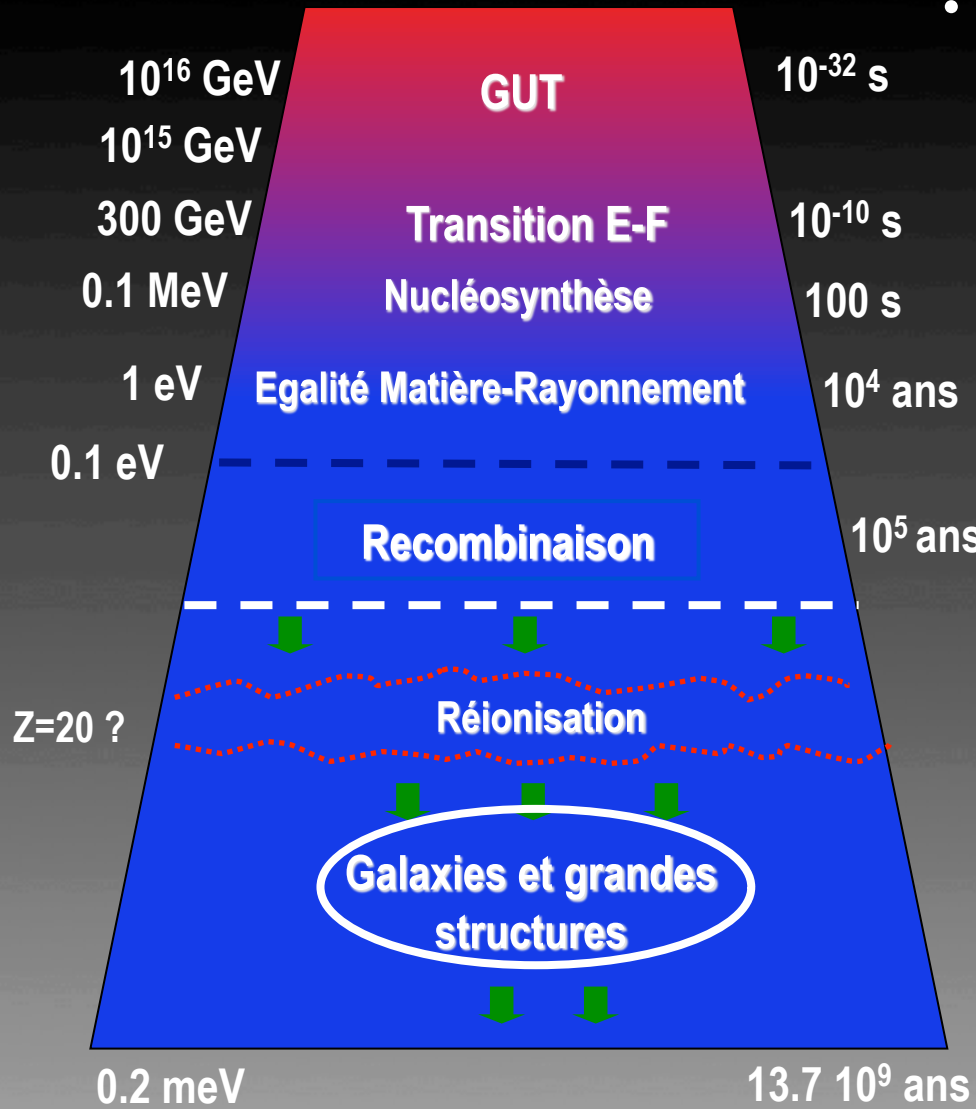
- Réionisation

- Allumage des premières étoiles
- Ionisation du gaz
 - Effet Gunn-Peterson
 - Rediffusion des photons CMB



Le Big-Bang

- Formation des structures



Millenium Run

Guillaume

Limitations...

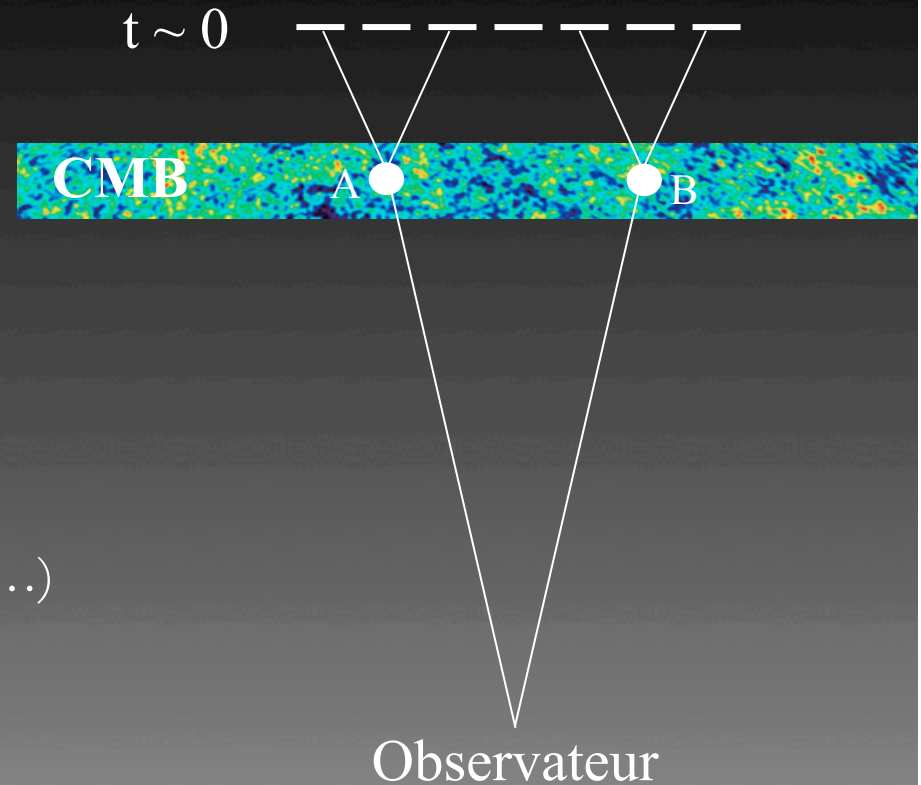
1. La distance causale à la recombinaison est ~ 1 deg sur le ciel, mais $\Delta T/T_{\text{CMB}} \sim 10^{-4}$

2. On mesure aujourd'hui $\Omega_k \approx 0$, ce qui suppose au temps de Planck :

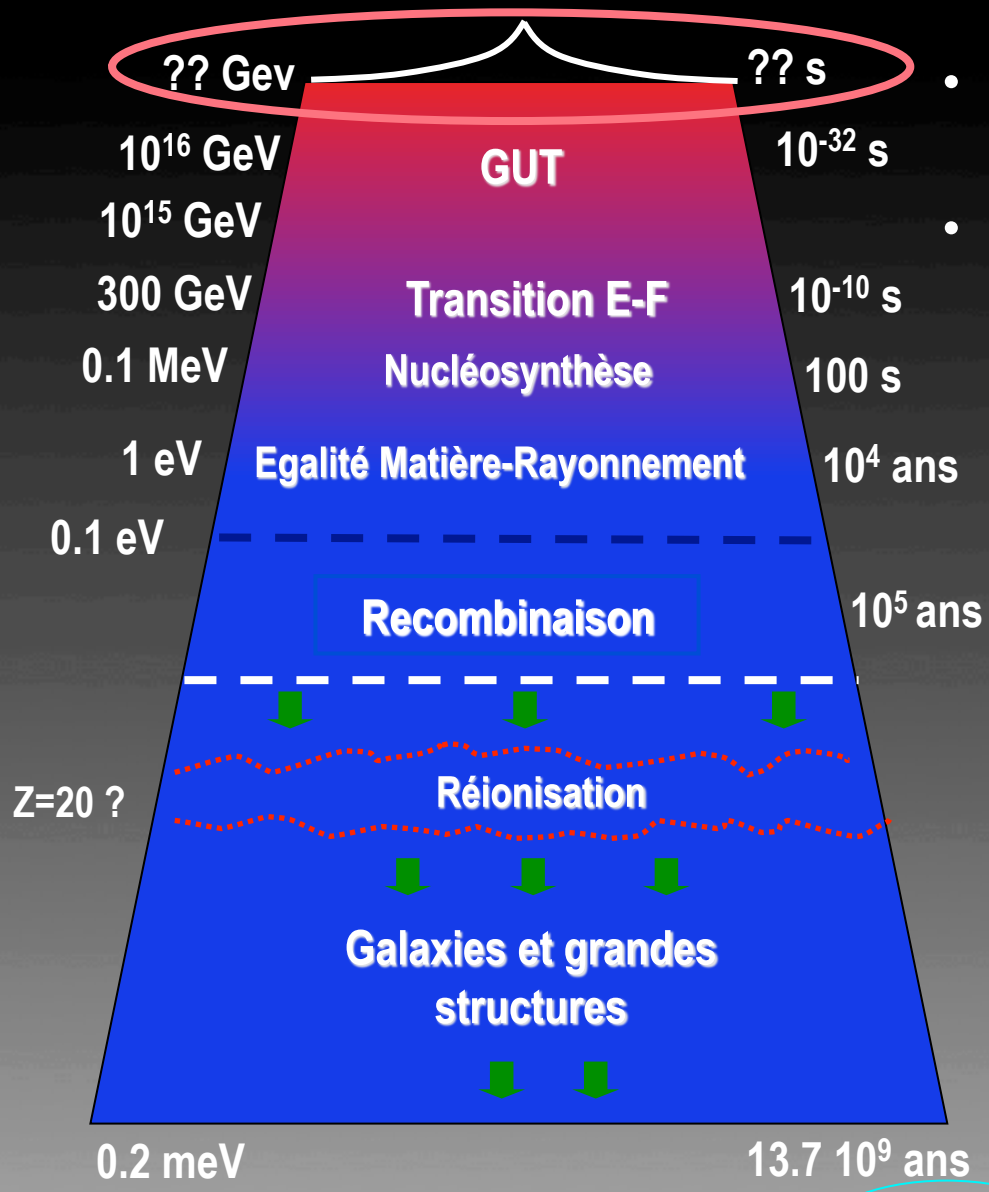
$$|\Omega_k| < 10^{-59}$$

3. Génération des structures (galaxies, amas...) dans un univers homogène et isotrope ?

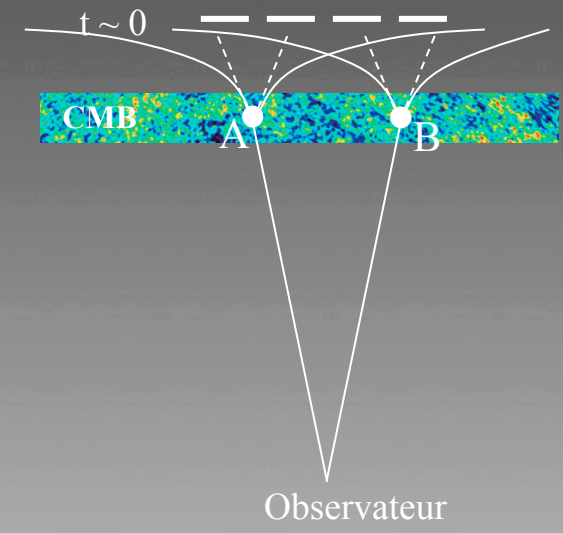
4. Monopoles magnétiques et autres reliques



L'Inflation



- Expansion exponentielle
 - Supraluminique
- Champ scalaire (ou plusieurs...) qui descend lentement son potentiel, puis se désintègre
 - Problème de l'horizon résolu
 - $\Omega_k = 0$ est une prédiction
 - Perturbations naissent des fluctuations quantiques de l'inflaton
 - Monopoles et reliques exponentiellement dilués



Ahmad

Conclusion

- La cosmologie dispose de son modèle standard: le Big-Bang
 - Histoire cohérente qui part de la physique des hautes énergies et va jusqu'à la structure de l'Univers observé aujourd'hui
- L'inflation
 - Proposition la plus aboutie pour résoudre les manques du modèle classique, fortement soutenue par les observations mais toujours en quête d'une 'signature'
- Some outstanding questions
 - 74% de l'Univers sont sous forme de constante cosmologique: *Arnaud, Francesca*
 - 22% sont de la matière noire encore de nature inconnue: *Ahmad*
- Le CMB est l'un des piliers du Big-Bang et de la cosmologie observationnelle actuelle: *Clement, Guillaume*