

# Le fond diffus cosmologique



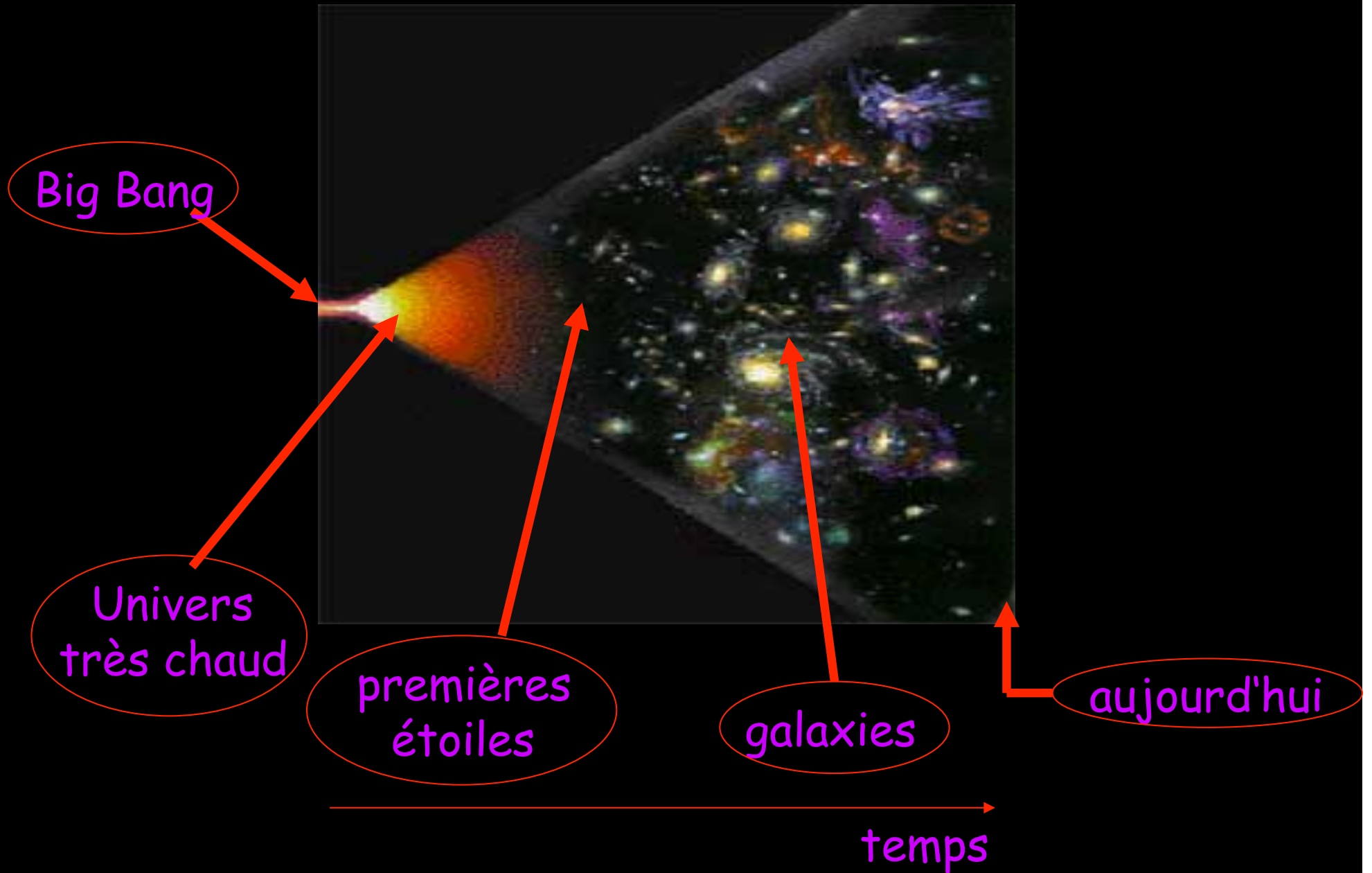
## Un regard presque jusqu'au Big Bang



Mona Frommert  
Université de Genève



# L'histoire de l'Univers

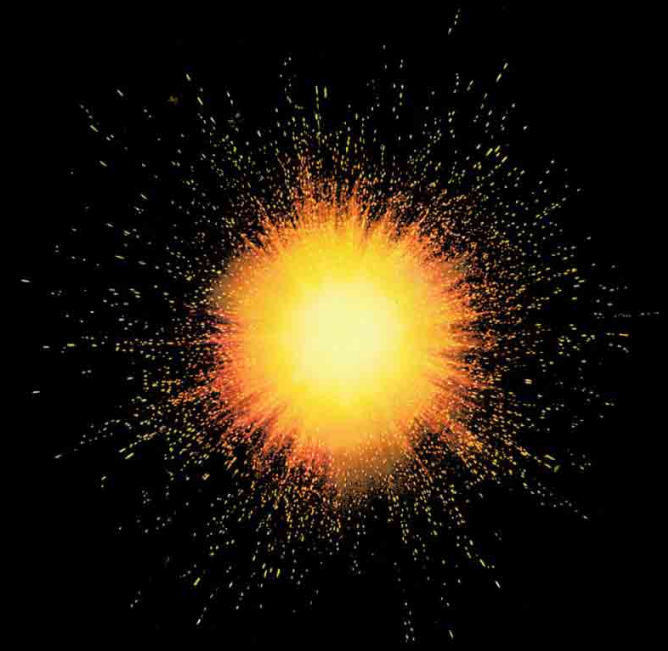


# Just après le Big Bang

...il n'y avait pas encore des étoiles ni des galaxies,

...mais juste des électrons, protons et photons

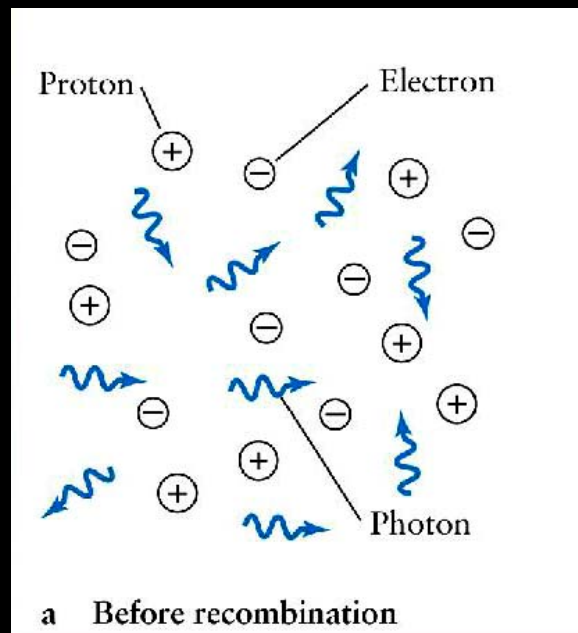
...et l'Univers était  
très chaud...



# Just après le Big Bang

l'Univers était très chaud

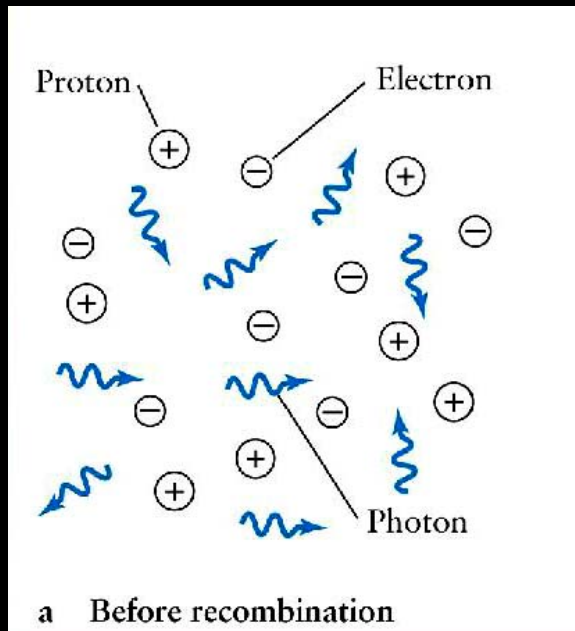
⇒ les électrons et les protons n'étaient pas encore liés en atomes d'hydrogène



# Just après le Big Bang

l'Univers était très chaud

⇒ les électrons et les protons n'étaient pas encore liés en atomes d'hydrogène



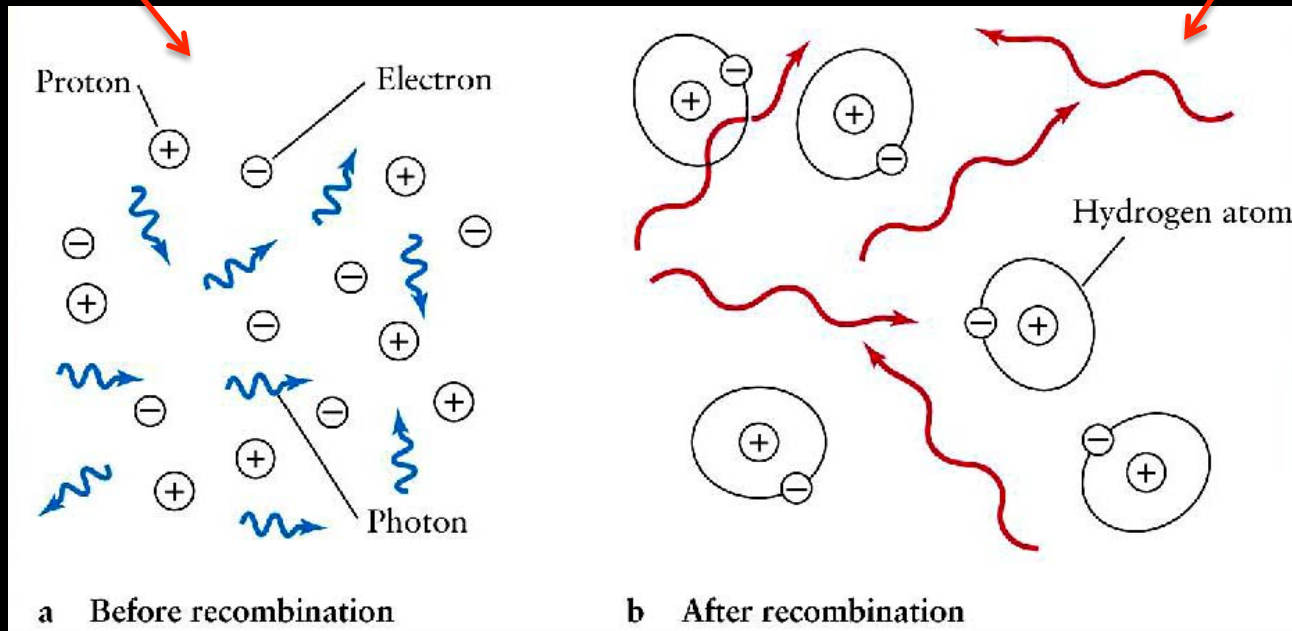
Les photons interagissaient tous le temps avec les électrons

⇒ ils étaient 'confinés' comme dans un nuage  
⇒ on ne voyait rien

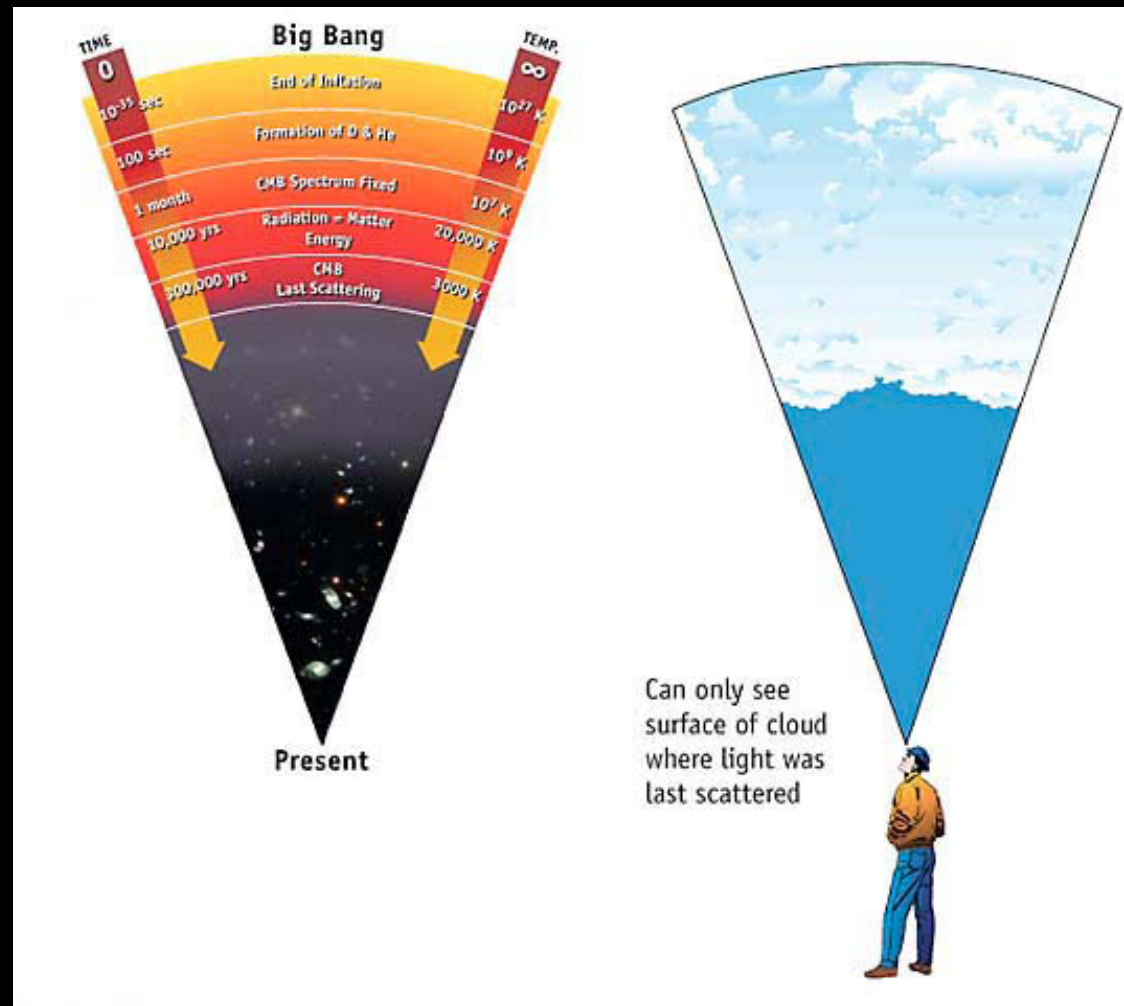
# ~ 400'000 ans après le Big Bang

avant:  
photons 'captifs'  
⇒ Univers opaque

après: Univers refroidi  
⇒  $p + e \rightarrow H$   
⇒ photons libres  
⇒ Univers transparent



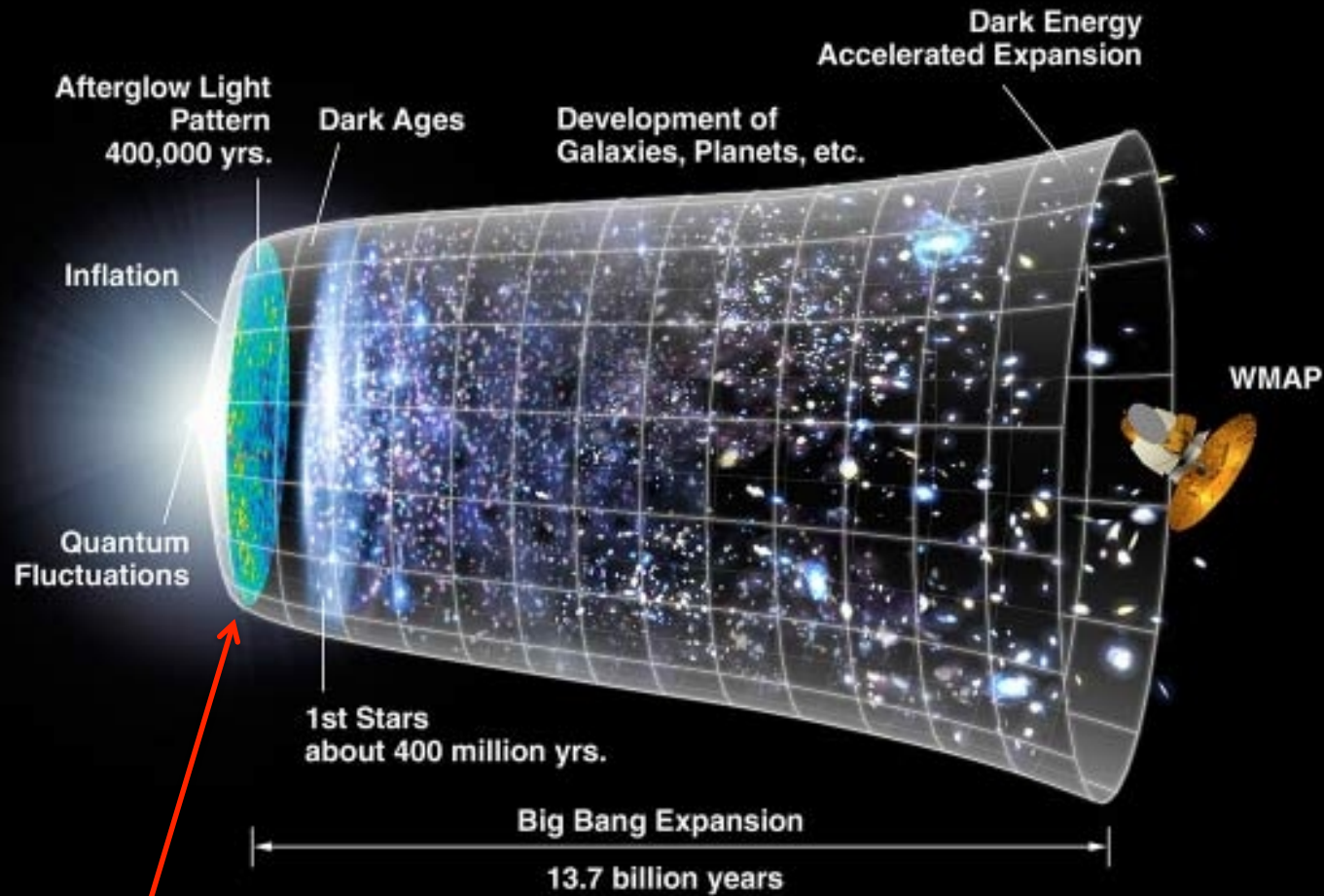
# Aujourd'hui



On voit jusqu'à la surface où les photons étaient diffusés pour la dernière fois

comme si on regarde un nuage

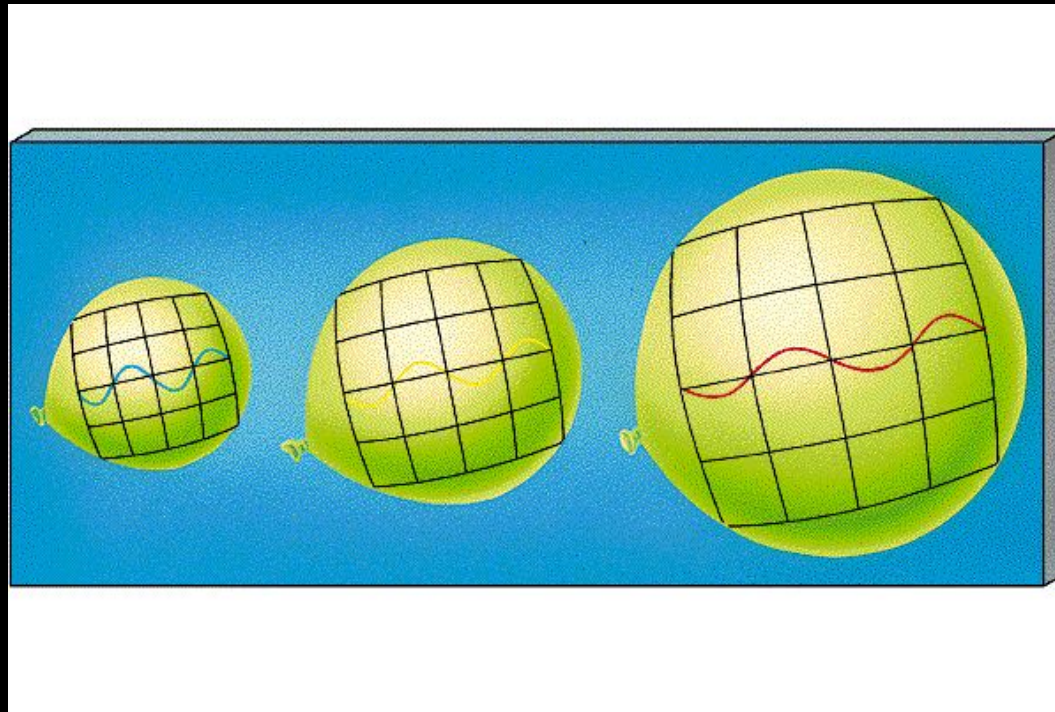
# Aujourd'hui



fond diffus cosmologique  
(notre 'nuage')

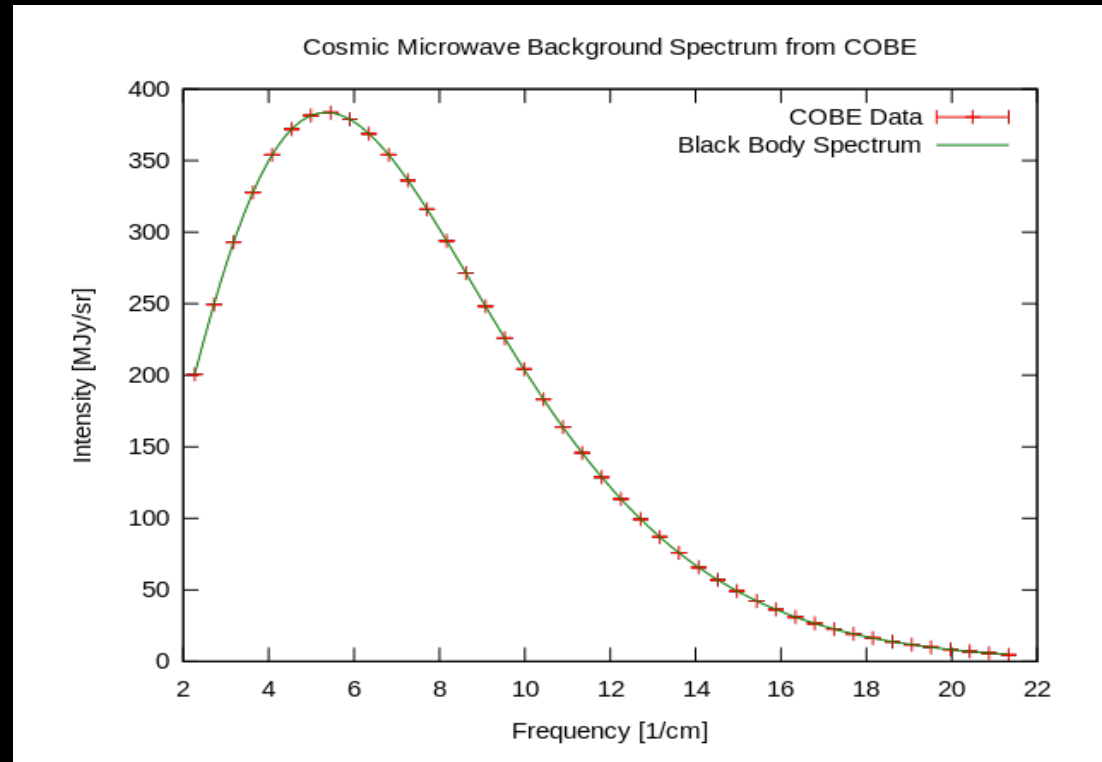
# Aujourd'hui

La longueur d'onde des photons a été allongée par l'expansion de l'Univers:



⇒ Aujourd'hui ce sont des microondes ( $\lambda \sim 2\text{mm}$ )

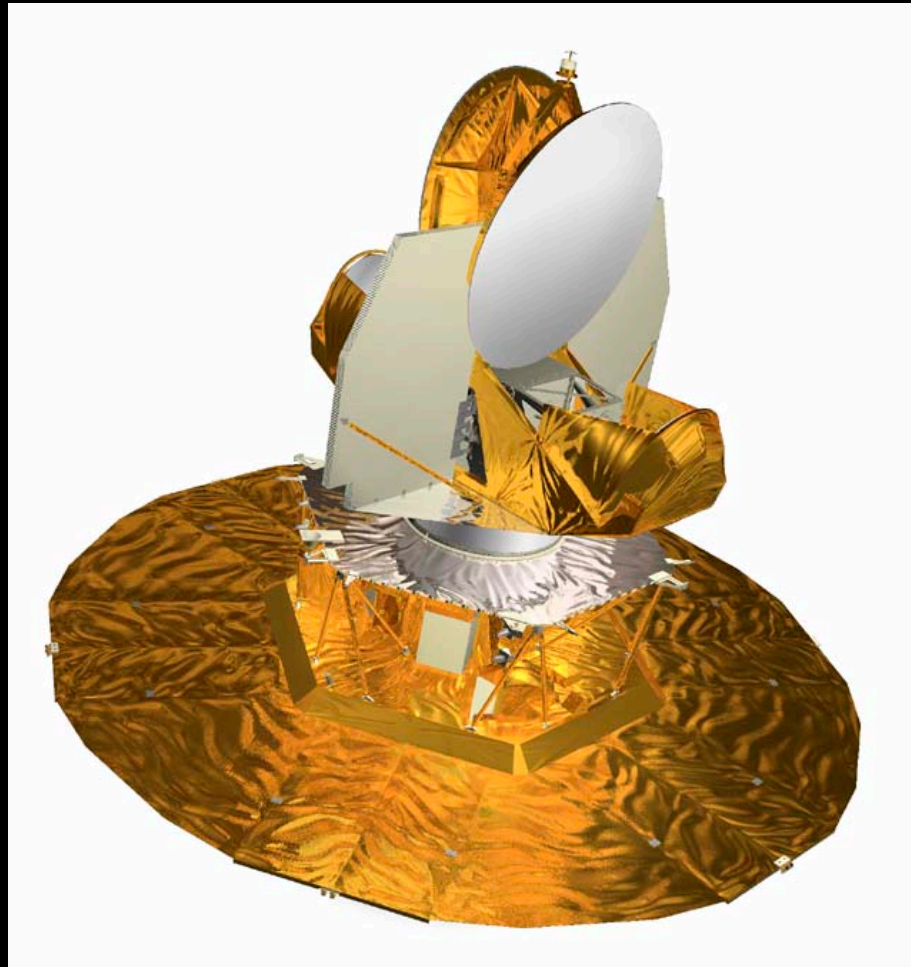
# Le spectre des photons



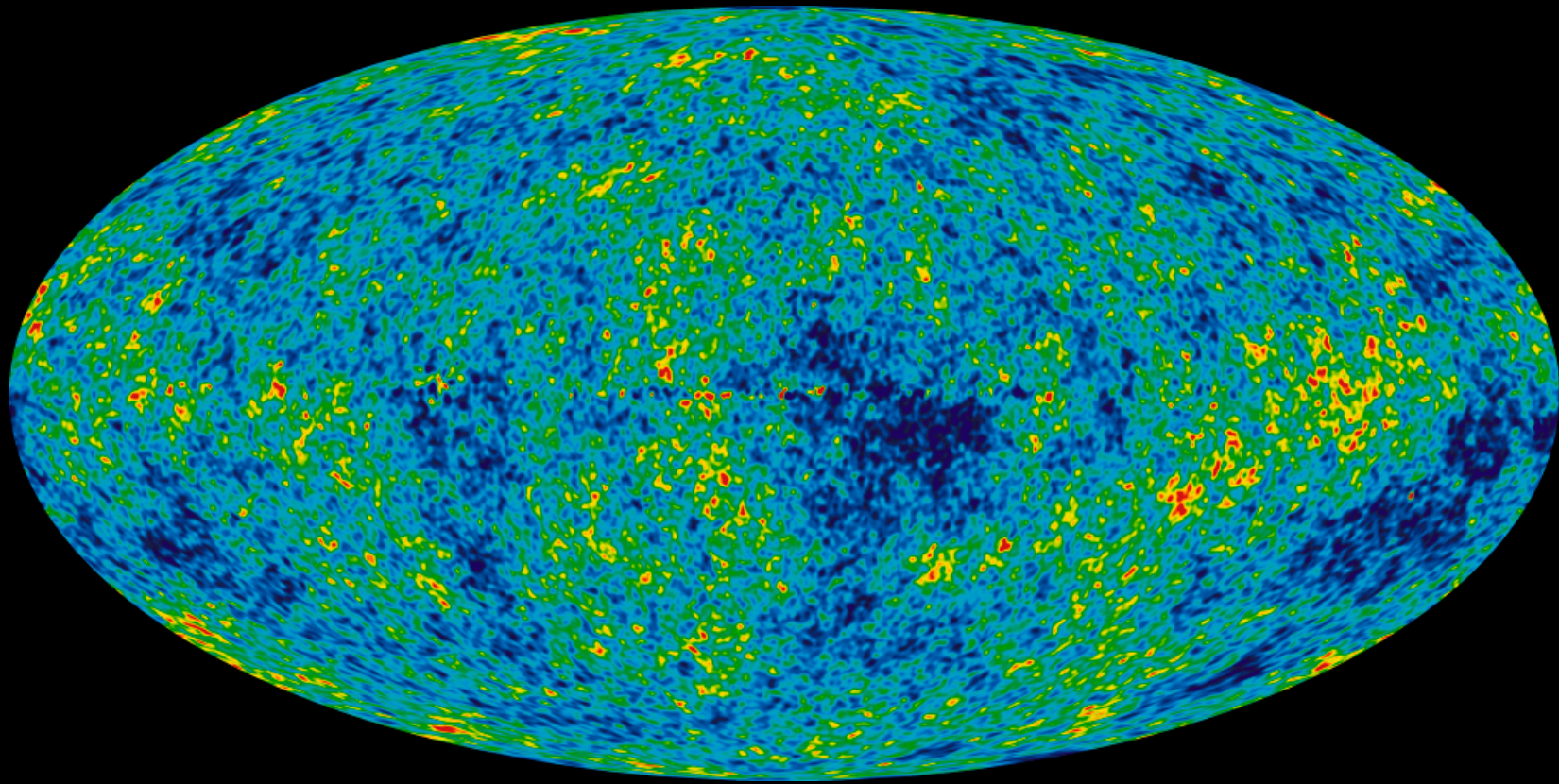
le spectre des photons est celui d'un corps noir

⇒ l'Univers était en équilibre thermique

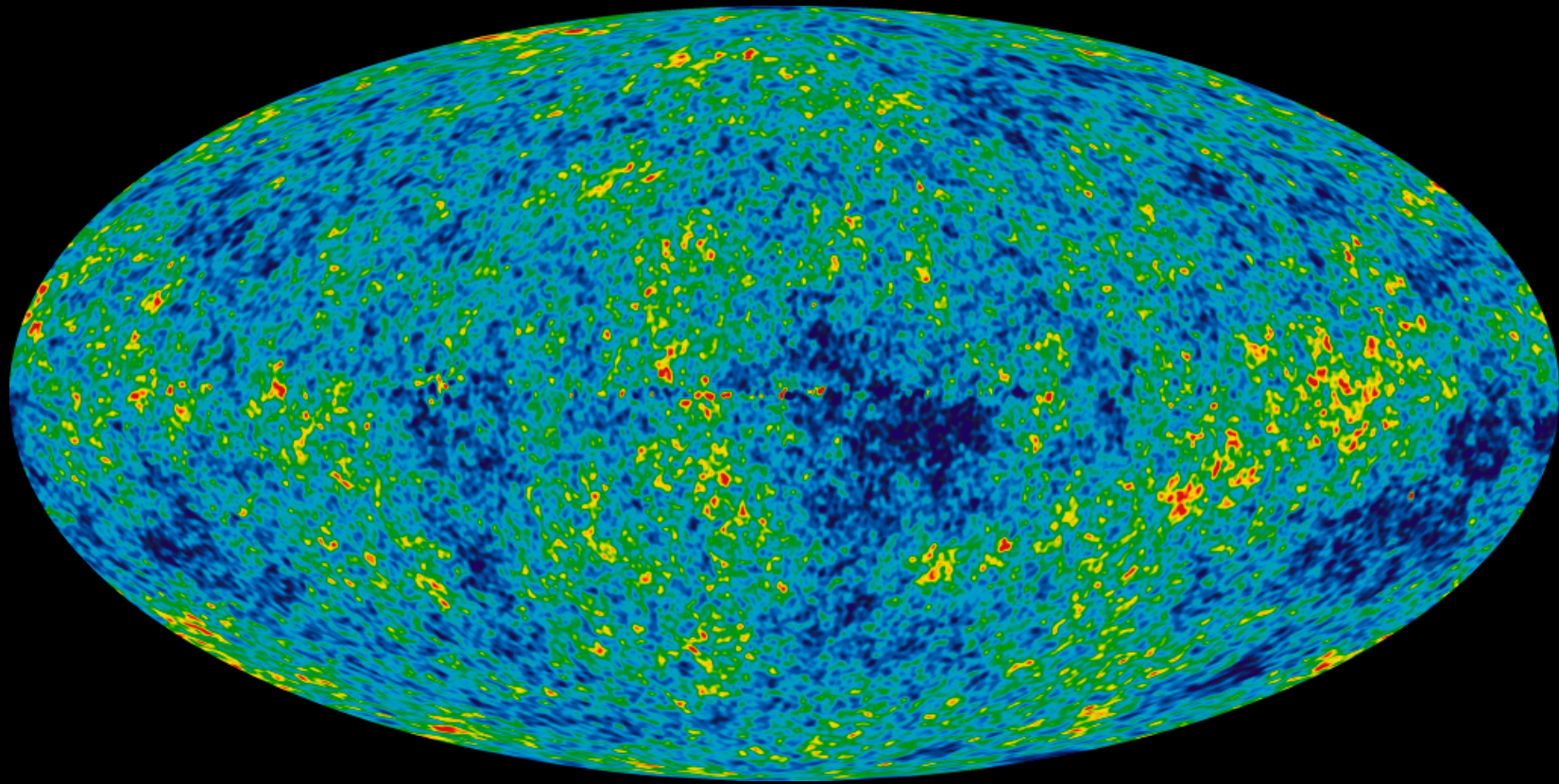
# Notre appareil photo: le satellite WMAP



# Le photo de l'Univers infantile (400'000 ans après le Big Bang)



# Le photo de l'Univers infantile (400'000 ans après le Big Bang)



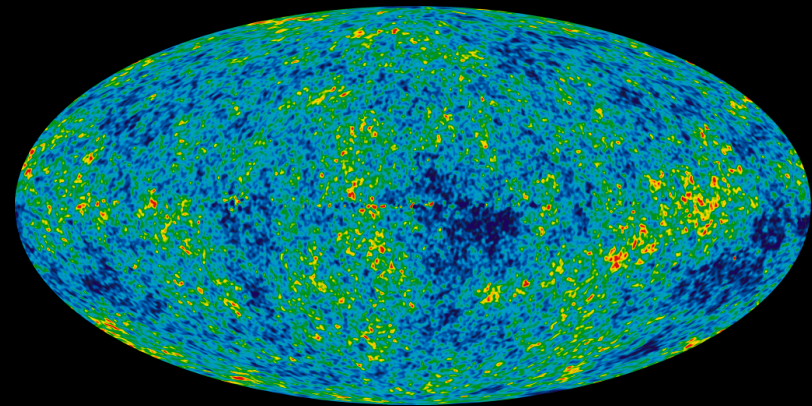
jaune/rouge: Univers un peu plus chaud  
bleu: Univers un peu plus froid

# Le photo de l'Univers infantile

(400'000 ans après le Big Bang)

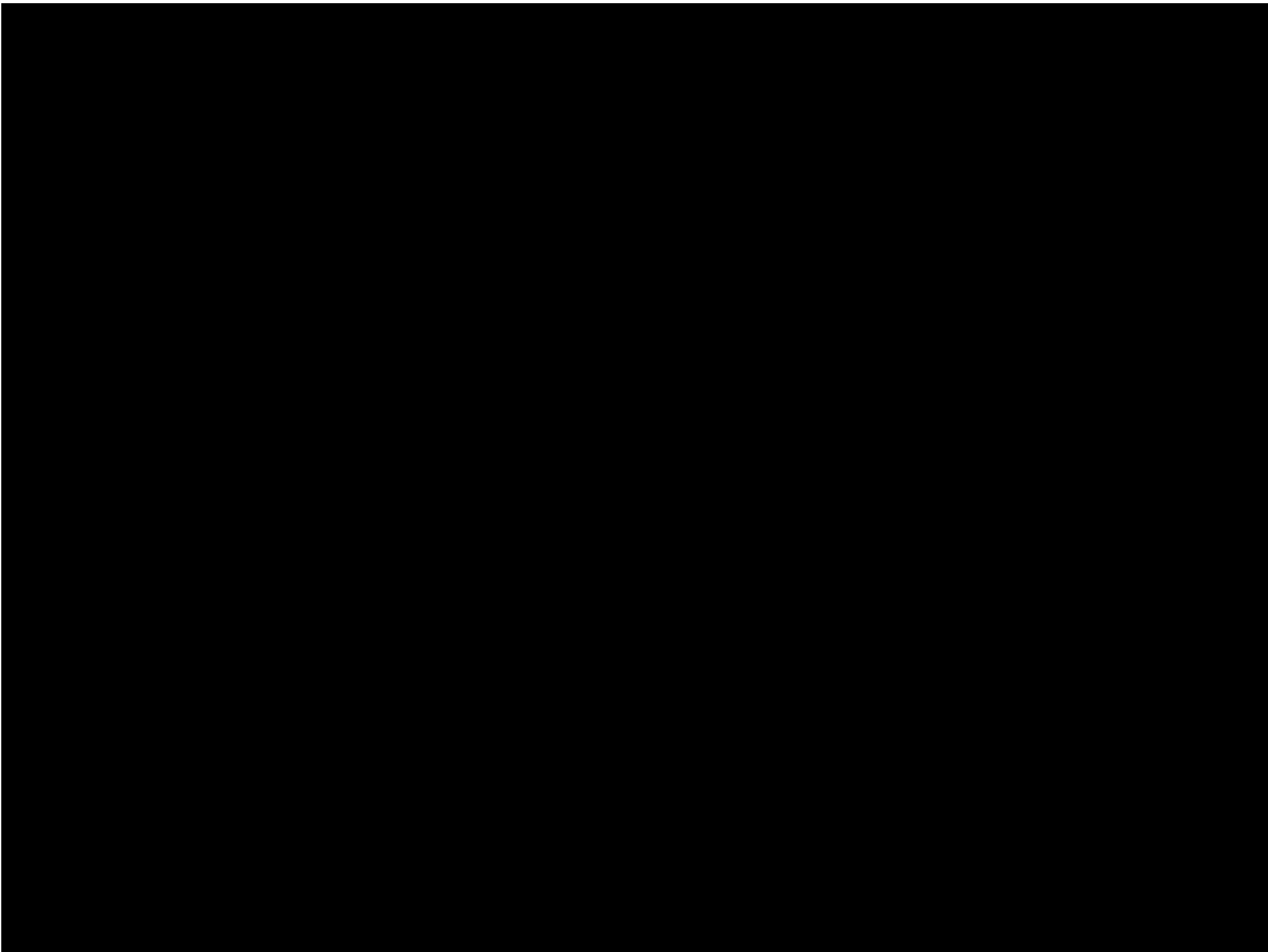
Le fond diffus et ces fluctuations nous enseignent beaucoup de choses sur notre Univers:

- son origine (évidence pour le Big Bang)
- son contenu
- sa géométrie
- l'Univers très jeune
- l'origine des galaxies etc.
- ...



# L'Univers aujourd'hui





# Mon travail

pourquoi je suis ici?

⇒ pour comprendre l'Univers / questions fondamentales

# Mon travail

qu'est-ce que je fais tous les jours?

# Mon travail

qu'est-ce que je fais tous les jours?



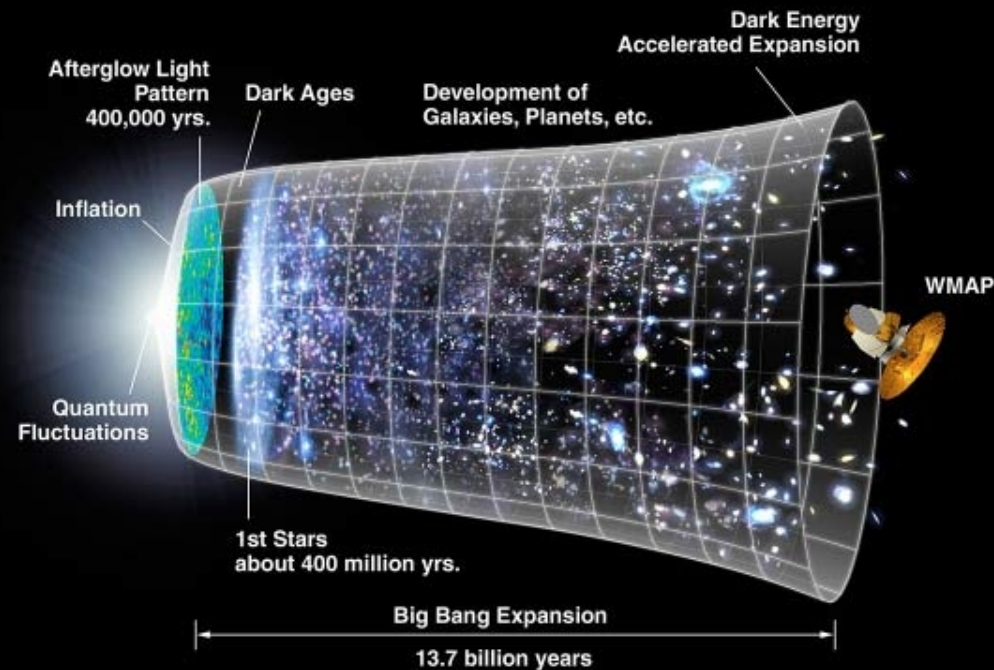
# Mon travail

tous les chercheurs sont très spécialisés

⇒ normalement on ne trouve pas des réponses aux questions très fondamentales :o)

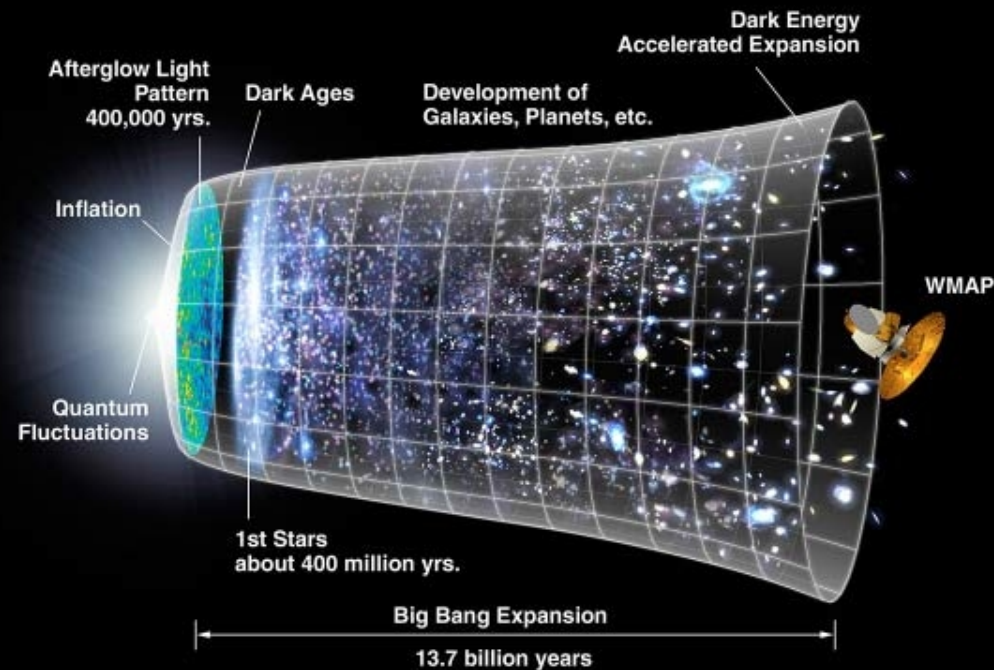
# Mon travail

mon sujet: comment on peut distinguer la radiation des galaxies de celle du fond diffus?



# Mon travail

mon sujet: comment on peut distinguer la radiation des galaxies de celle du fond diffus?



⇒ en utilisant les propriétés statistiques de la distribution des galaxies

# Mon travail

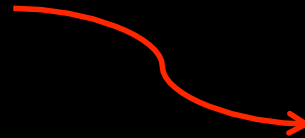
je fais donc des calculs de ces propriétés statistiques:

$$\begin{aligned}
 \langle (\hat{C}_I - C_I)(\hat{C}_V - C_V) \rangle &= \langle \hat{C}_I C_V \rangle - C_I C_V \\
 &= \frac{1}{N^2} \sum_{\mathbf{j}\mathbf{j}'} \langle |T_I(\mathbf{j})|^2 |T_V(\mathbf{j}')|^2 \rangle - C_I C_V \\
 &= \frac{1}{N^2} \frac{1}{N^8} \sum_{\mathbf{j}\mathbf{j}'} \sum_{n_1, n_2, n_3, n_4} \langle a_{n_1} a_{n_2}^* a_{n_3} a_{n_4}^* \rangle e^{2\pi i[(n_1 - n_2)\mathbf{j} + (n_3 - n_4)\mathbf{j}'] / N} \\
 &\quad W_I(\mathbf{k}_{n_1}) W_I(\mathbf{k}_{n_2}) W_V(\mathbf{k}_{n_3}) W_V(\mathbf{k}_{n_4}) - C_I C_V \\
 &= \frac{1}{N^2} \frac{1}{N^4} \sum_{n_1, n_3} \langle a_{n_1} a_{n_1}^* a_{n_3} a_{n_3}^* \rangle W_I(\mathbf{k}_{n_1}) W_V(\mathbf{k}_{n_3}) - C_I C_V \\
 &= \frac{1}{N^2} \frac{1}{N^4} \sum_{n_1, n_3} \frac{N^8}{L^4} [C_I C_V + 2C_I^2 \delta_{n_1, n_3}] W_I(\mathbf{k}_{n_1}) W_V(\mathbf{k}_{n_3}) - C_I C_V \\
 &= C_I C_V + \frac{2}{\sum_{\mathbf{n}} W_I(\mathbf{k}_{\mathbf{n}})} C_I^2 \delta_W - C_I C_V \\
 &= \frac{2}{\sum_{\mathbf{n}} W_I(\mathbf{k}_{\mathbf{n}})} C_I^2 \delta_W . \tag{29}
 \end{aligned}$$

# Mon travail

puis, j'écris un programme qui résout ces équations:

$$\begin{aligned} \langle (\hat{C}_I - C_I)(\hat{C}_V - C_V) \rangle &= \langle \hat{C}_I C_V \rangle - C_I C_V \\ &= \frac{1}{N^2} \sum_{j,j'} \langle |T_I(j)|^2 |T_V(j')|^2 \rangle - C_I C_V \\ &= \frac{1}{N^2} \frac{1}{N^8} \sum_{j,j'} \sum_{n_1, n_2, n_3, n_4} \langle a_{n_1} a_{n_2}^* a_{n_3} a_{n_4}^* \rangle e^{2\pi i[(n_1 - n_2)j + (n_3 - n_4)j'] / N} \\ &\quad W_I(k_{n_1}) W_I(k_{n_2}) W_V(k_{n_3}) W_V(k_{n_4}) - C_I C_V \\ &= \frac{1}{N^2} \frac{1}{N^4} \sum_{n_1, n_3} \langle a_{n_1} a_{n_1}^* a_{n_3} a_{n_3}^* \rangle W_I(k_{n_1}) W_V(k_{n_3}) - C_I C_V \\ &= \frac{1}{N^2} \frac{1}{N^4} \sum_{n_1, n_3} \frac{N^8}{L^4} [C_I C_V + 2C_I^2 \delta_{n_1, n_3}] W_I(k_{n_1}) W_V(k_{n_3}) - C_I C_V \\ &= C_I C_V + \frac{2}{\sum_n W_I(k_n)} C_I^2 \delta_{IV} - C_I C_V \\ &= \frac{2}{\sum_n W_I(k_n)} C_I^2 \delta_{IV}. \end{aligned} \tag{29}$$



# Mon travail

Quand j'ai des résultats, j'écris un article

arXiv:1108.5354v2 [astro-ph.CO] 1 Dec 2011

## The Kolmogorov-Smirnov test for the CMB

Mona Frommert,<sup>1,2</sup> Ruth Durrer<sup>1</sup> and Jérôme Michaud<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Département de Physique Théorique and Center for Astroparticle Physics,  
Université de Genève, 24 quai Ernest Ansermet, CH-1211 Genève 4, Switzerland

<sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Astrophysik,  
Karl-Schwarzschild-Str. 1, 85741 Garching, Germany

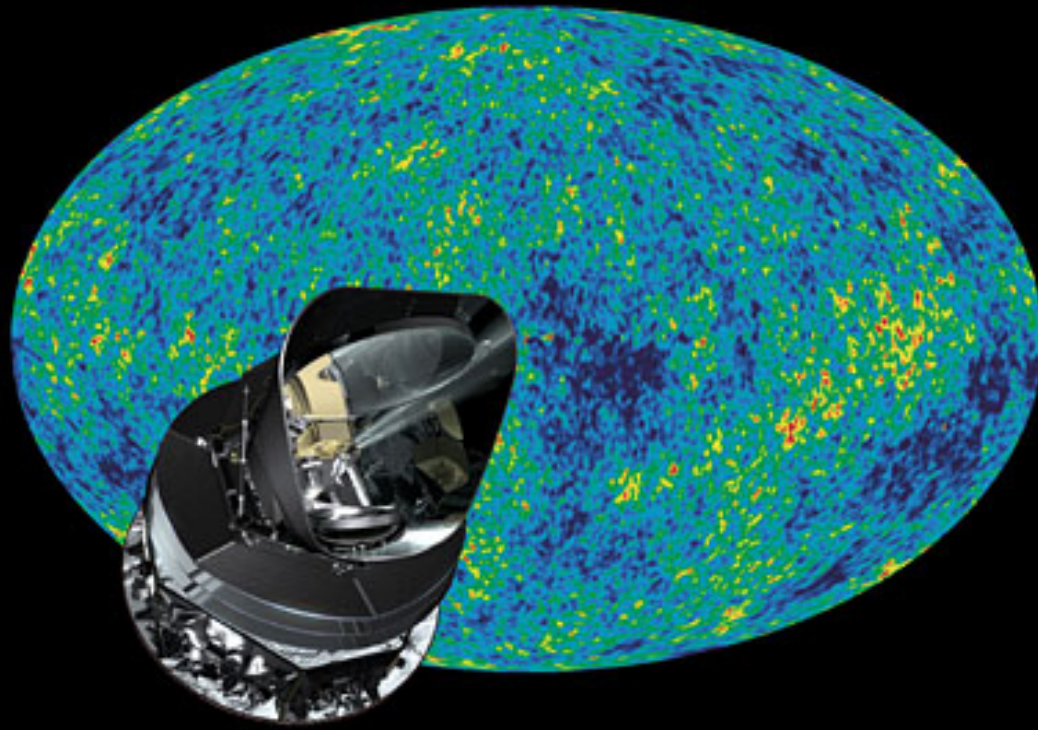
<sup>3</sup>Section des Mathématiques, Université de Genève, 2-4 Rue du Lièvre, CH-1211 Genève 4,  
Switzerland

E-mail: [mona.frommert@unige.ch](mailto:mona.frommert@unige.ch)

**Abstract.** We investigate the statistics of the cosmic microwave background using the Kolmogorov-Smirnov test. We show that, when we correctly de-correlate the data, the partition function of the Kolmogorov stochasticity parameter is compatible with the Kolmogorov distribution and, contrary to previous claims, the CMB data are compatible with Gaussian fluctuations with the correlation function given by standard  $\Lambda$ CDM. We then use the Kolmogorov-Smirnov test to derive upper bounds on residual point source power in the CMB, and indicate the promise of this statistics for further datasets, especially Planck, to search for deviations from Gaussianity and for detecting point sources and Galactic foregrounds.

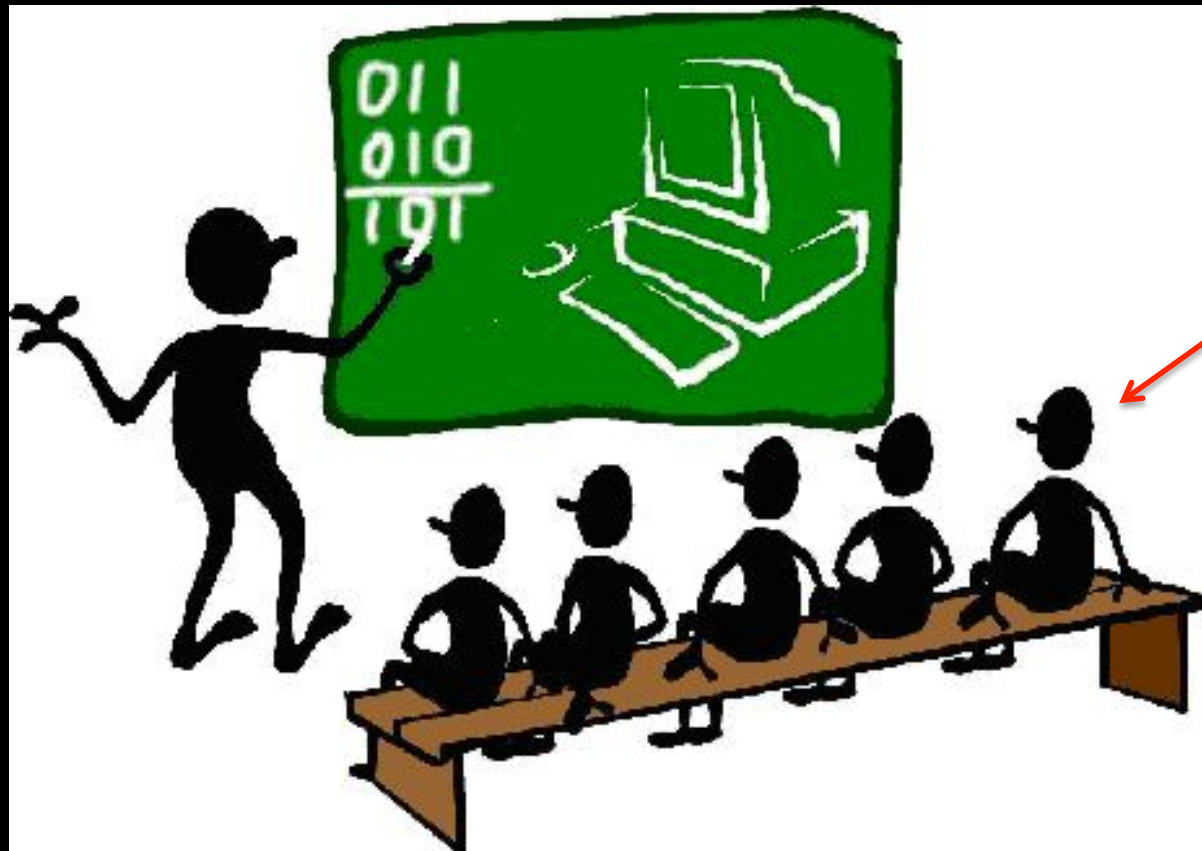
# Mon travail

Je fais tous ça pour analyser les données d'un satellite nommé 'Planck' (qui mesure le fond diffus):



# Mon travail

Je vais à des séminaires



# Mon travail

Des fois c'est moi qui donne les séminaires

