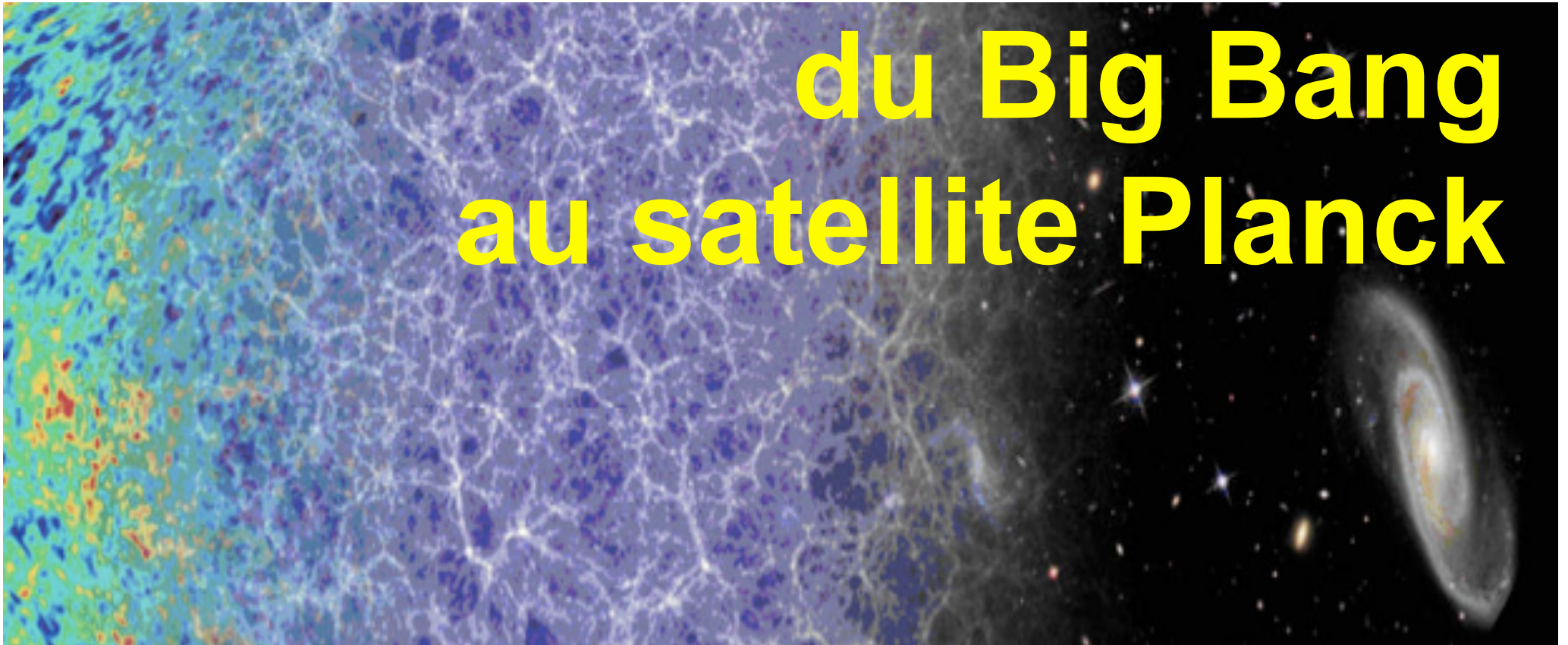


L'origine de l'univers:

du Big Bang au satellite Planck



Hervé Dole

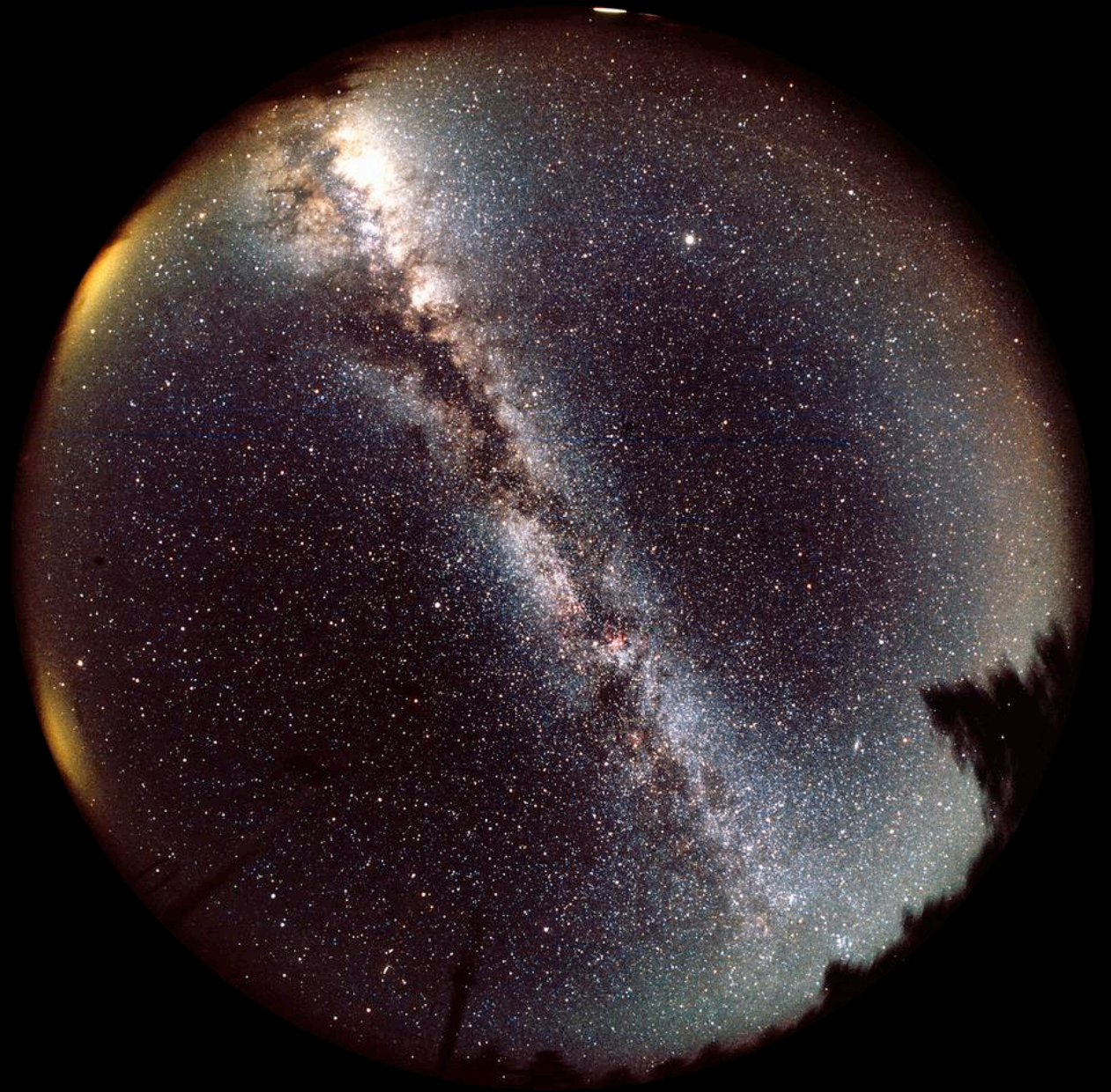
Maître de conférences

Institut d'Astrophysique Spatiale

Université Paris Sud 11 & CNRS, Orsay

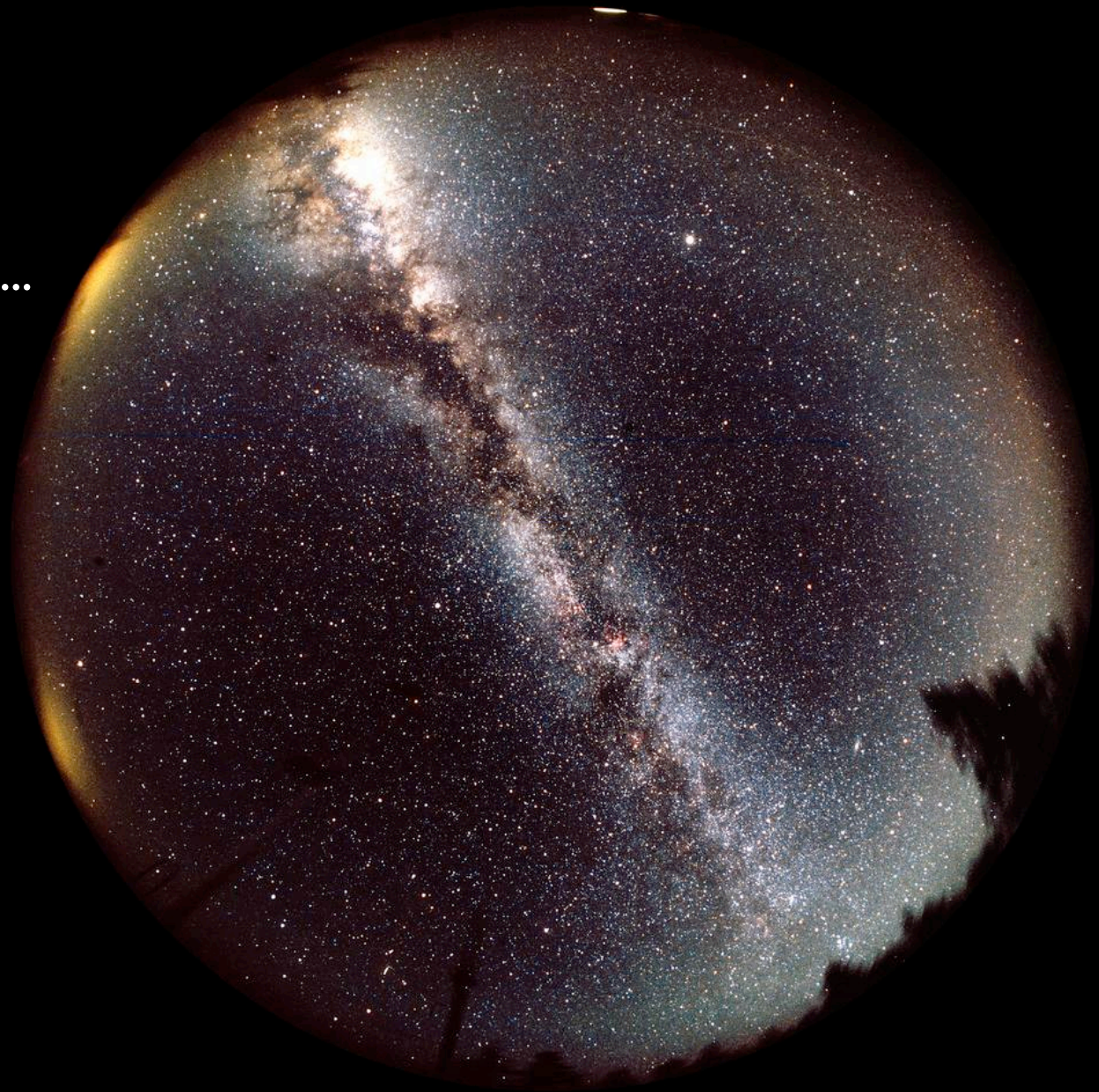
<http://www.ias.u-psud.fr/irgalaxies>

La nuit ...



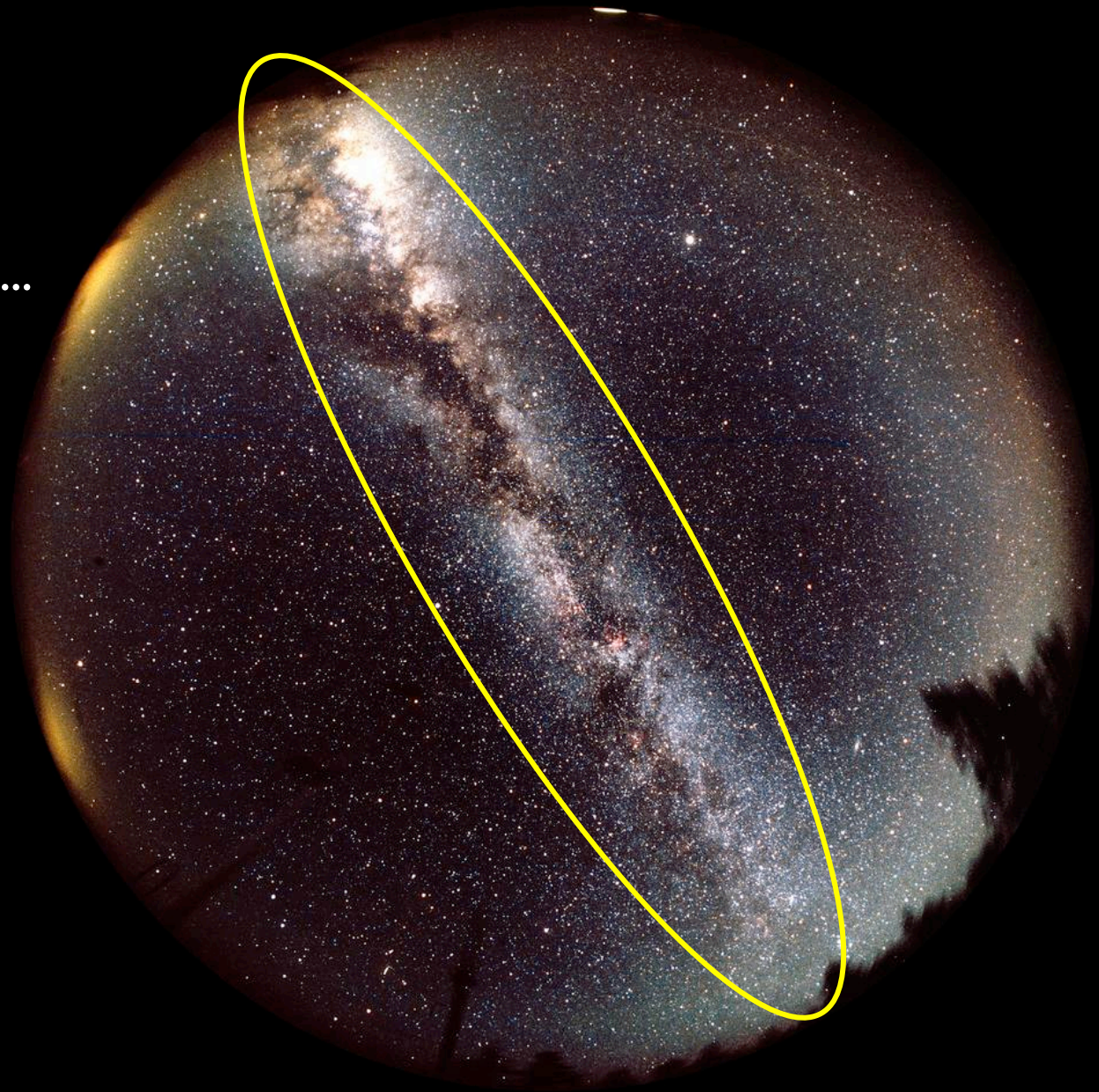
La nuit ...

- ❑ Pollution lumineuse...



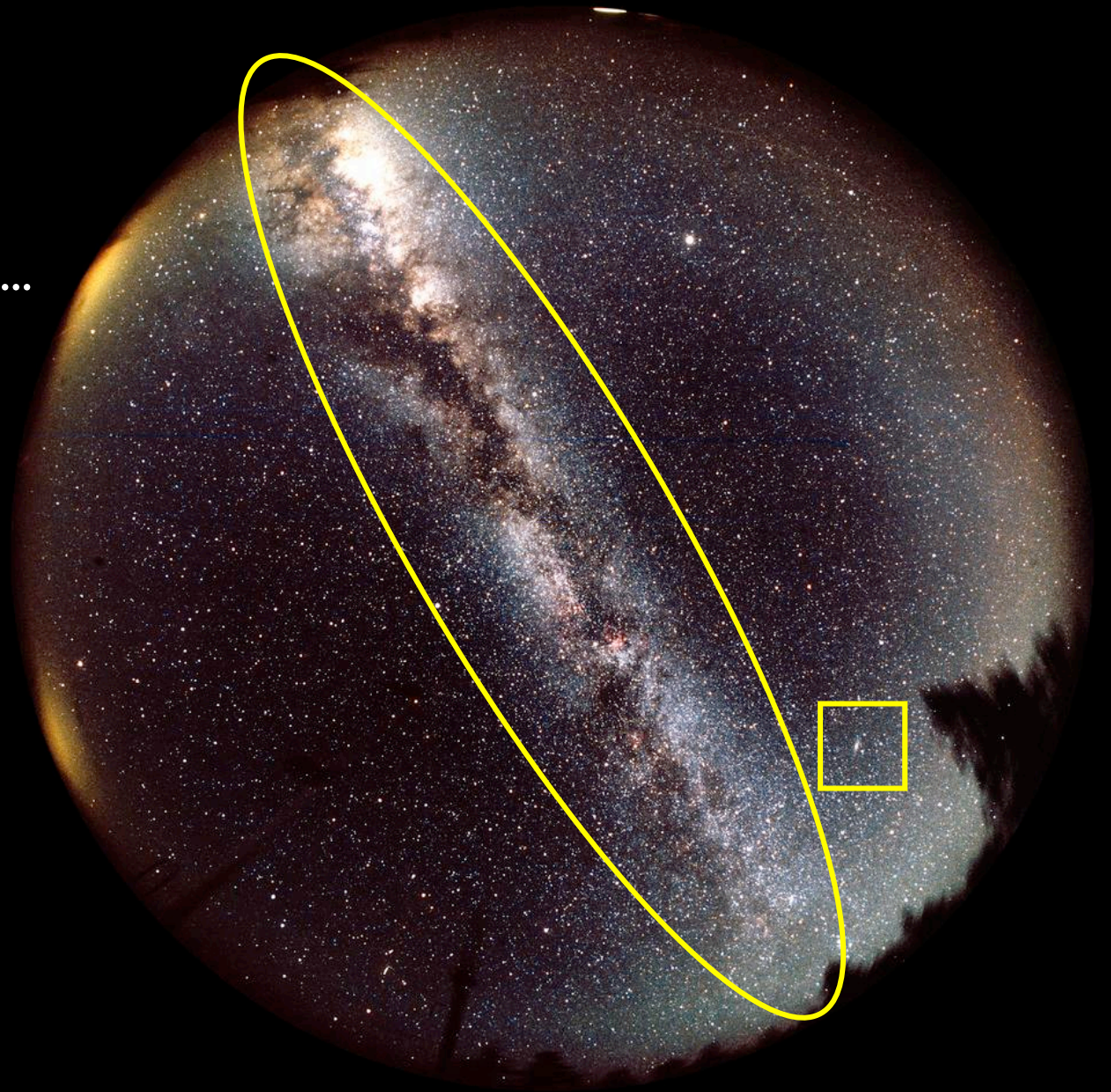
La nuit ...

- ❑ Pollution lumineuse...
- ❑ Notre Galaxie



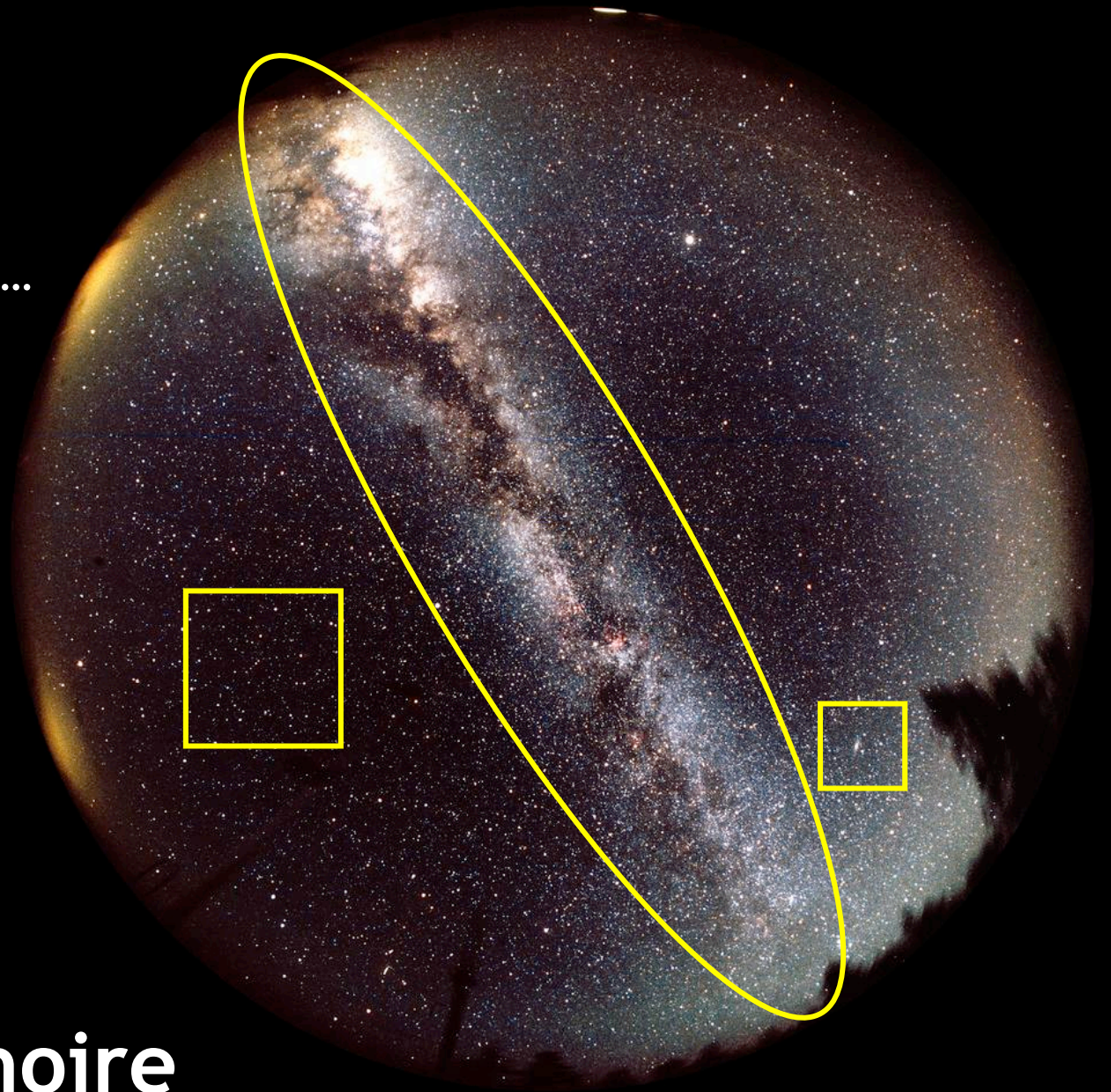
La nuit ...

- Pollution lumineuse...
- Notre Galaxie
- Autres galaxies



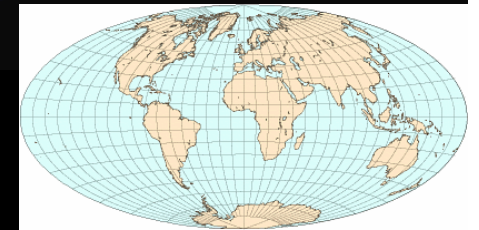
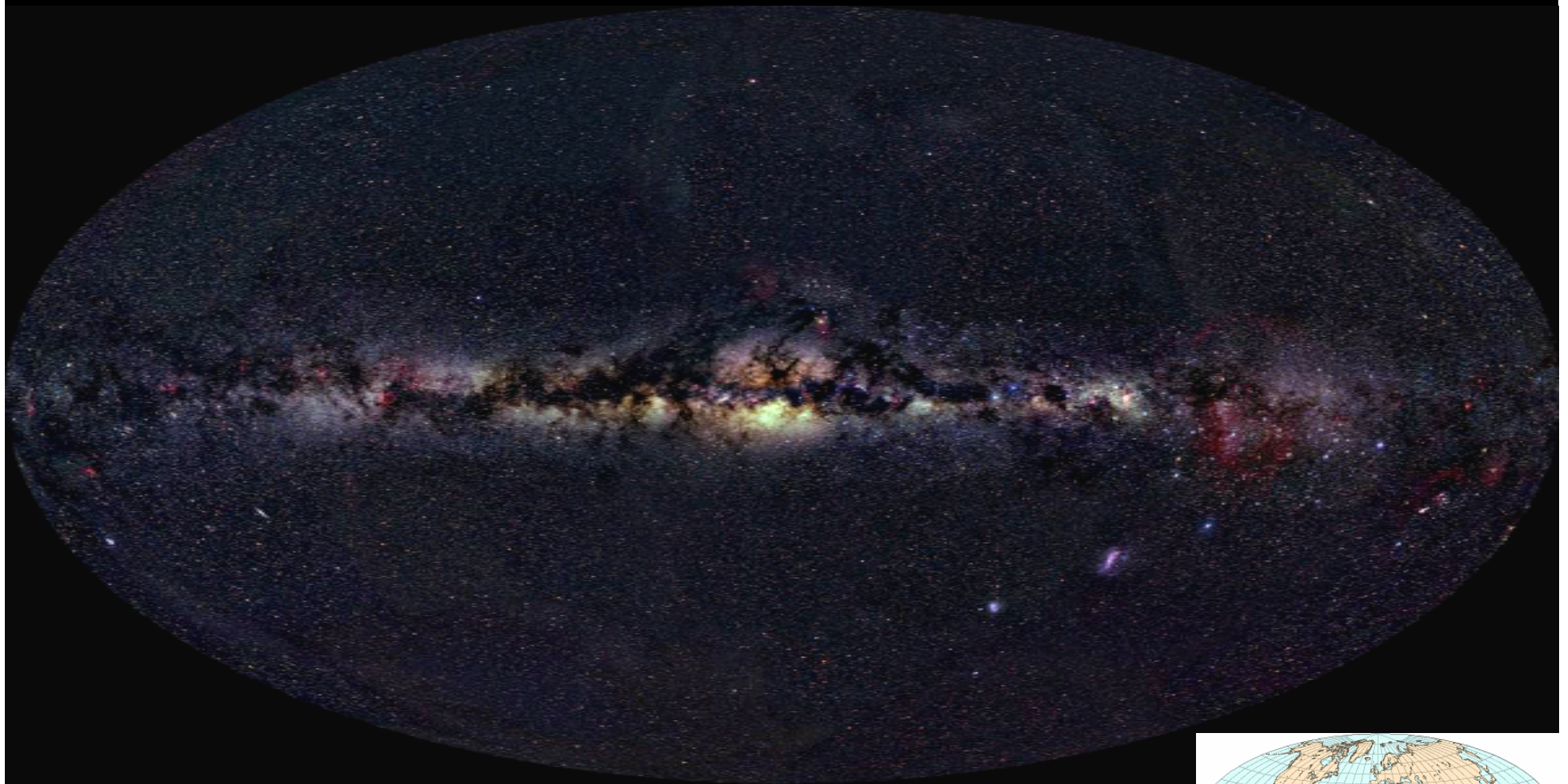
La nuit ...

- Pollution lumineuse...
- Notre Galaxie
- Autres galaxies
- Etoiles et ciel noir



... semble noire

Le ciel dans le visible

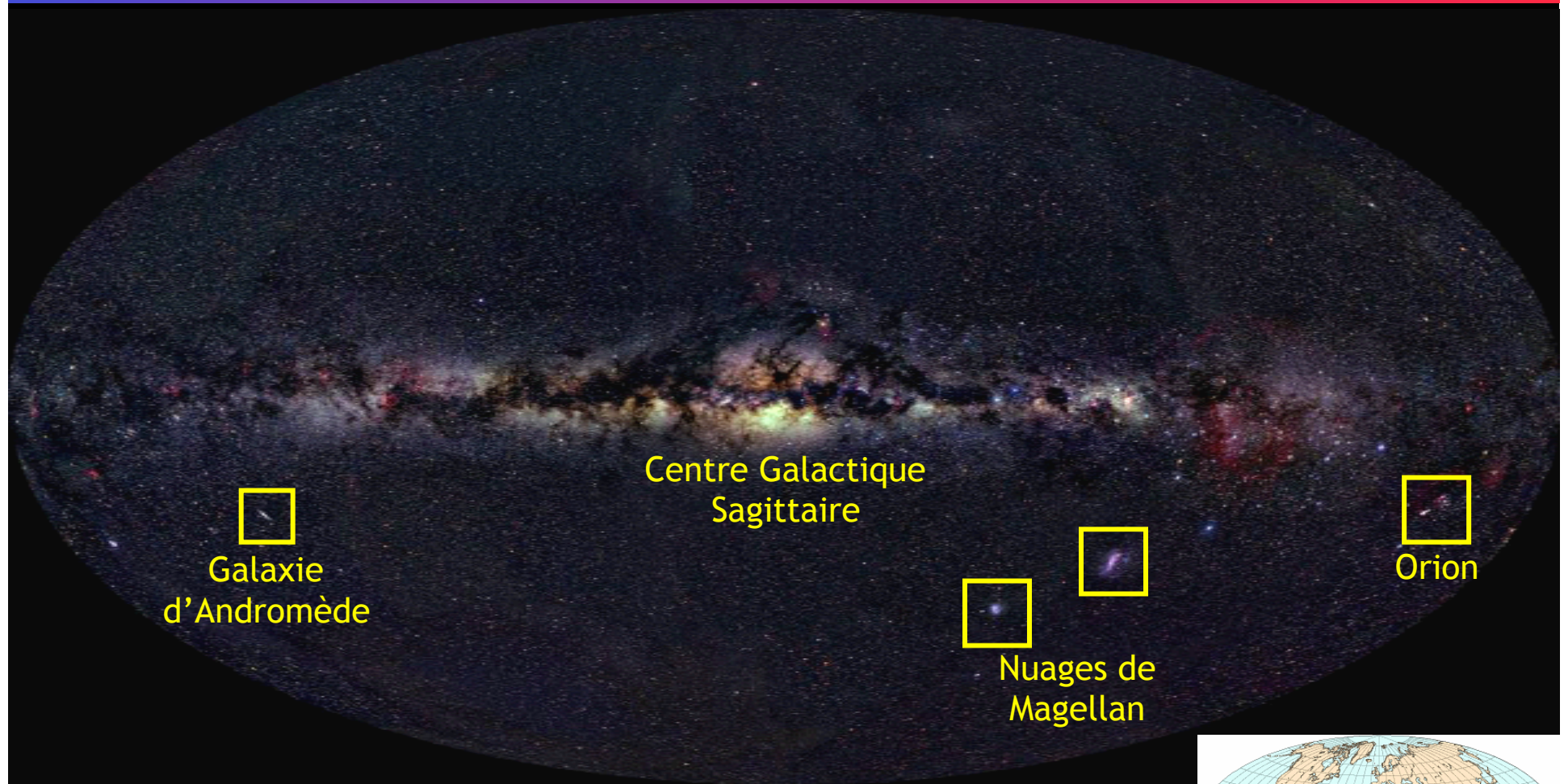


Projection de Mollweide
en coordonnées Galactiques

Axel Mellinger

http://canopus.physik.uni-potsdam.de/~axm/mwpan/mwpan_web.html

Le ciel dans le visible

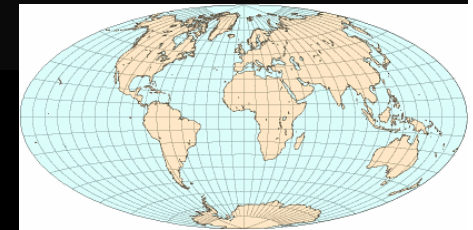


Galaxie
d'Andromède

Centre Galactique
Sagittaire

Nuages de
Magellan

Orion

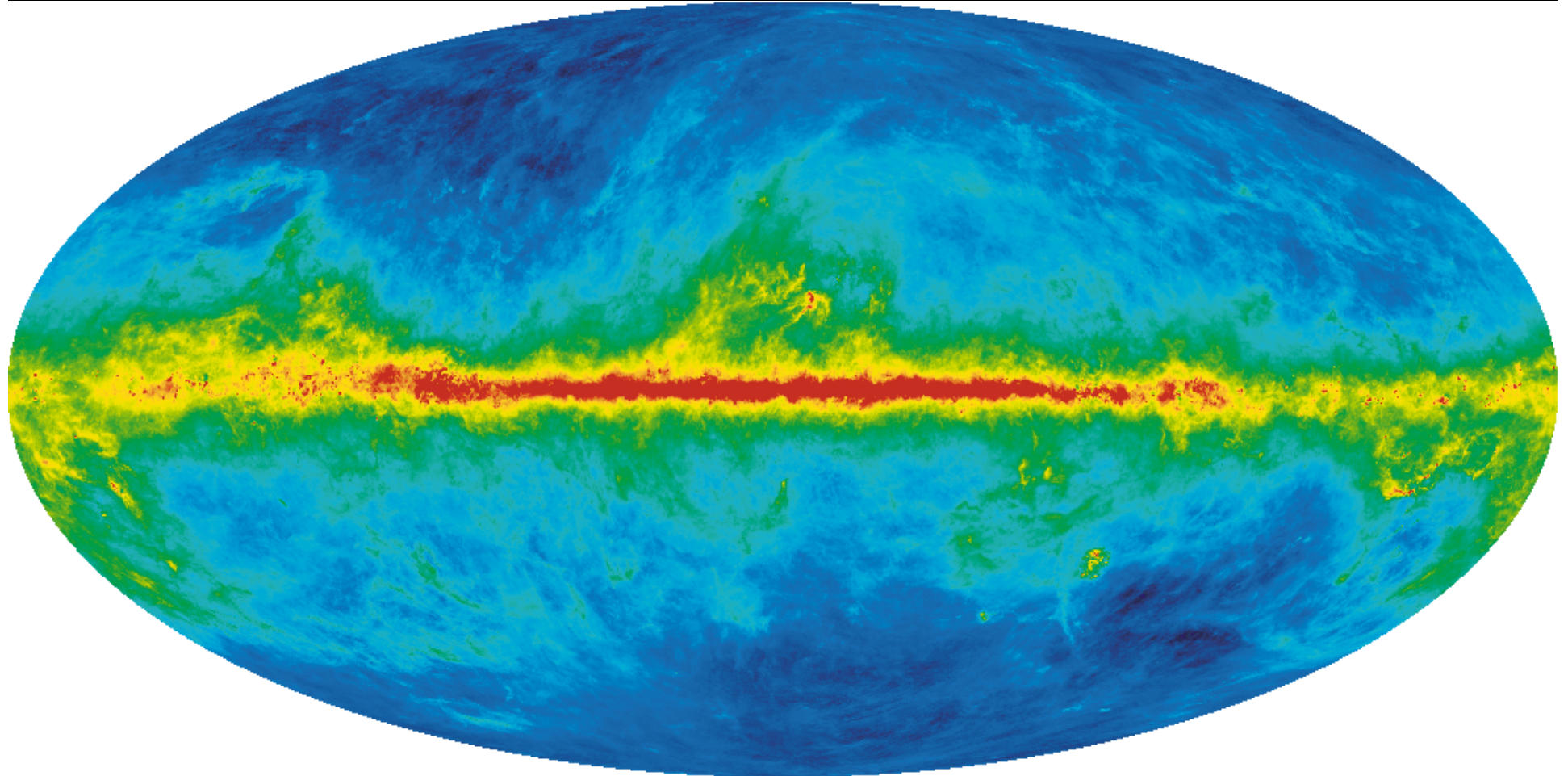


Projection de Mollweide
en coordonnées Galactiques

Axel Mellinger

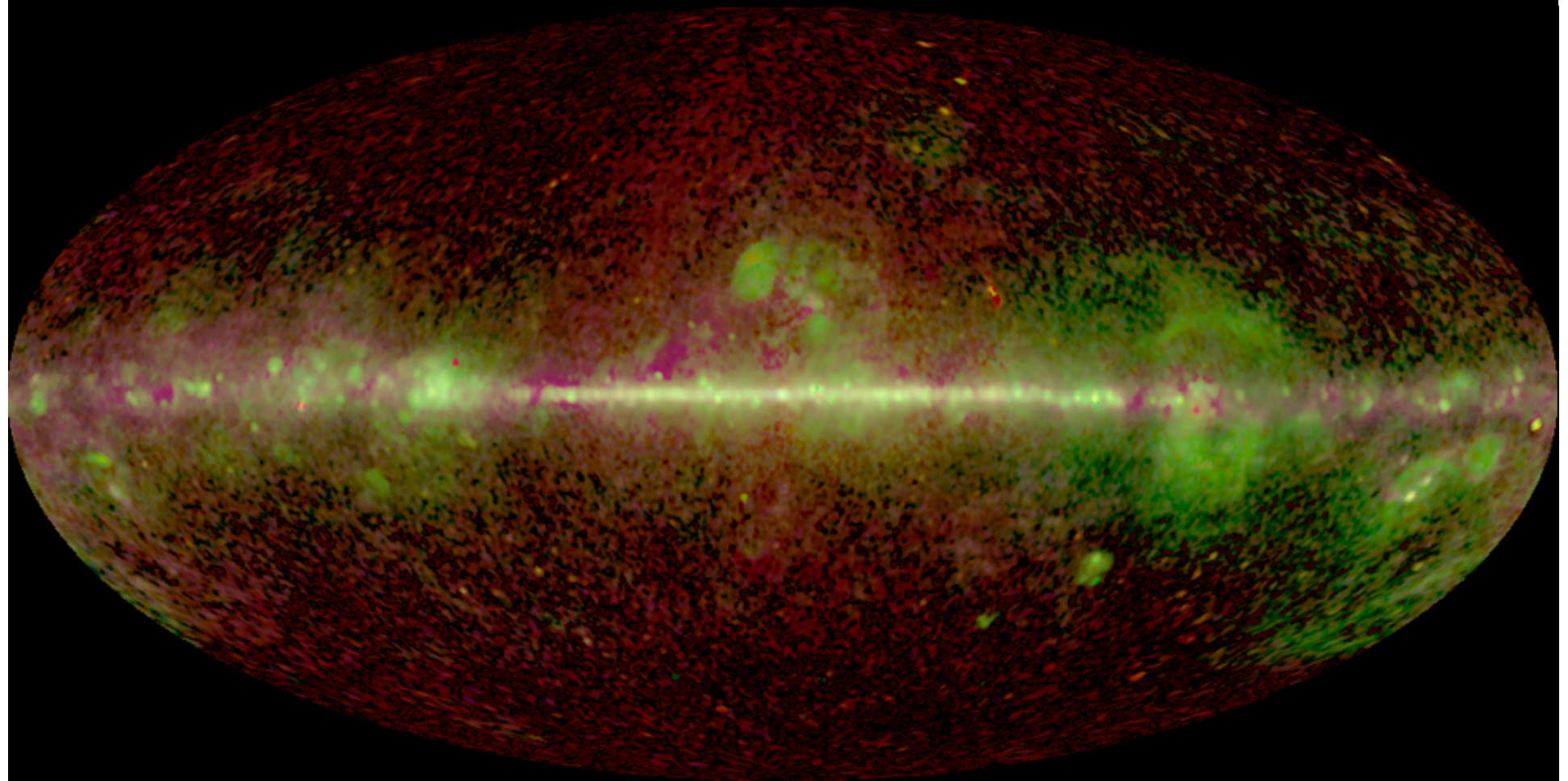
http://canopus.physik.uni-potsdam.de/~axm/mwpan/mwpan_web.html

Le ciel en infrarouge



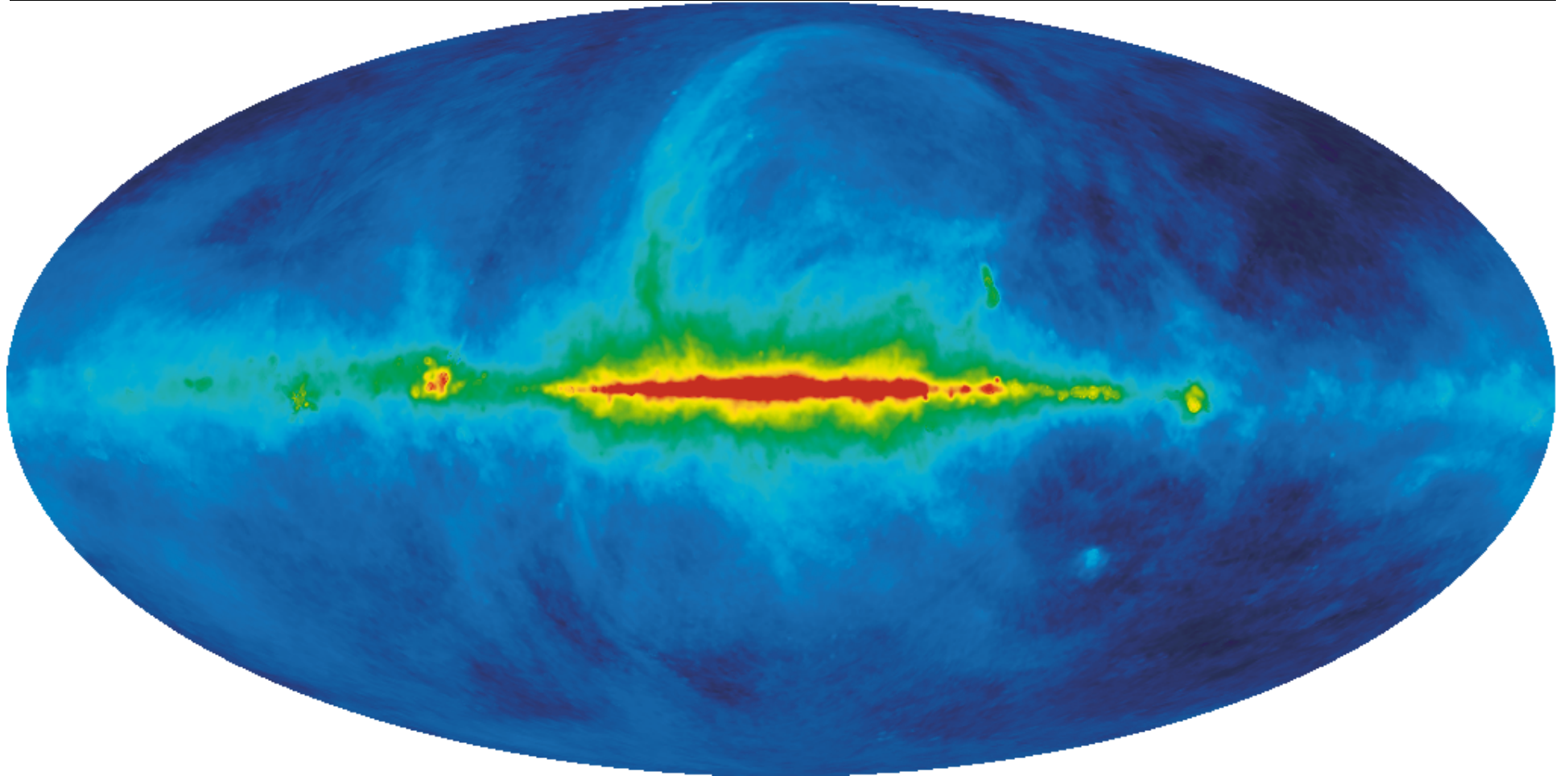
IRAS 100um IRIS

Le ciel en micro-ondes [mm]



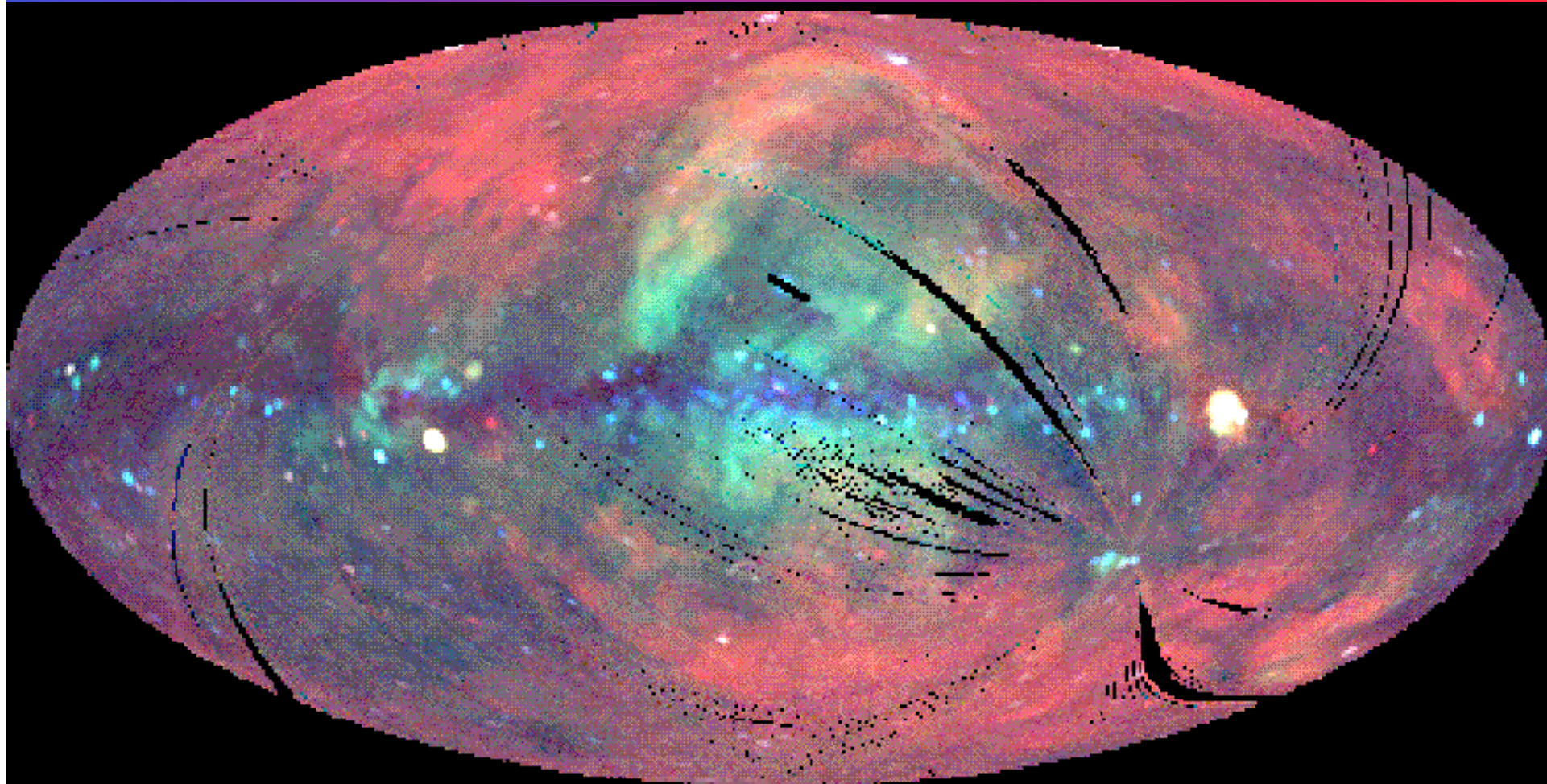
WMAP 3yr 43GHz 7mm

Le ciel en ondes radio



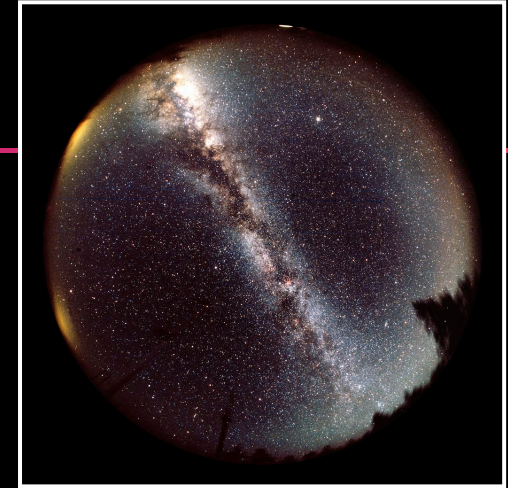
21 cm Leiden/Parkes

Le ciel en rayons-X



ROSAT

La nuit ...



- est noire dans le domaine visible
- apparaît **brillante**
 - En infrarouge
 - Dans le domaine submillimétrique
 - En radio
 - Dans les rayons X

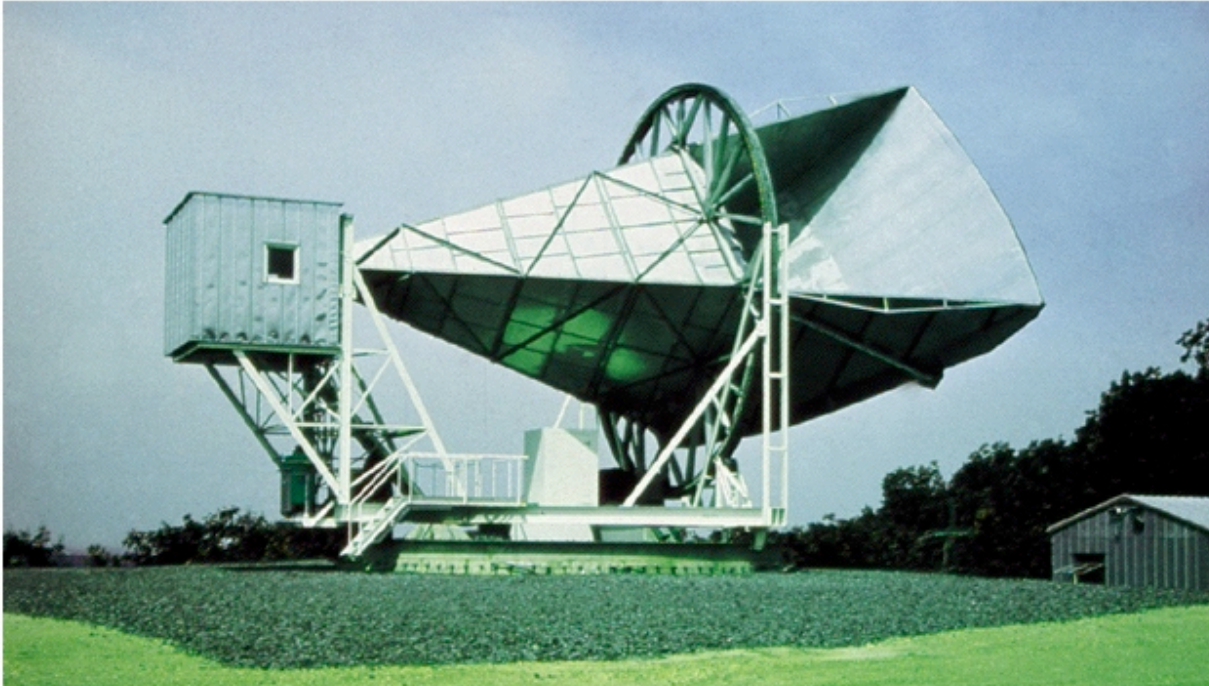
- Pourquoi existe t-il de telles **différences** ?
- Quelles sont les **origines** de ces rayonnements ?

- Ces rayonnements nous renseignent-ils sur la **formation** et l'**évolution** de l'**Univers** et de ses **constituants** ?

Plan

- Introduction
- 1. Découverte du rayonnement cosmologique
- 2. Qu'est-ce que le rayonnement cosmologique ?
- 3. Histoire de l'Univers, de son origine à aujourd'hui
- 4. Comment observe t-on le rayonnement cosmologique?
- 5. Les grandes questions
- 6. Ce que le satellite Planck nous apporte

1. Rayonnement radio en 1964



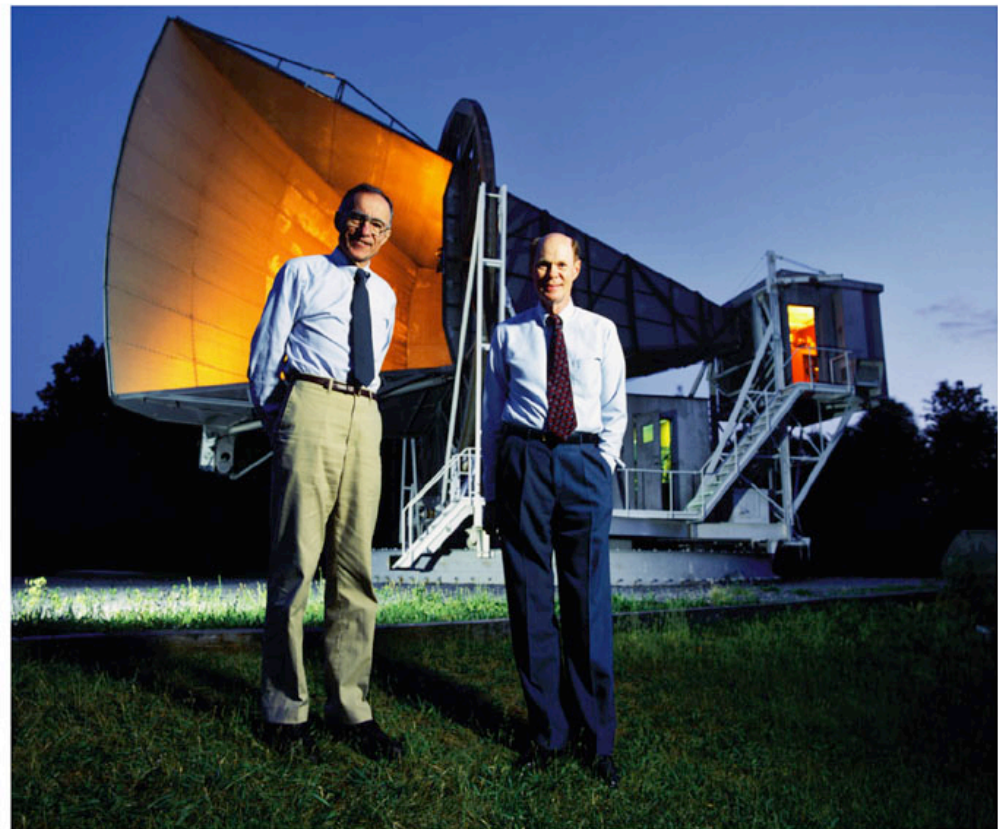
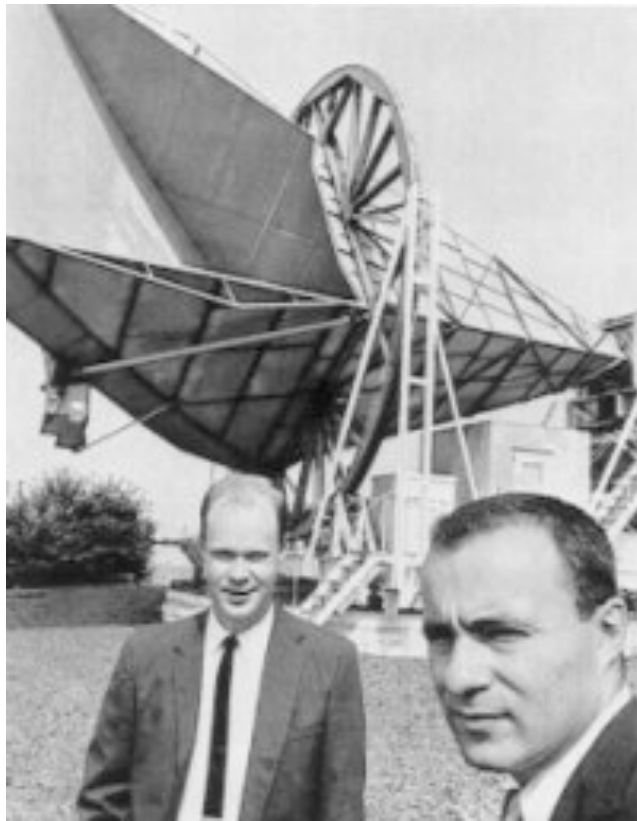
Bell Labs, New Jersey, 1964



Le fond diffus cosmologique

Découvert en 1965 par
Arno Penzias & Robert Wilson.

Prix Nobel 1978 "for their discovery of the
cosmic microwave background radiation"

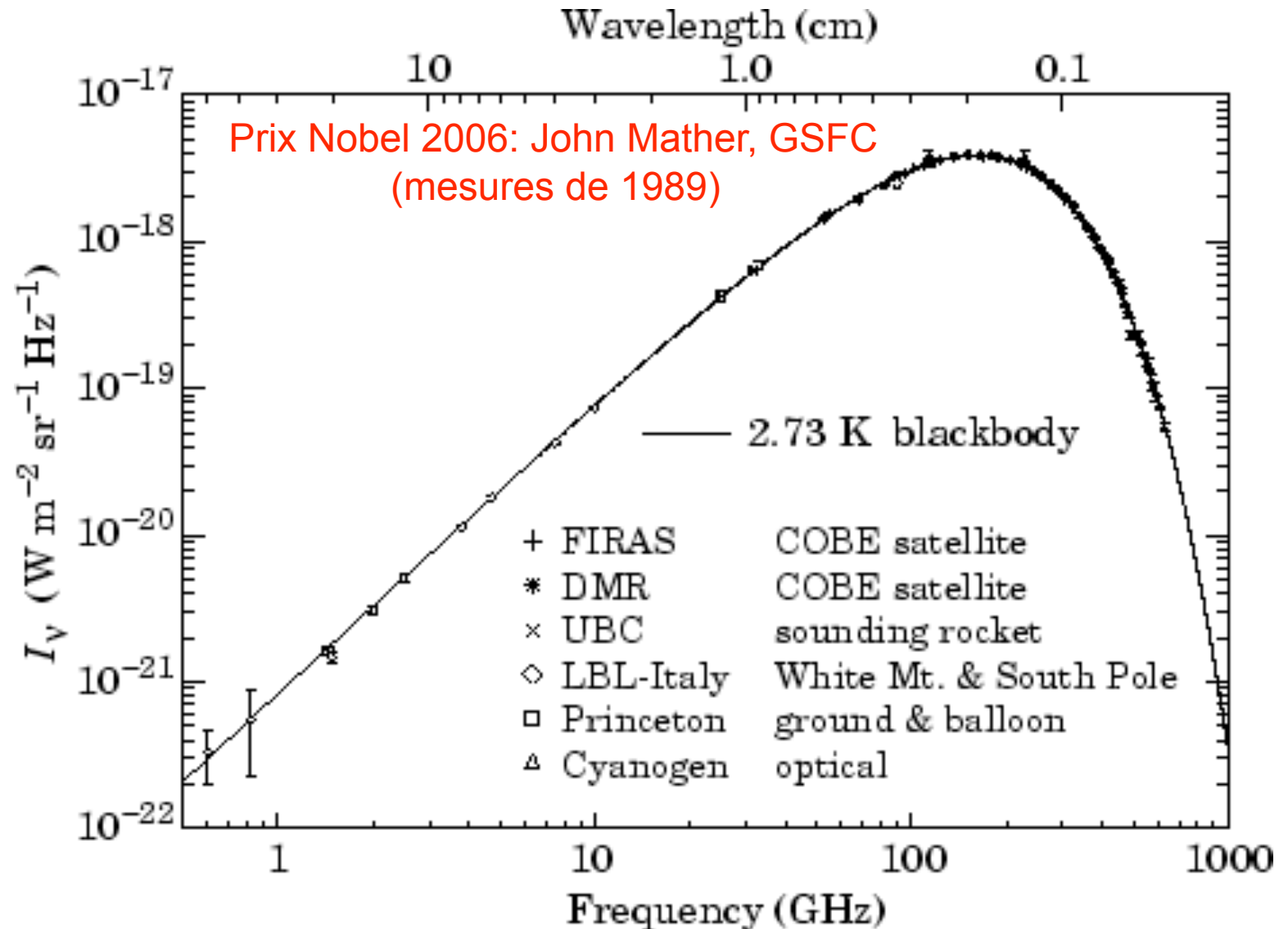


Copyright © 2004 Pearson Education, publishing as Addison Wesley.

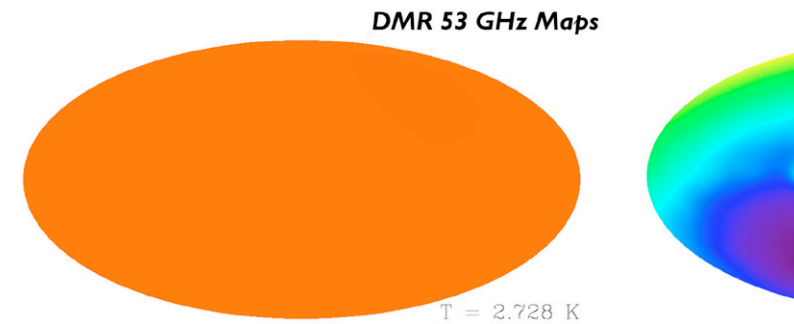
Propriétés du fond diffus cosmologique

Corps noir
 $T=2.725\text{ K}$

L'Univers est rempli de rayonnement:
la nuit n'est pas noire,
 mais brillante en radio.

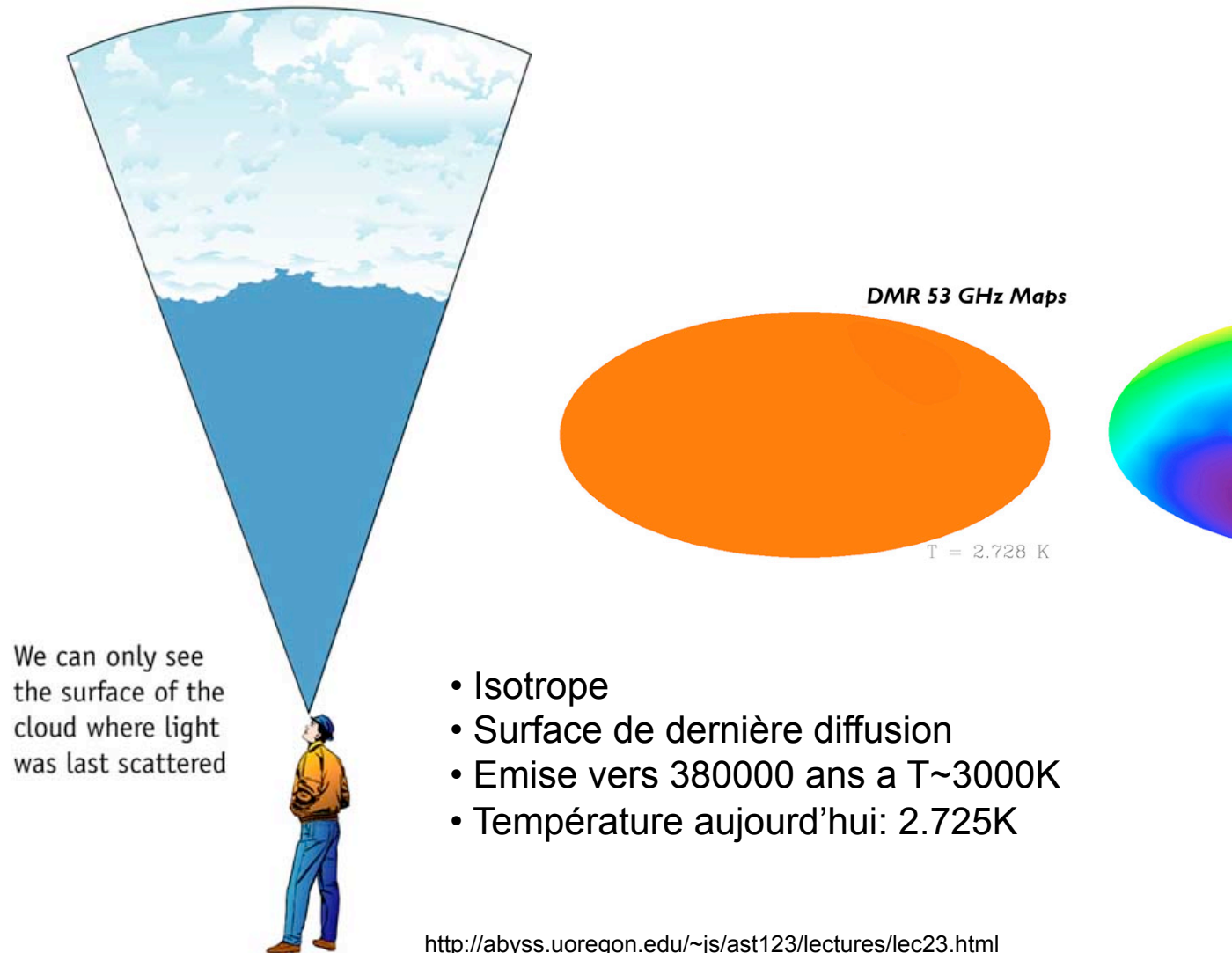


2. Que'est-ce que le rayonnement cosmologique ?

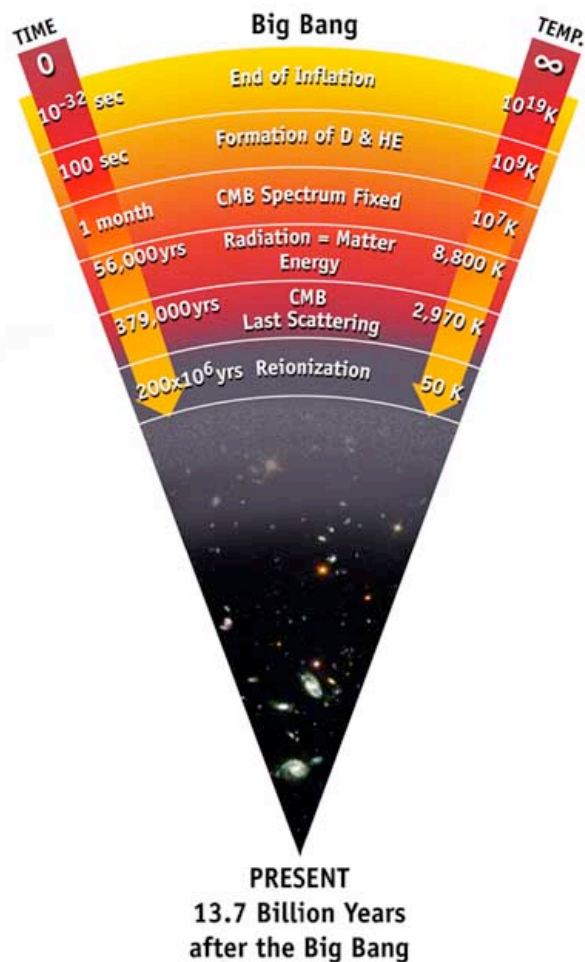


- Isotrope
- Surface de dernière diffusion
- Température: 2.725K

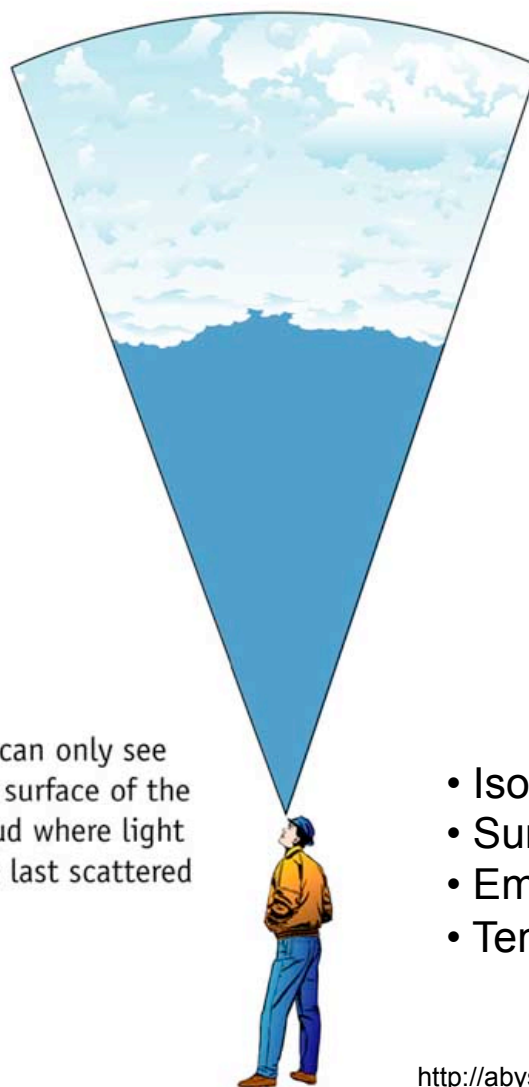
2. Que'est-ce que le rayonnement cosmologique ?



2. Que'est-ce que le rayonnement cosmologique ?

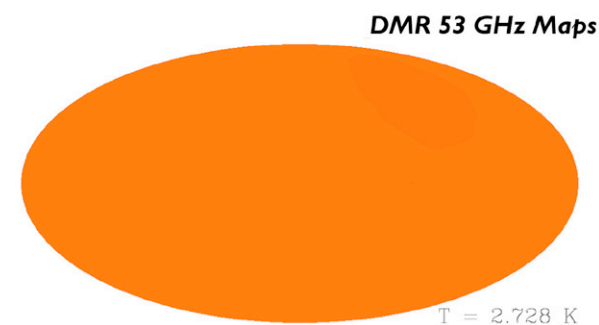


The cosmic microwave background Radiation's "surface of last scatterer" is analogous to the light coming through the clouds to our eye on a cloudy day.



We can only see the surface of the cloud where light was last scattered

- Isotrope
- Surface de dernière diffusion
- Emise vers 380000 ans a $T \sim 3000$ K
- Température aujourd'hui: 2.725 K



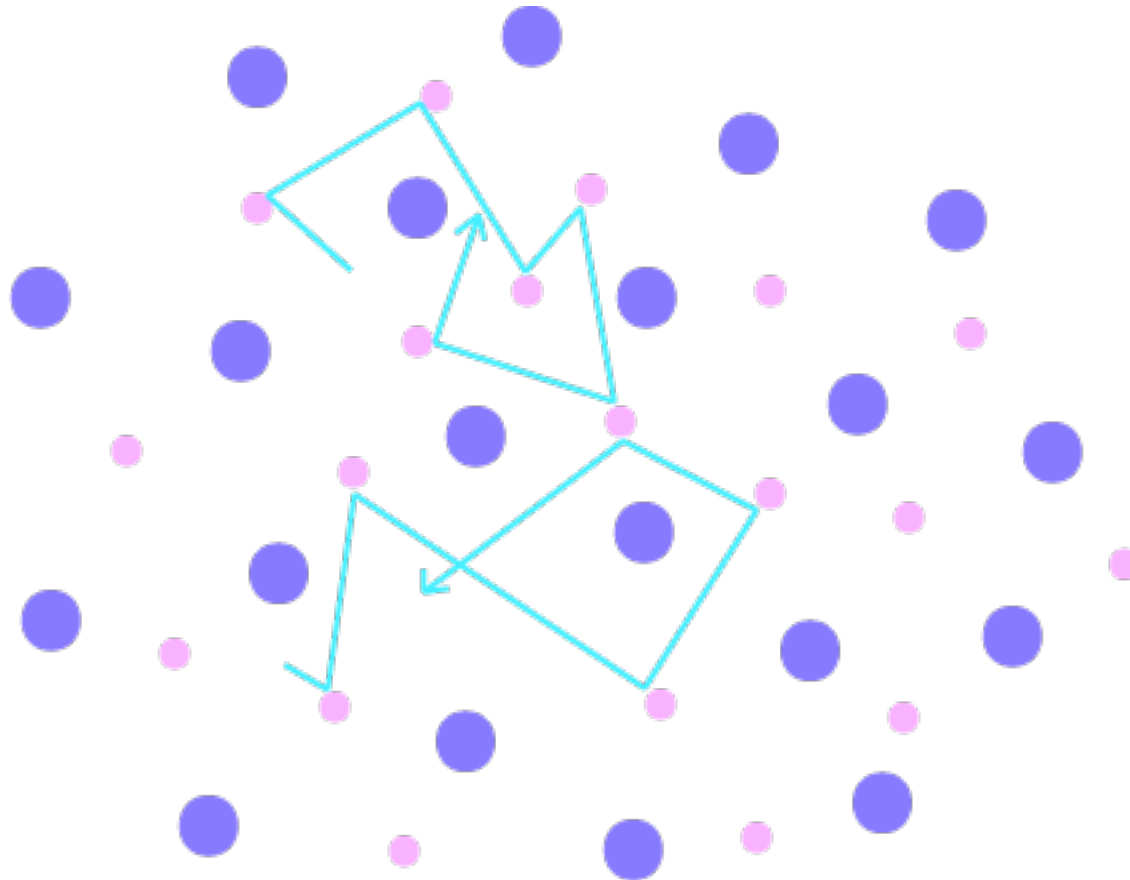
<http://abyss.uoregon.edu/~js/ast123/lectures/lec23.html>

Quand l'Univers devient transparent

Univers **opaque**

Etat de plasma $T > 3000\text{K}$

Les photons diffusent sur les électrons, et sont constamment absorbés et rémis.



- électrons
- protons
- photons

N. Ponthieu

Quand l'Univers devient transparent

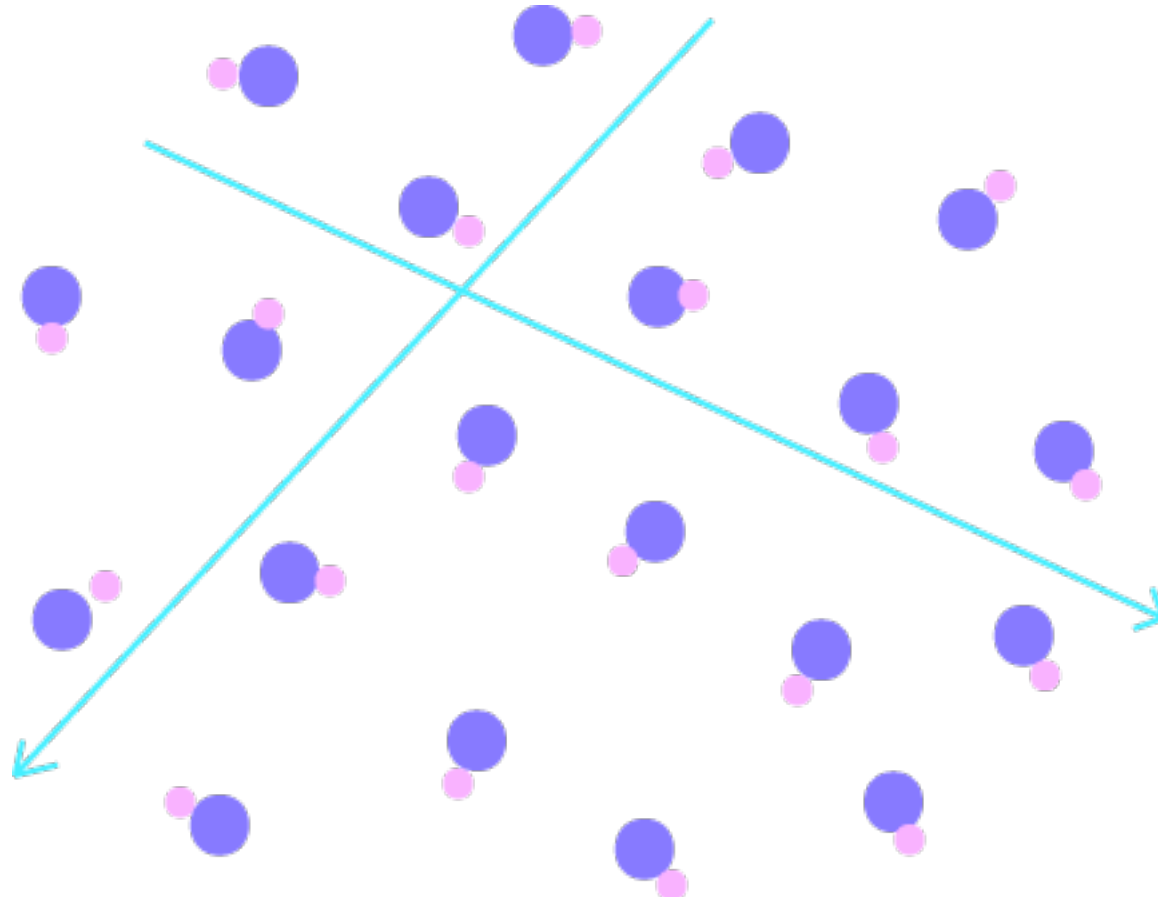
Univers transparent

Etat neutre $T < 3000\text{K}$

Les atomes d'hydrogène sont formés, et les photons se propagent librement.

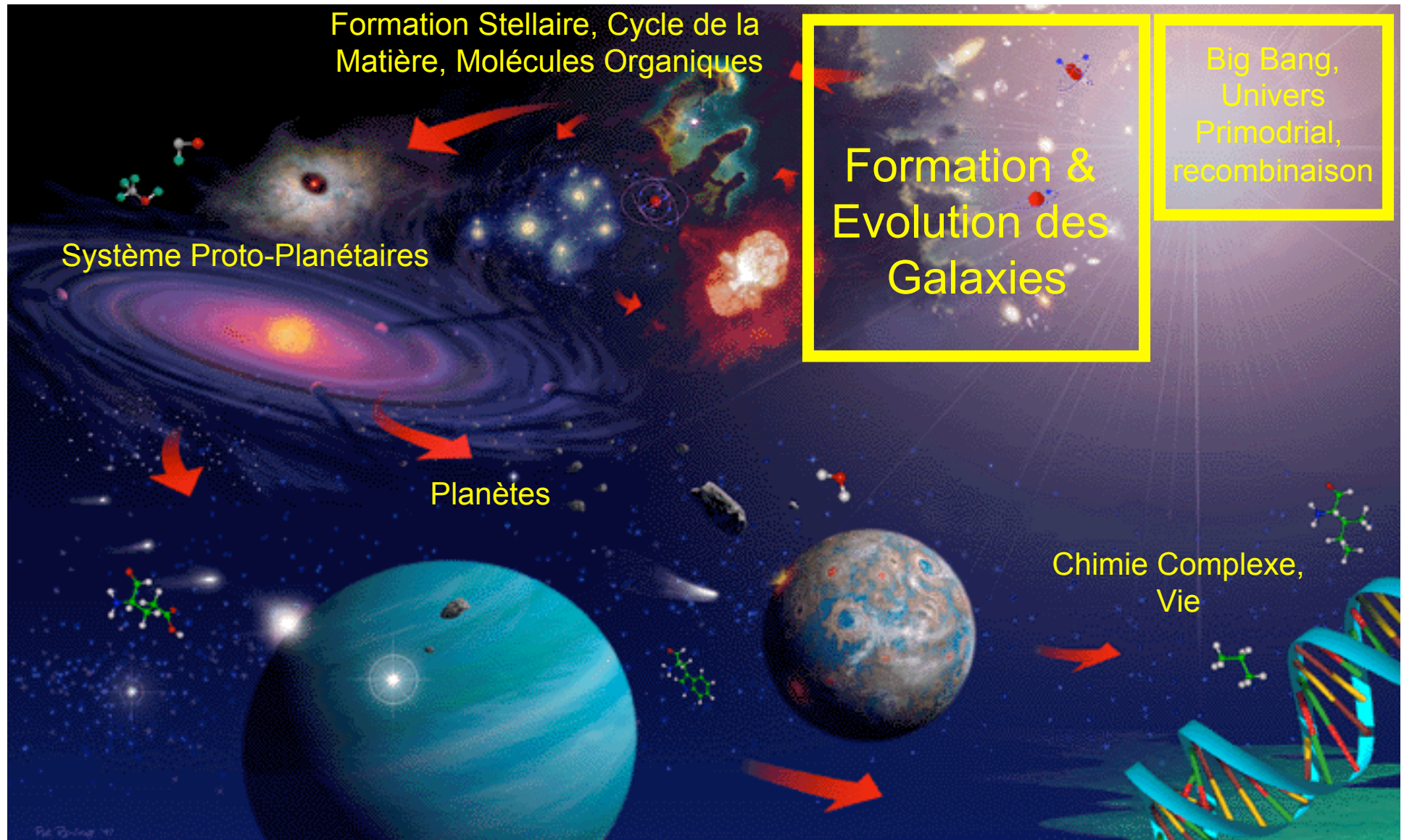
Cette transition a eu lieu vers 380000 ans, soit $z=1100$.

- électrons
- protons
- photons

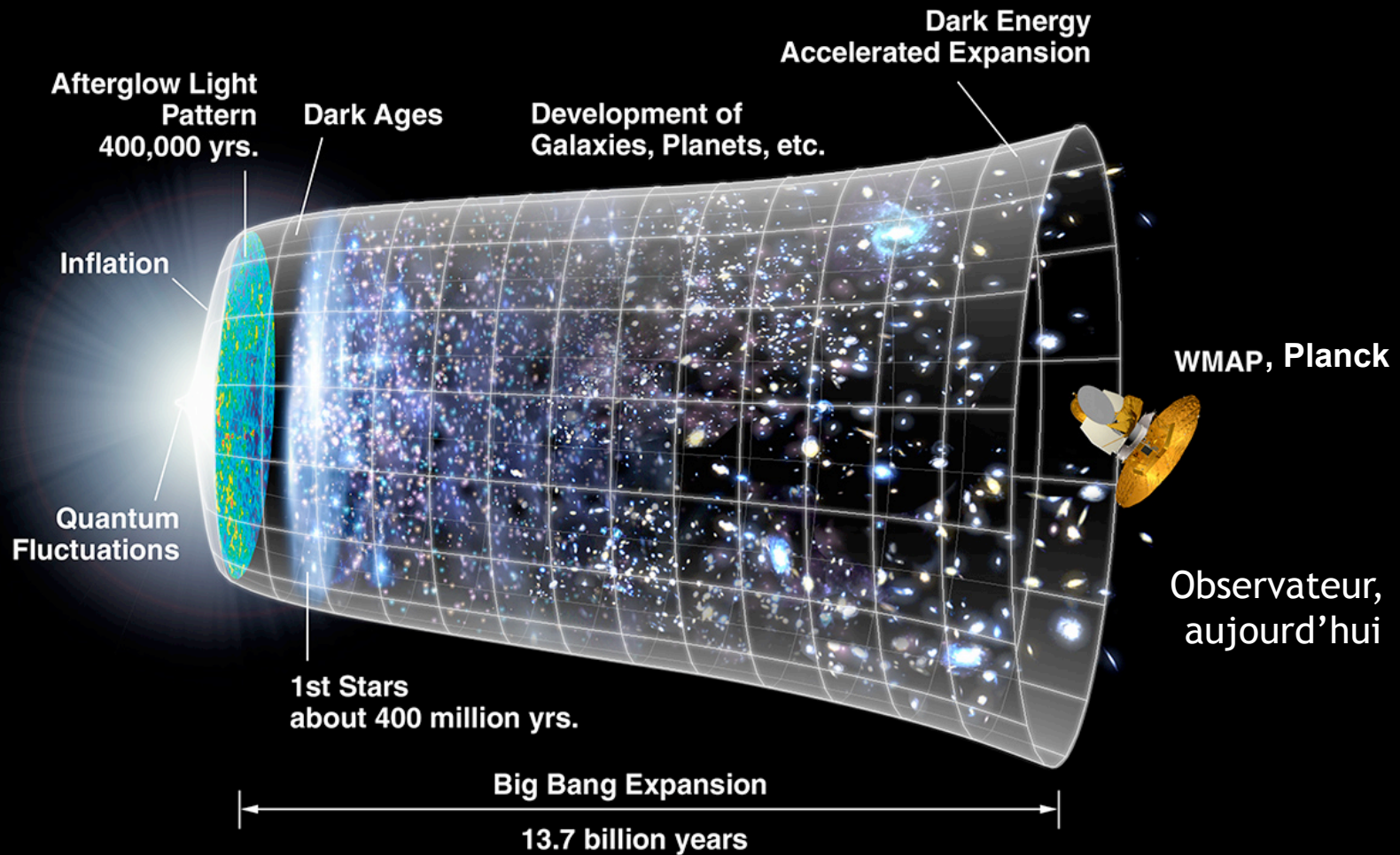


N. Ponthieu

3. Petite histoire de l'Univers

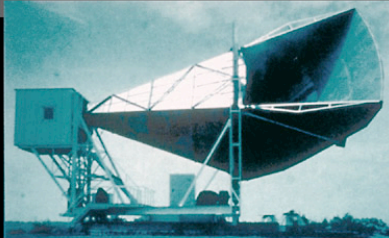


Histoire de l'Univers

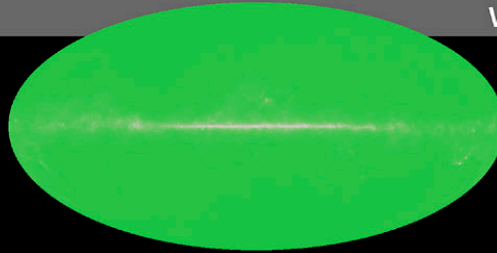


4. Observations du CMB

1965



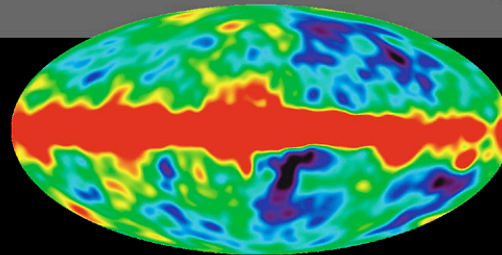
Penzias and Wilson



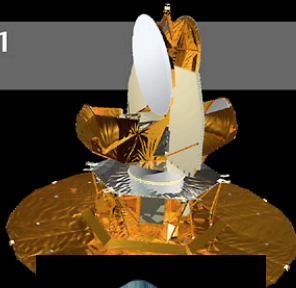
1992



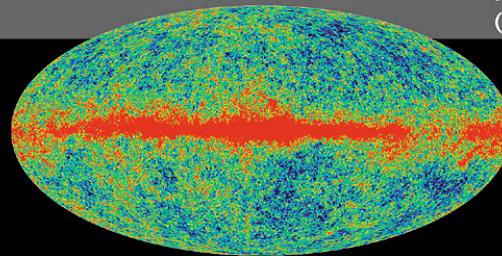
COBE



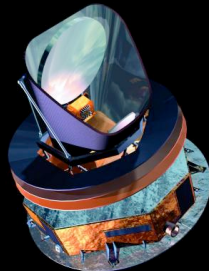
2001



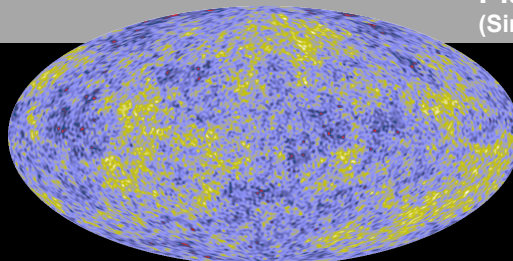
MAP
(Simulated)



2009



Planck (ESA)
(Simulated)

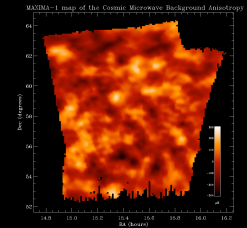


Even
Better !

1999



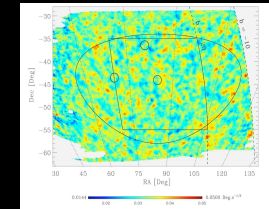
MAXIMA



1999



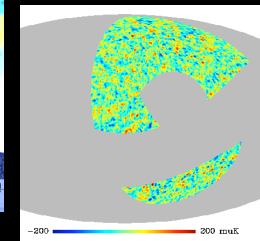
Boomerang



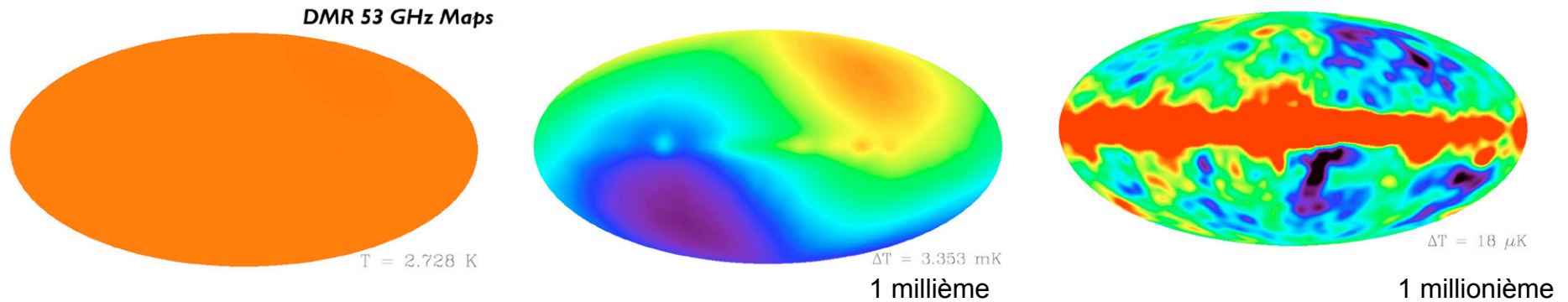
2000



Archeops



Le fond cosmologique dans les détails



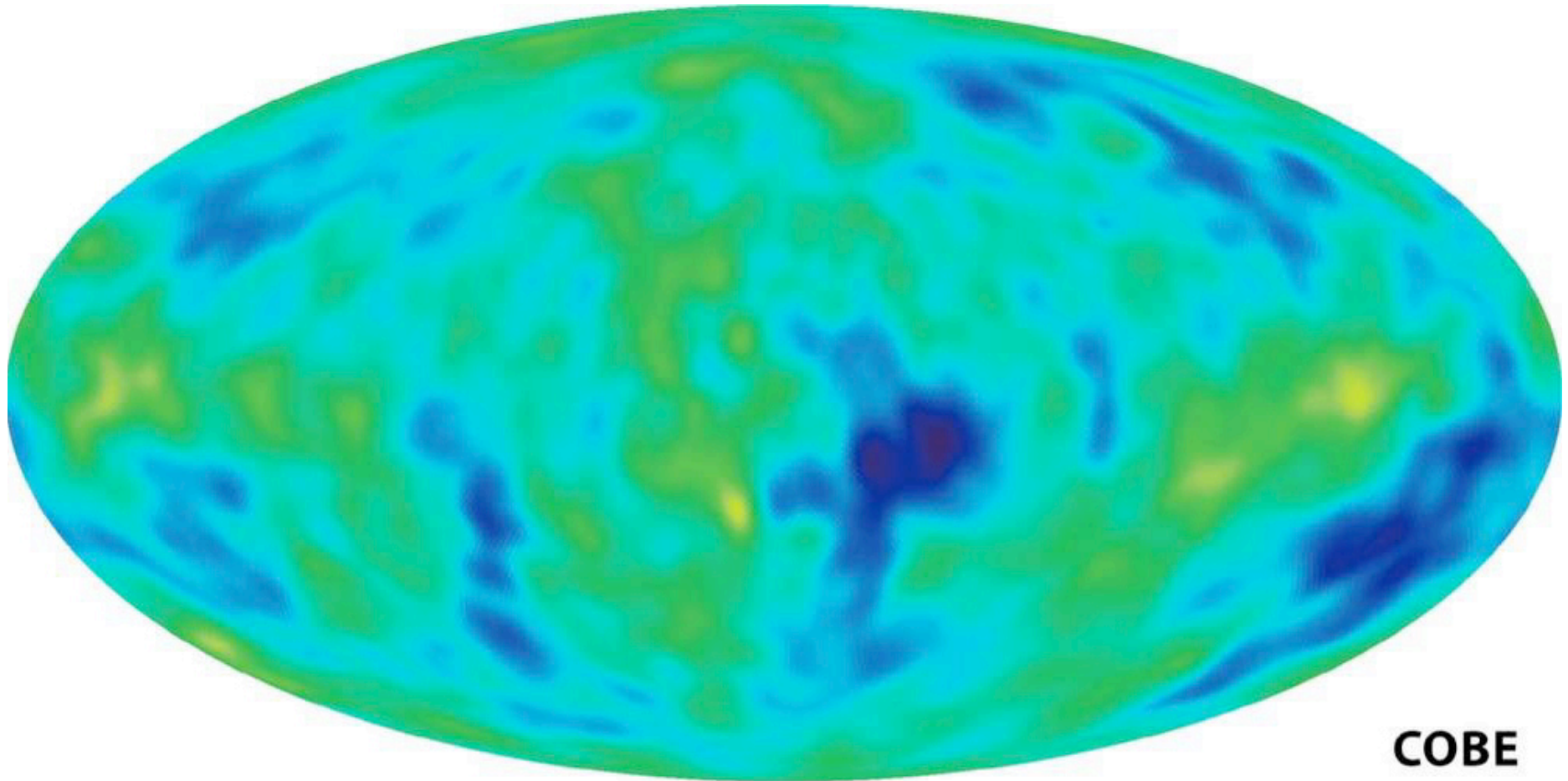
Nom:

Fond diffus cosmologique,
ou rayonnement fossile, ou rayonnement à 3K, ou CMB

Origine:

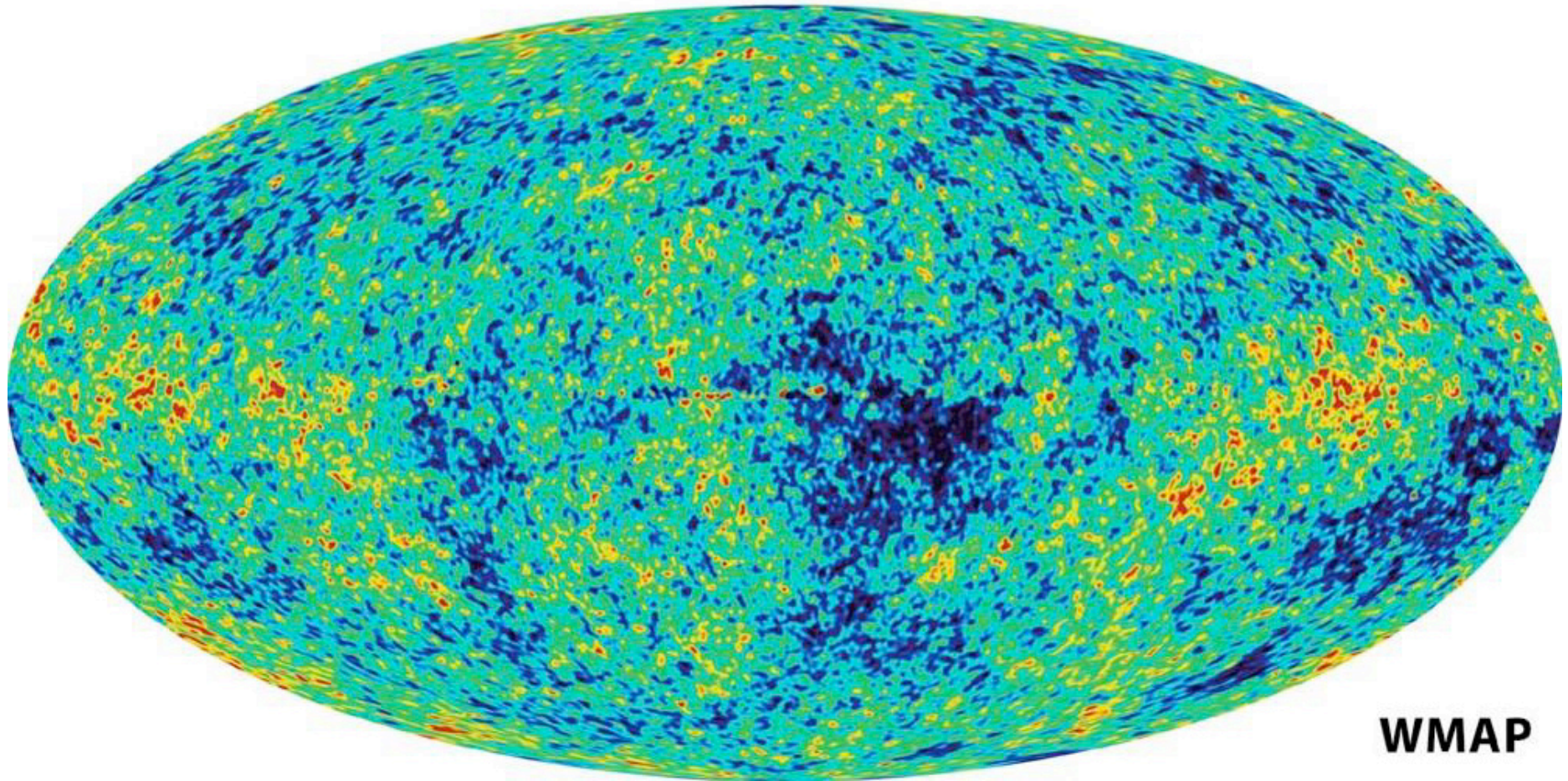
Univers primordial lorsque régnait un équilibre
entre matière et rayonnement, et surface de
dernière diffusion

Fluctuations du CMB

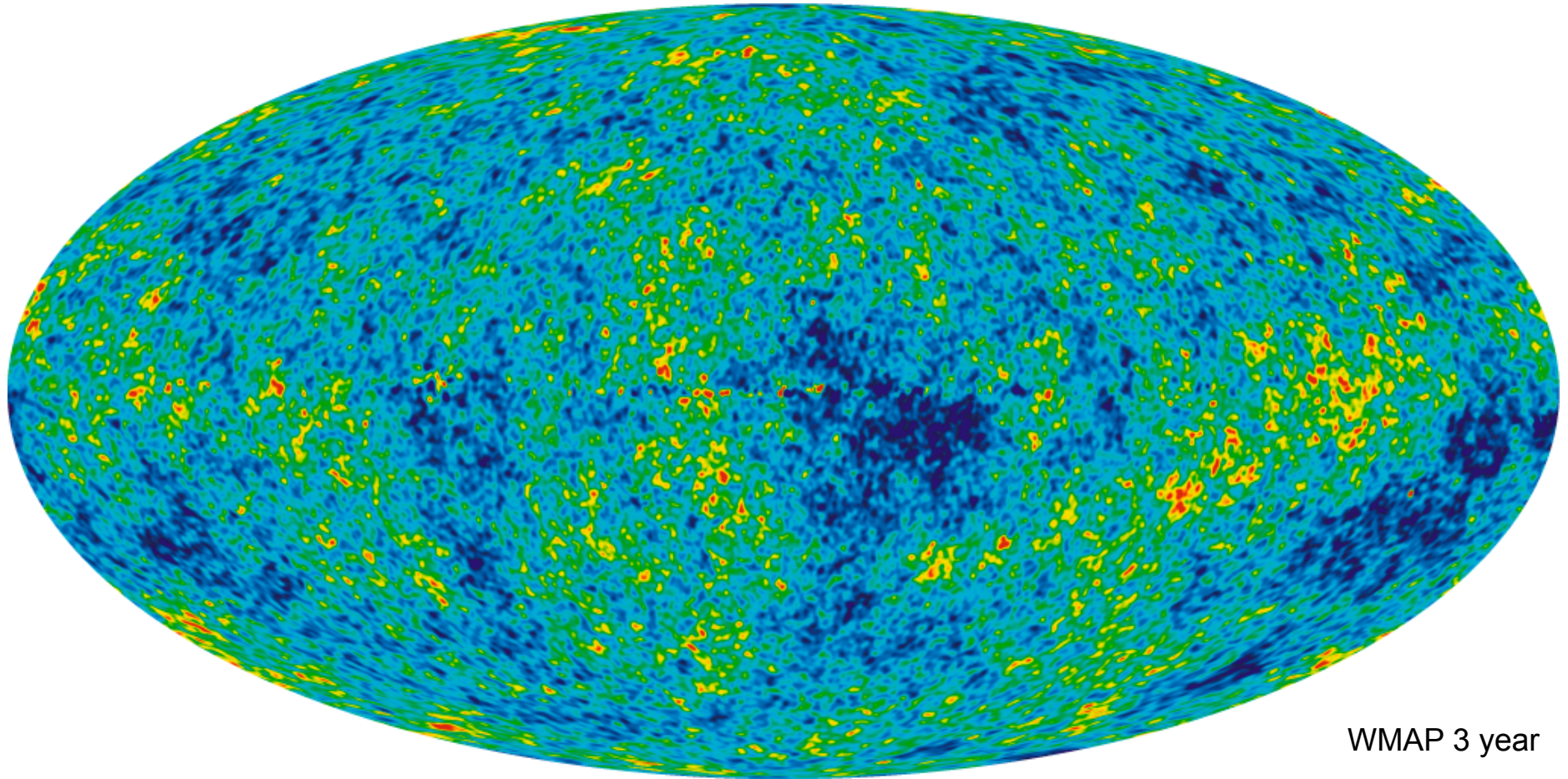


Prix Nobel 2006: George Smoot, Berkeley
(mesures de 1992)

Fluctuations du CMB

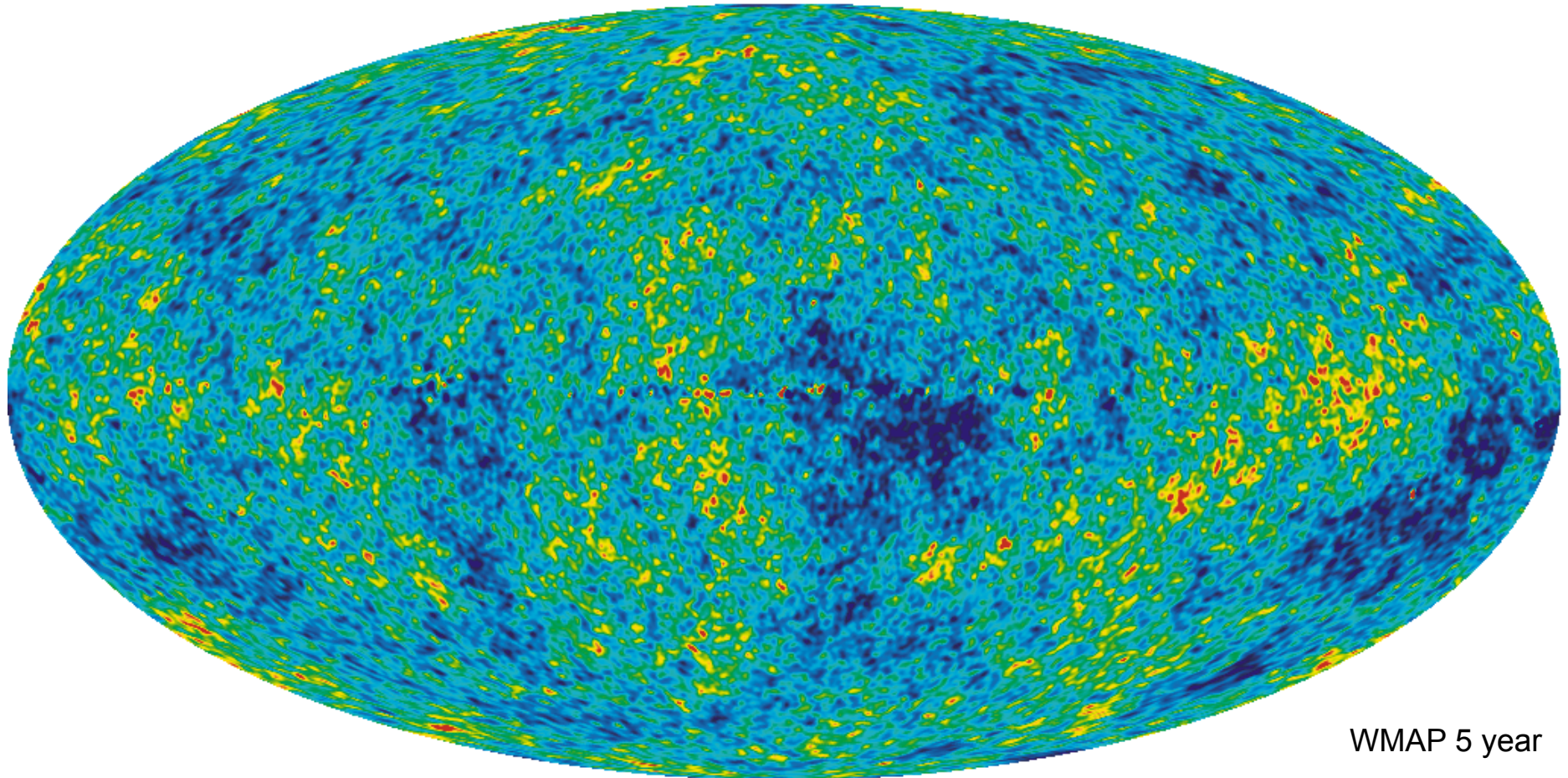


Fluctuations du CMB

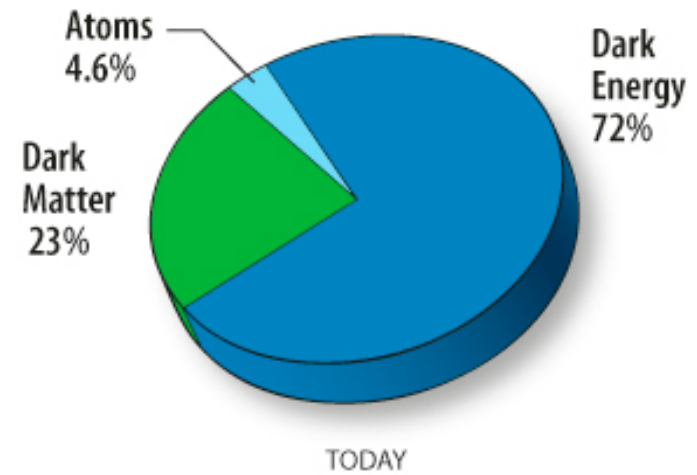
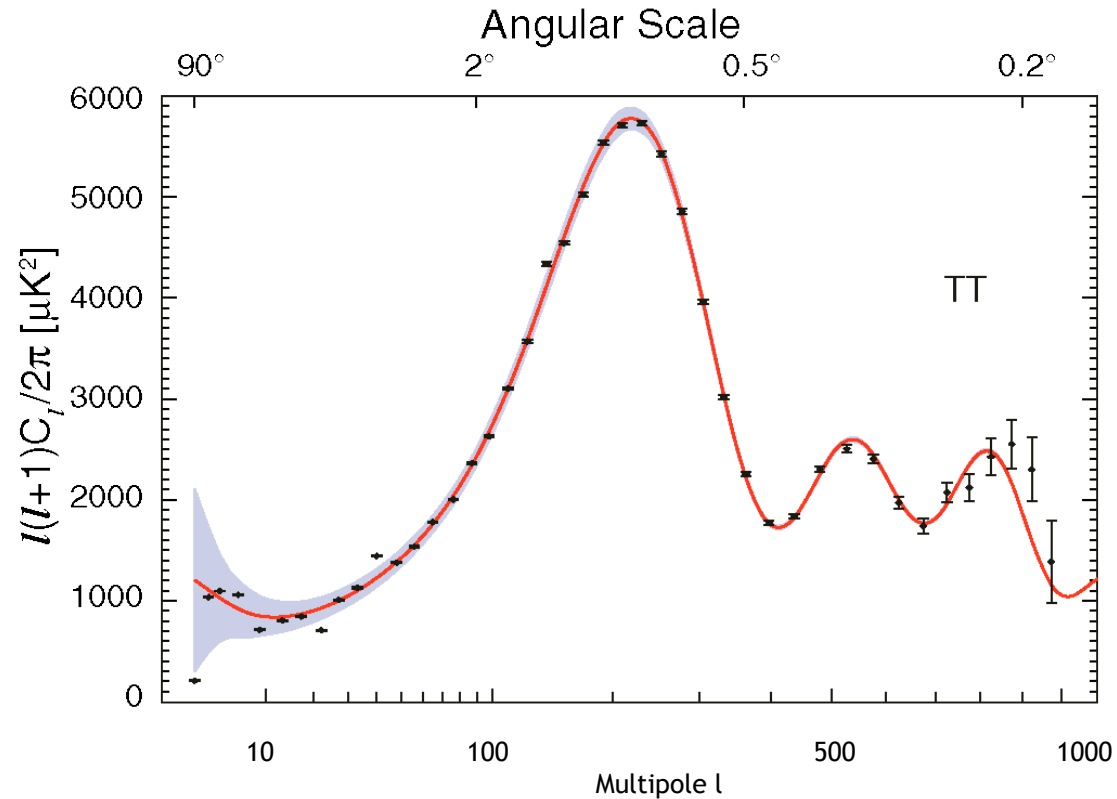


WMAP 3 year

Fluctuations du CMB



Spectre de puissance des fluctuations



WMAP Science Team

4. Résumé des connaissances actuelles

Scénario du Big Bang

- Univers primordial: dense et chaud
- Univers en expansion
 - Avec épisode d'inflation au début
 - Expansion accélérée aujourd'hui
- Présence d'un rayonnement isotrope de corps noir
- Abondance des éléments légers

Le fond cosmologique

- Rayonnement isotrope
- Corps noir $T=2.725\text{K}$
- Dernière surface de diffusion, $z=1100$, quand $T\sim 3000\text{K}$
- Infimes fluctuations (10^{-5}): graines des grandes structures d'aujourd'hui (amas de galaxies)
- Nécessité des les étudier en détail

- Permet de mesurer la géométrie et le contenu de l'Univers

(Parmi) Les grandes questions

○ Evolution de notre Univers

- Comment s'est déroulée l'inflation ?
- Qu'est ce-que l'énergie noire ?
- Comment évolue t-elle avec le temps ?
- Qu'est-ce que la matière noire ?

○ Evolution des structures

- Comment se forment les premières galaxies ?
- Comment a eu lieu la réionisation ?
- Comment s'agrègent les amas de galaxie ?
- Comment les galaxies se forment elles dans les halos de matière noire ?

5. Le satellite européen Planck



Planck: succès des premières observations

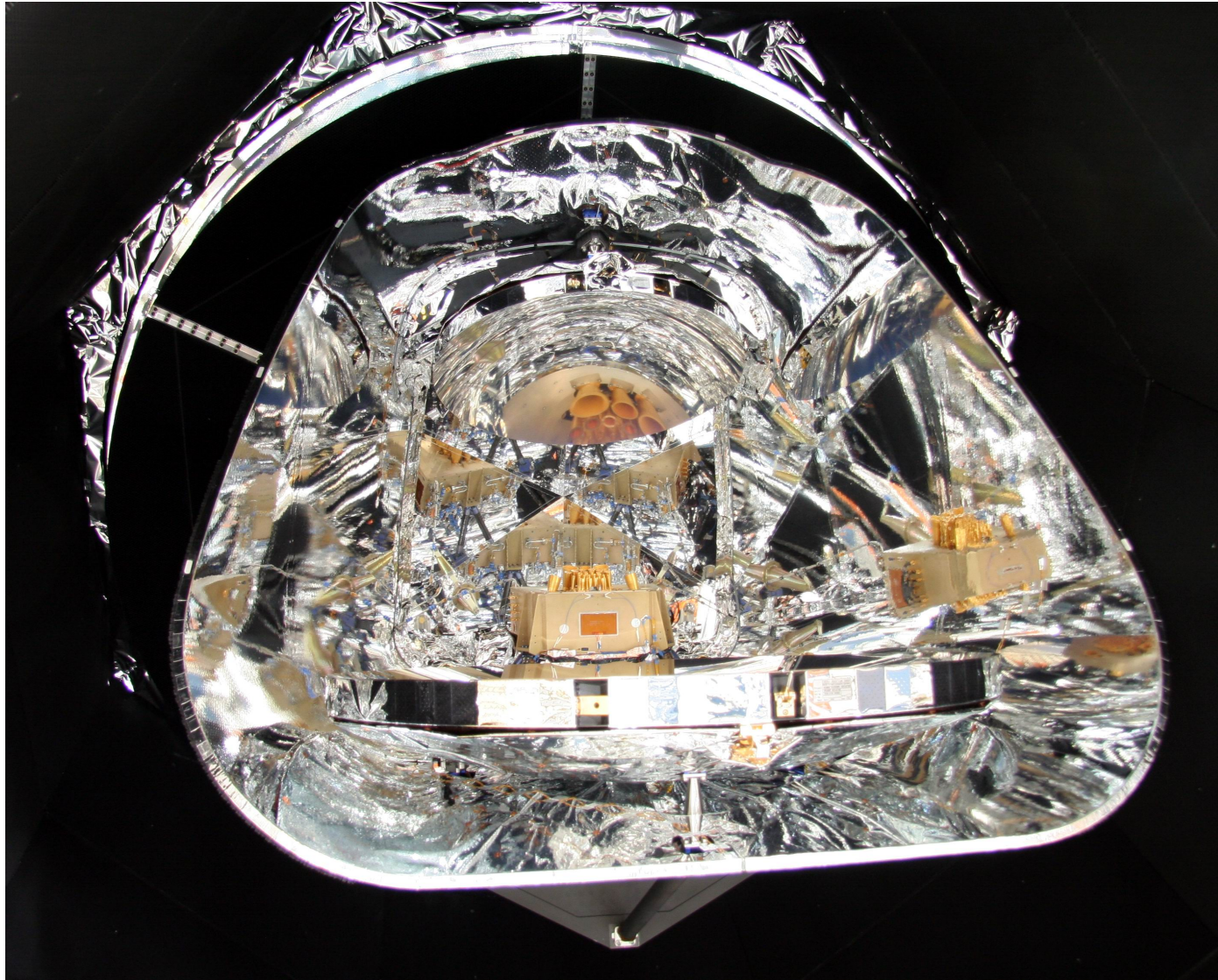


06-Oct-2009 - Orsay, Paris-Sud 11

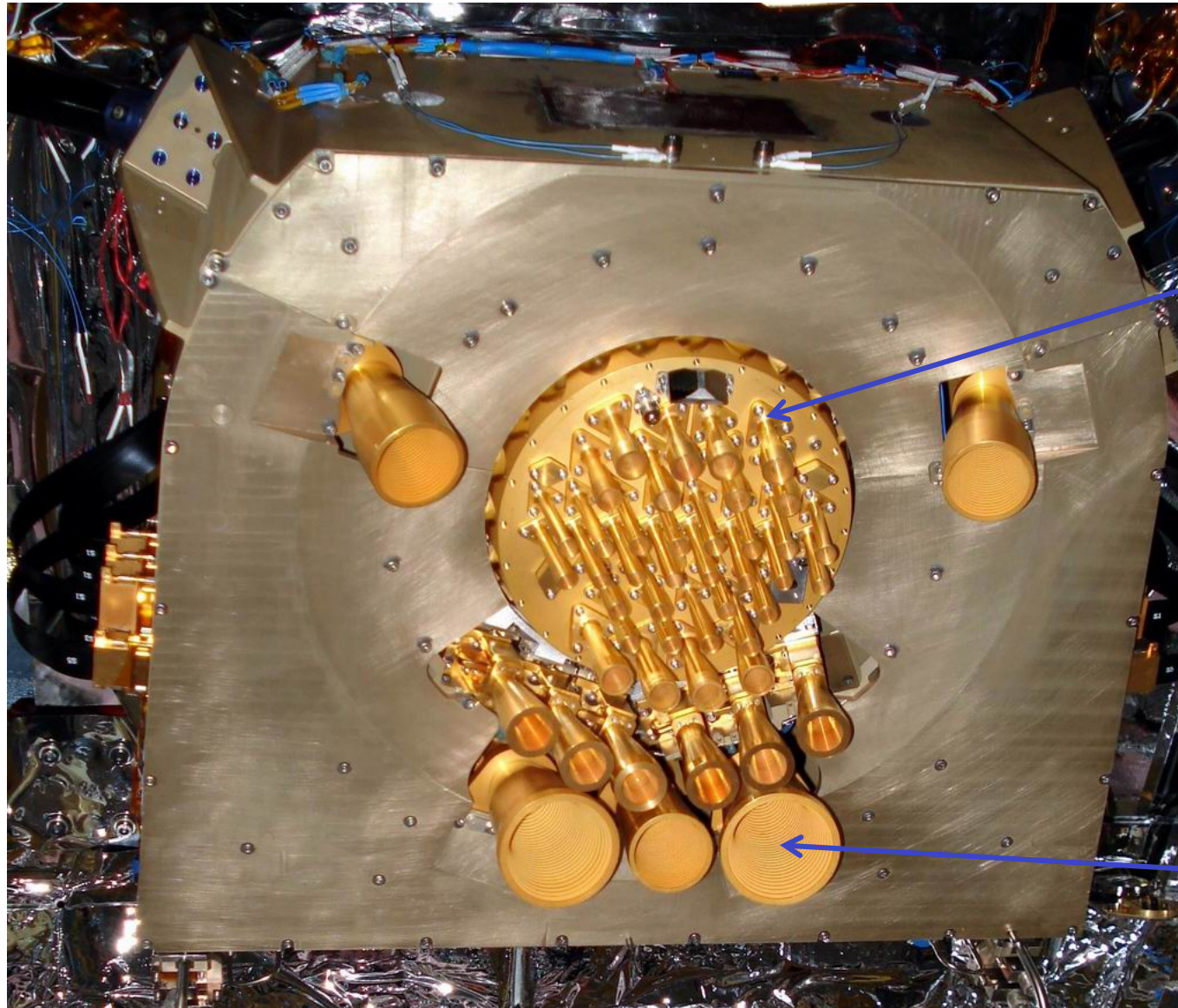


Hervé Dole, IAS - Origine Univers et Planck

Le coeur de Planck



Planck HFI et LFI

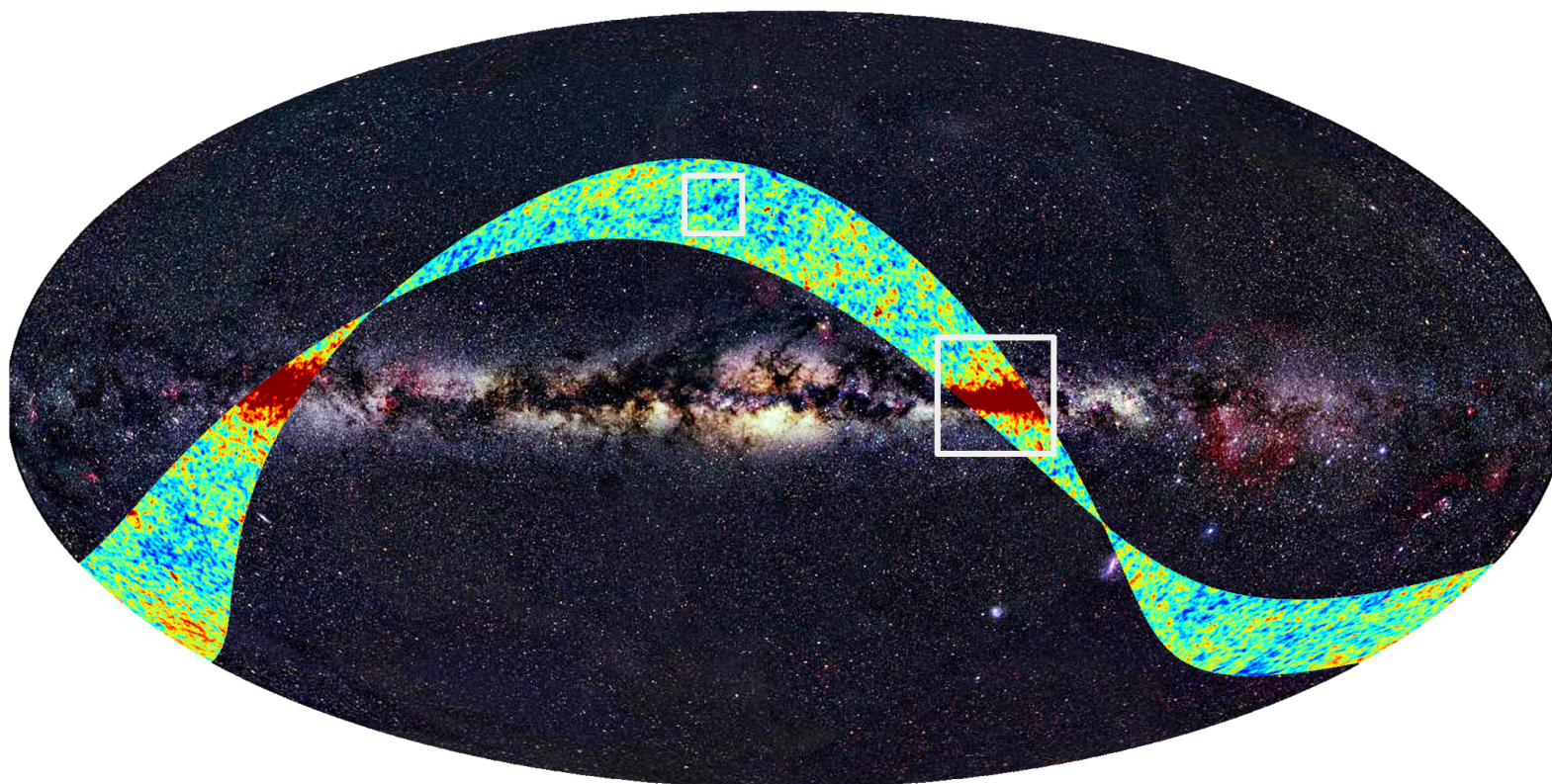


HFI
fonctionne
à 0.1K

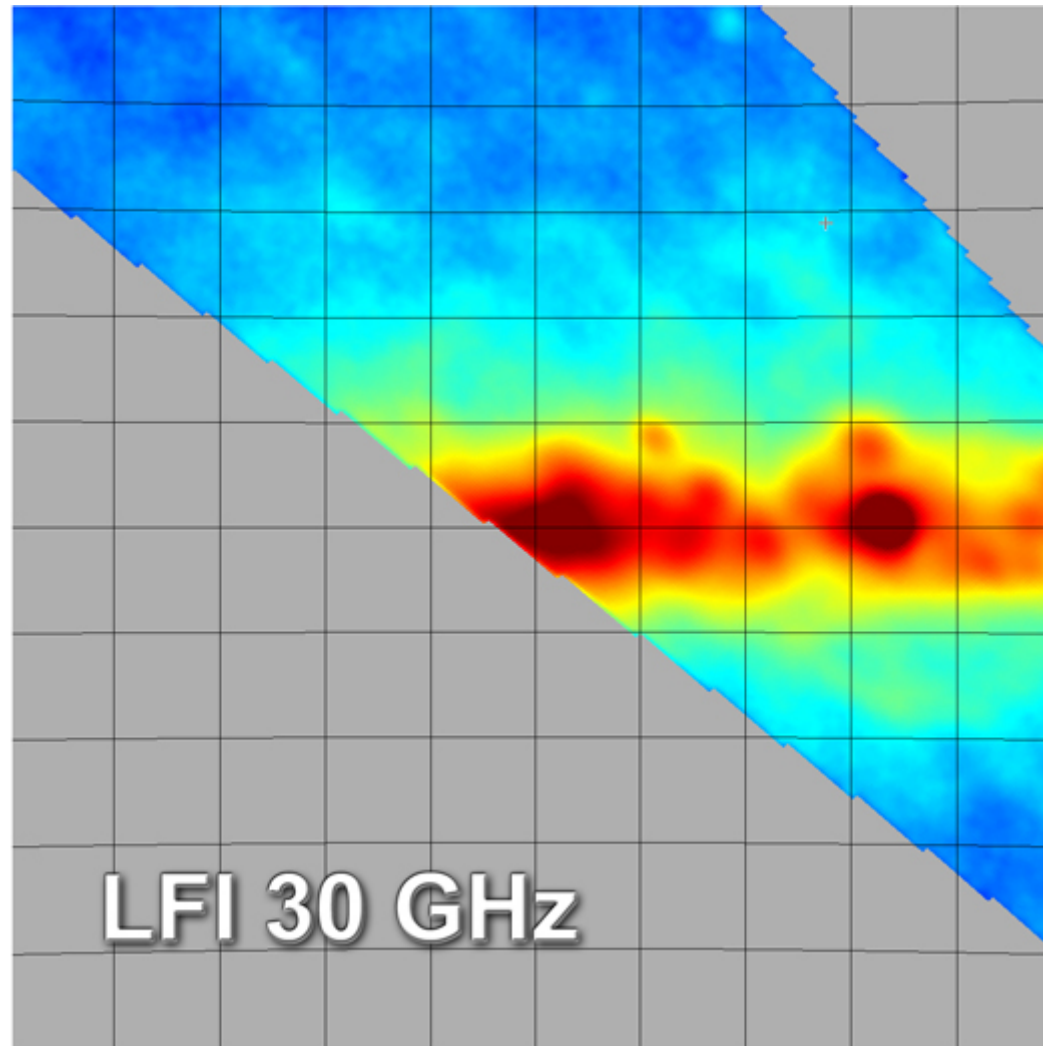
Fabriqué sous
responsabilité
IAS, Orsay

LFI

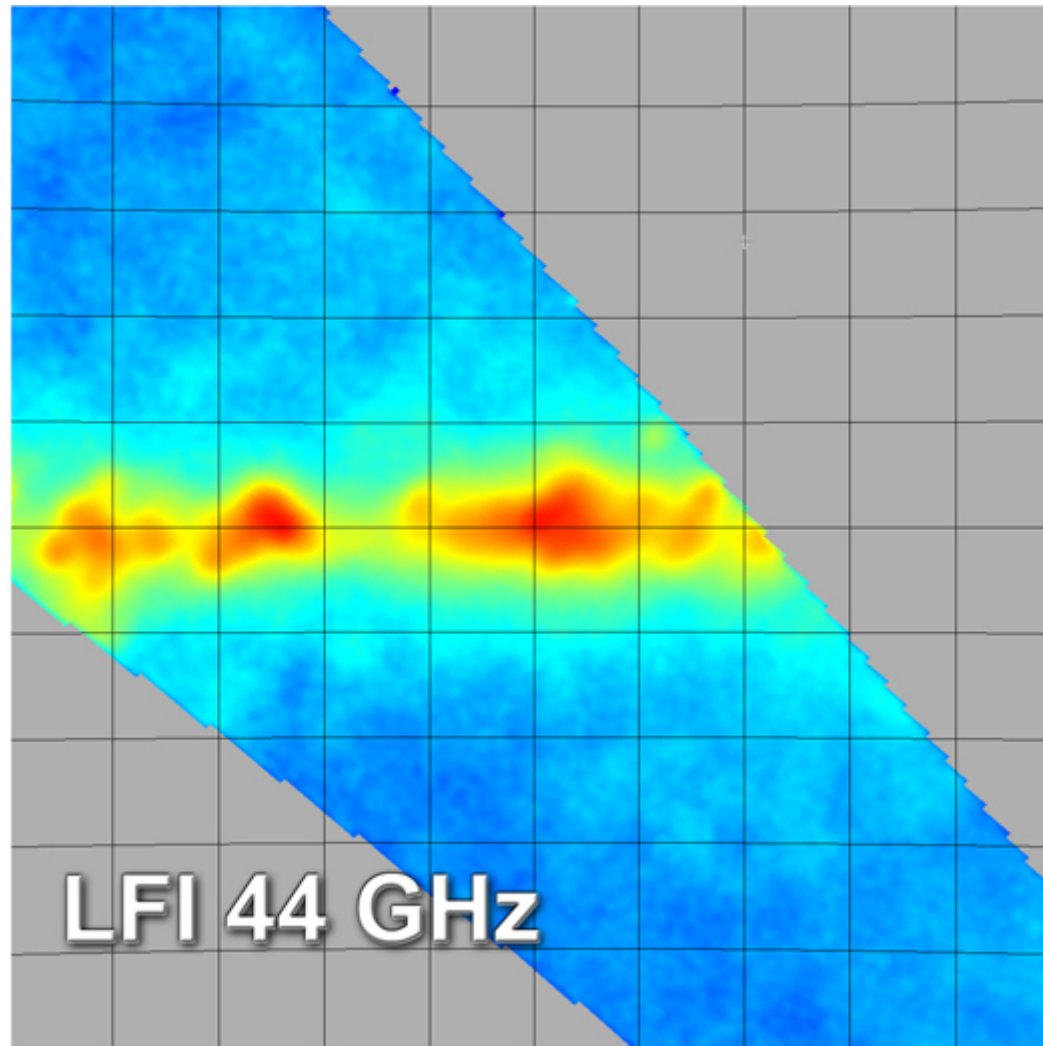
Planck First Light Survey



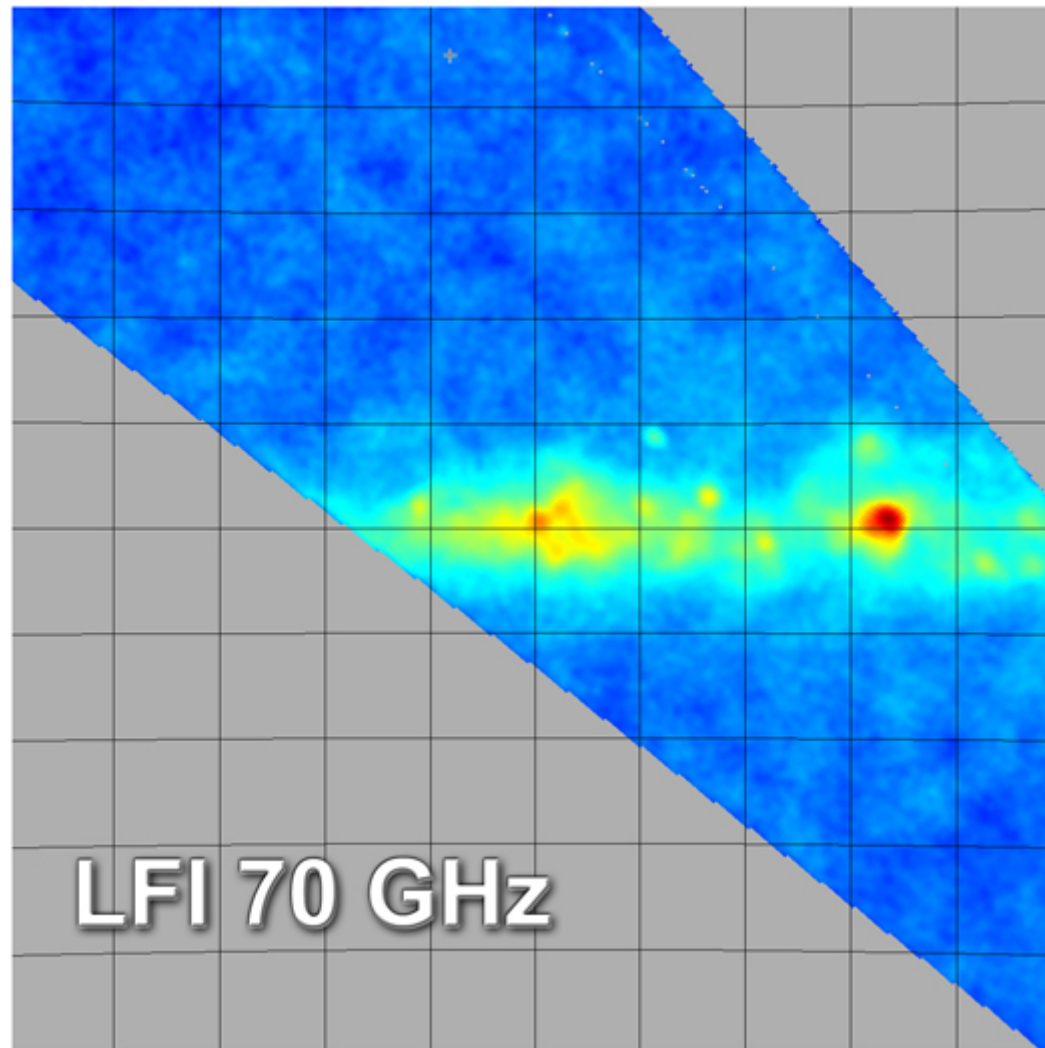
Planck observe notre Galaxie



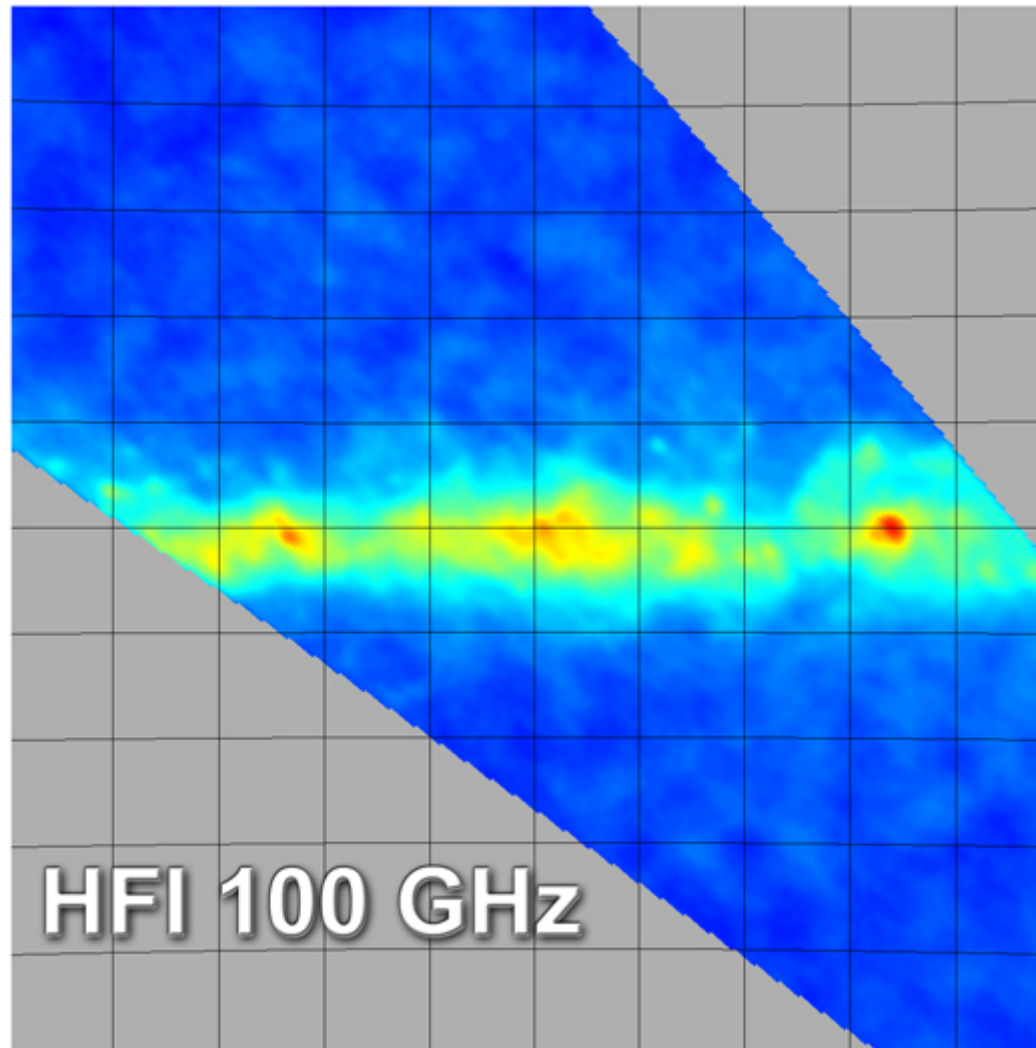
Planck observe notre Galaxie



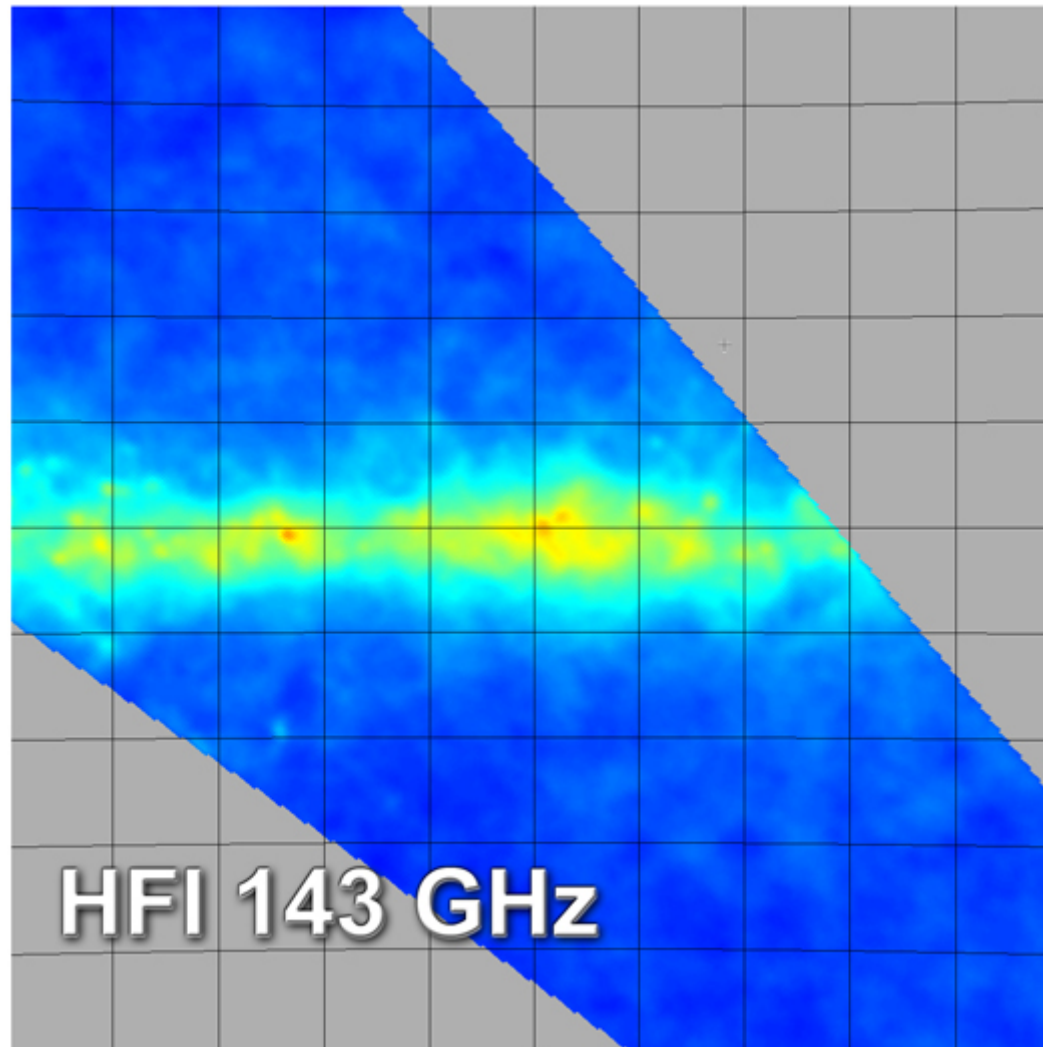
Planck observe notre Galaxie



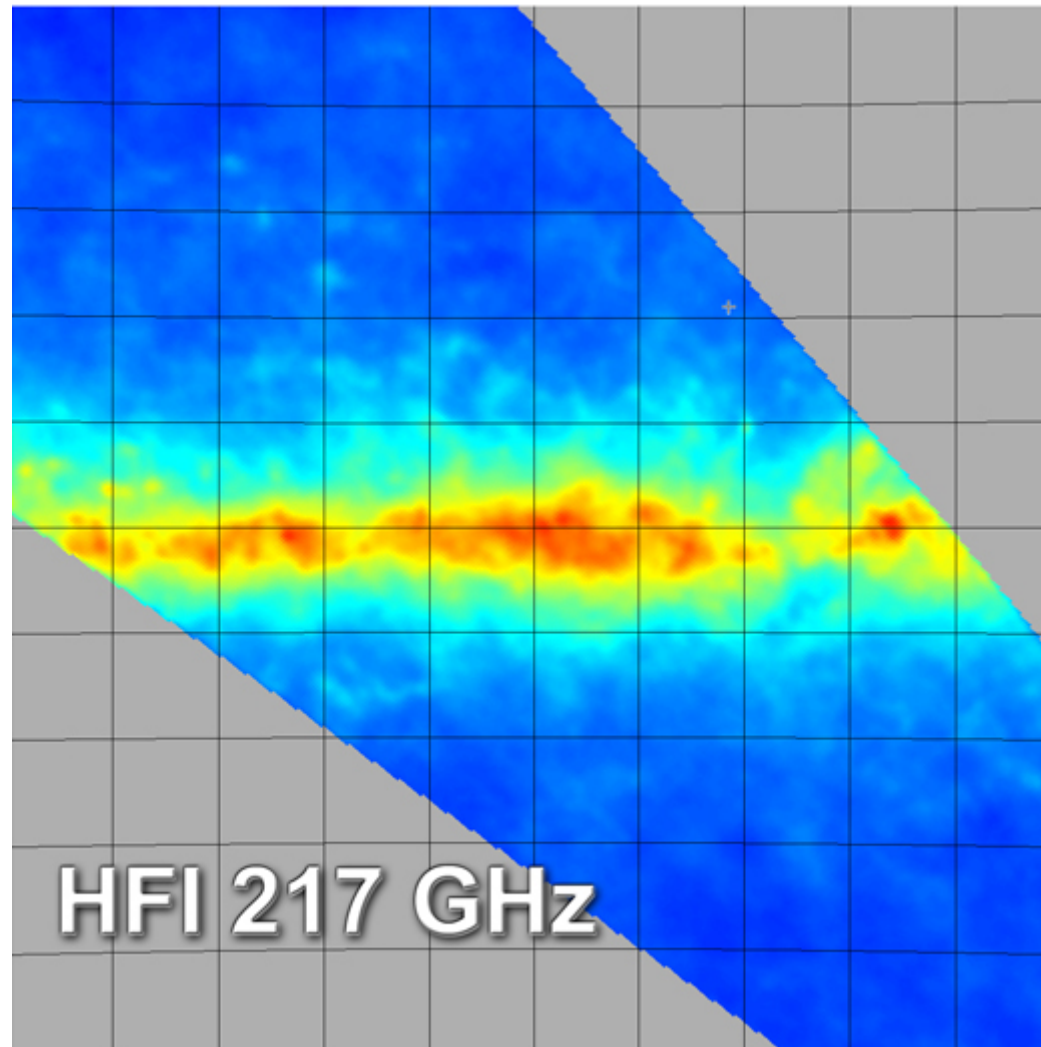
Planck observe notre Galaxie



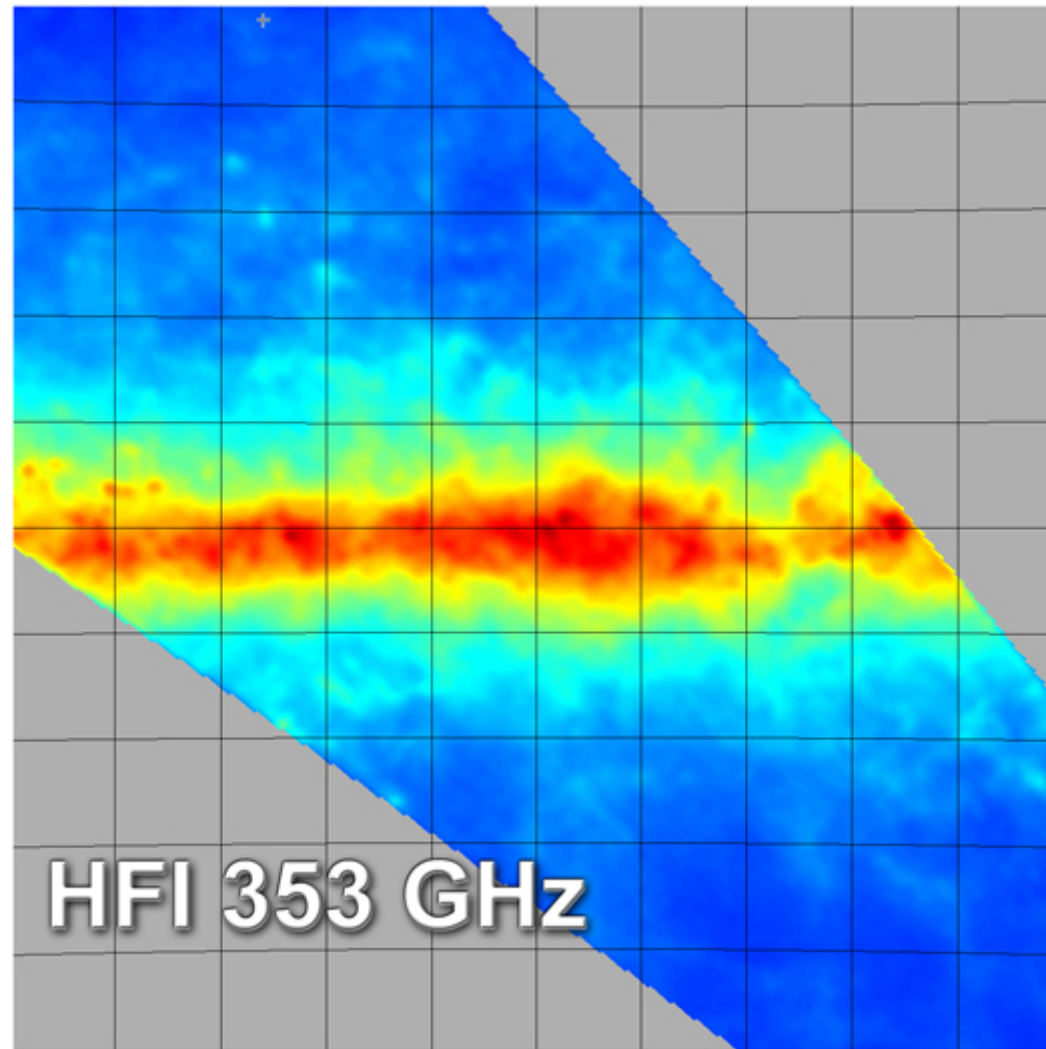
Planck observe notre Galaxie



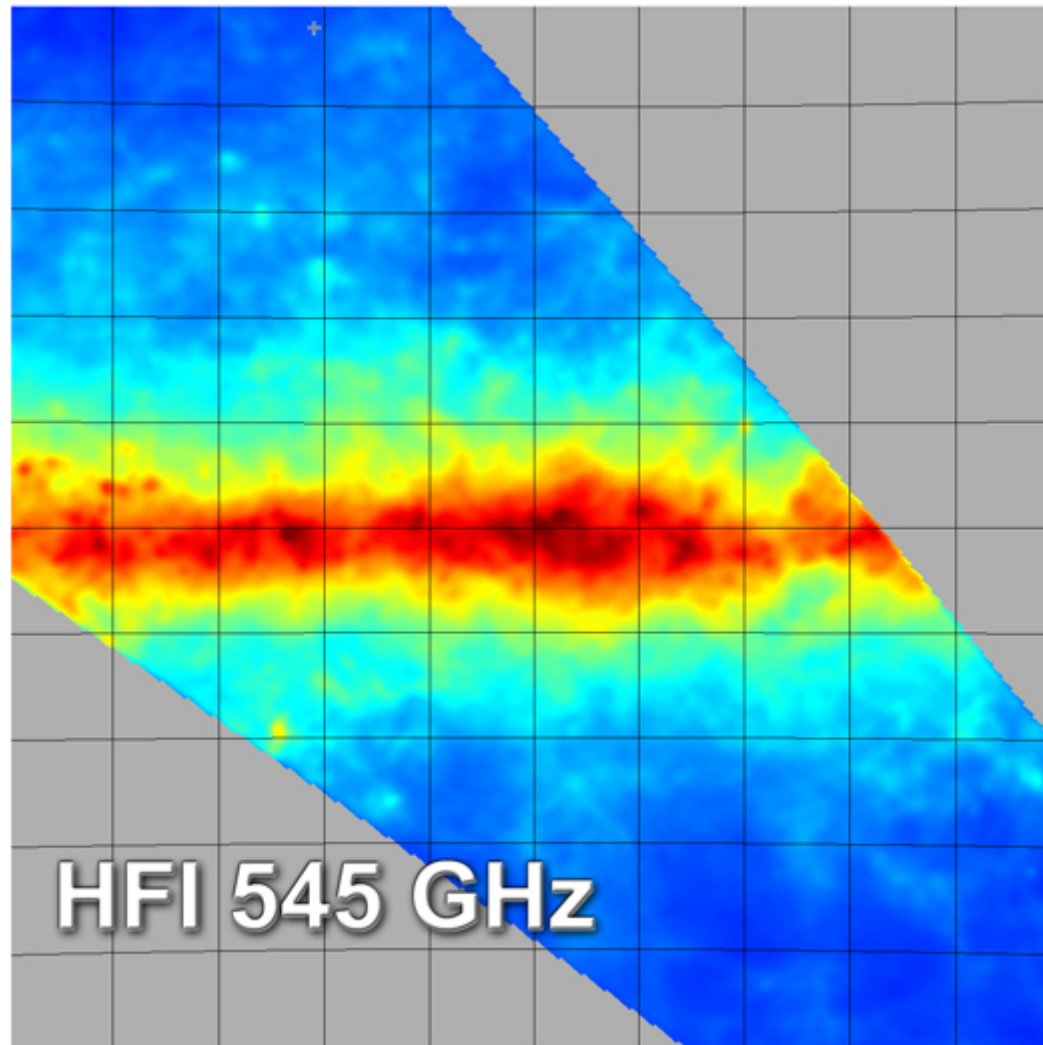
Planck observe notre Galaxie



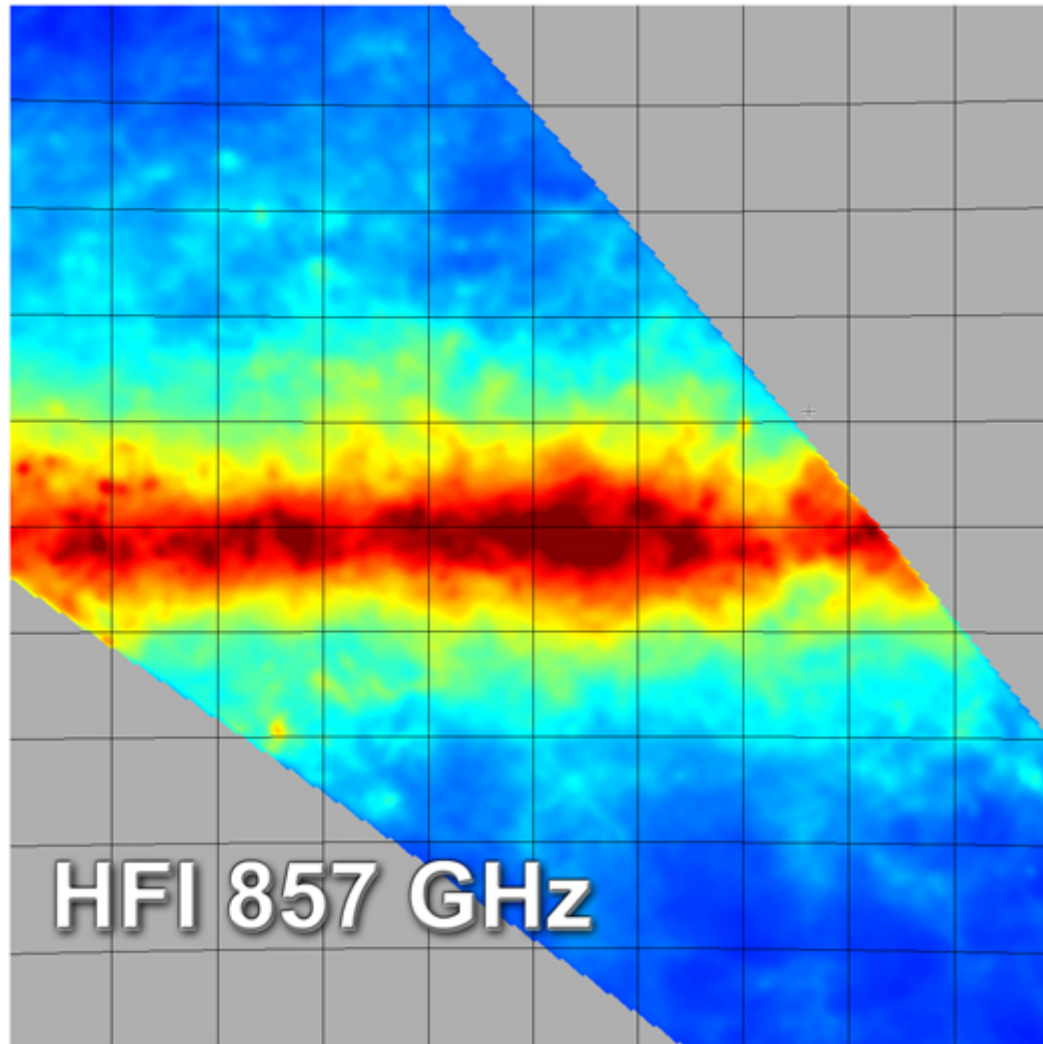
Planck observe notre Galaxie



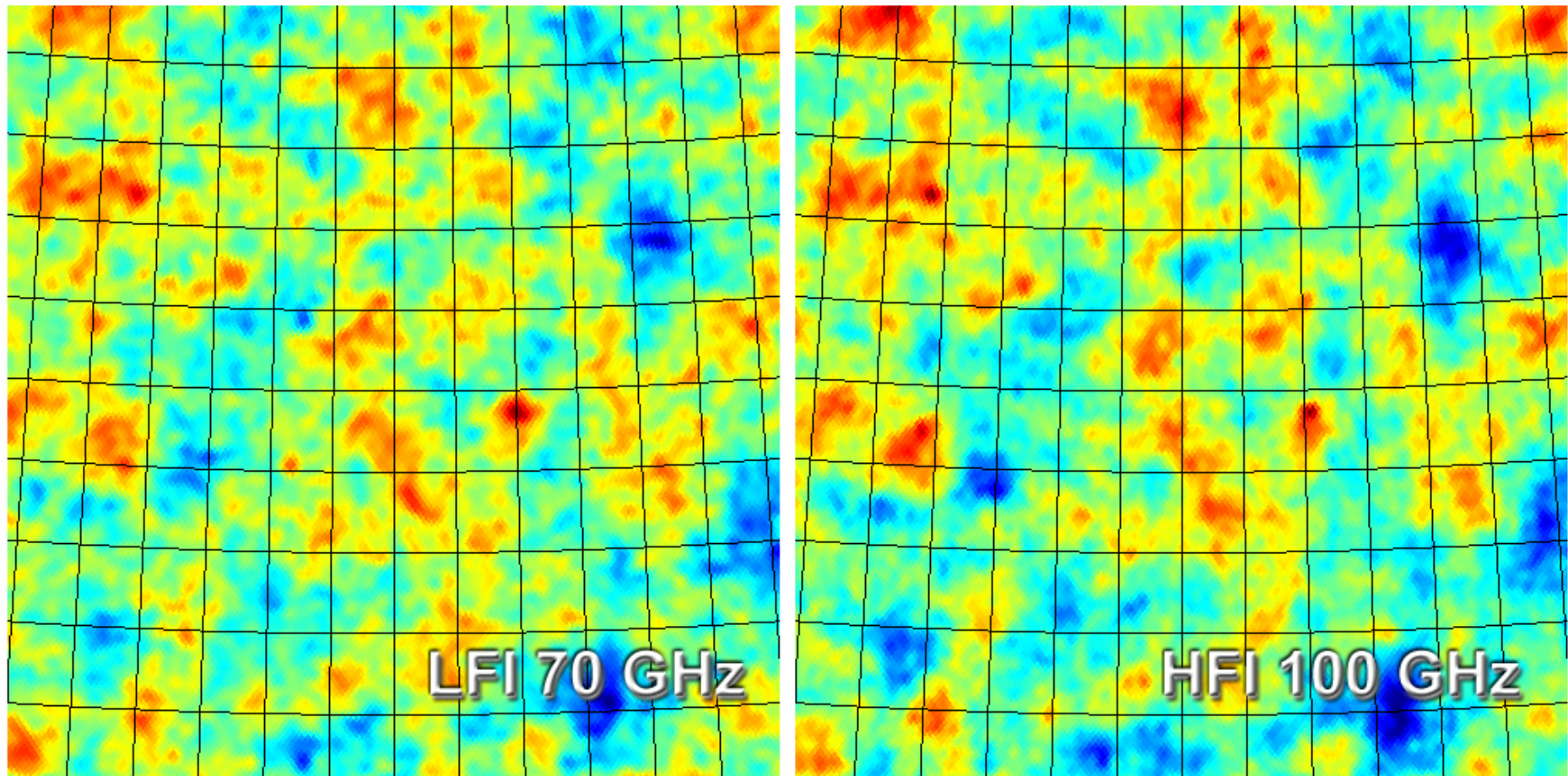
Planck observe notre Galaxie



Planck observe notre Galaxie



Planck observe à haute latitude Galactique

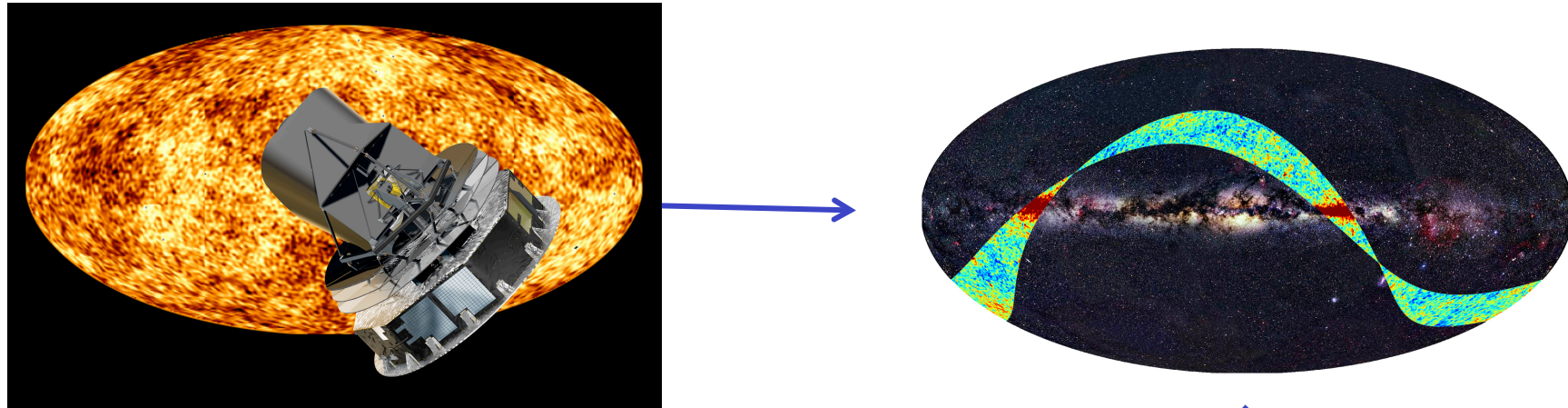


LFI à 70 GHz

HFI à 100 GHz

Échelle des températures: environ 100 microK

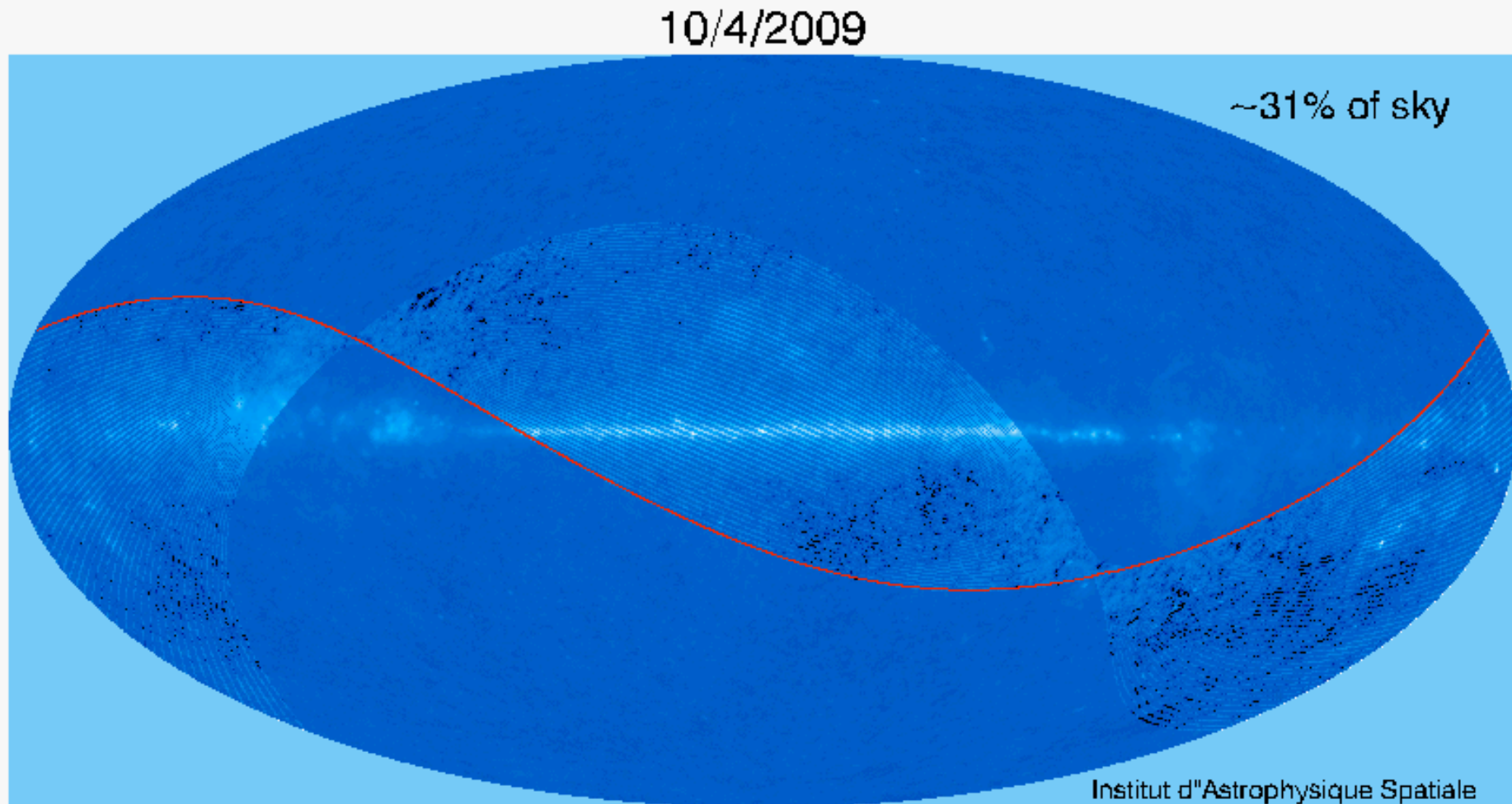
Planck observe en ce moment !



Planck aura observé la totalité du ciel au mois de Mars
Planck va effectuer au moins 2 relevés complets du ciel

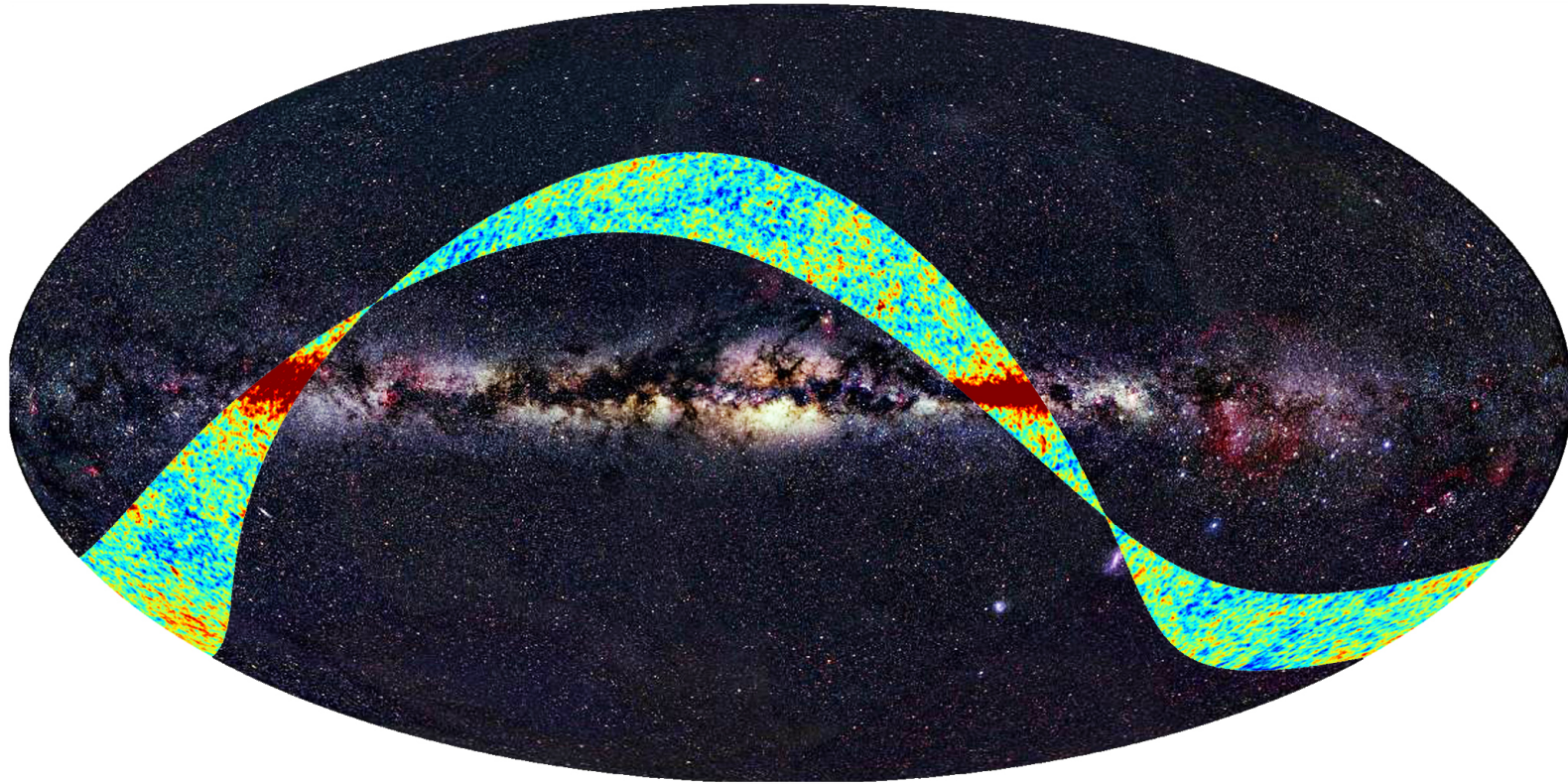
http://www.ias.u-psud.fr/planck_daily/

Plus d'un tiers du ciel déjà observé !



http://www.ias.u-psud.fr/planck_daily/

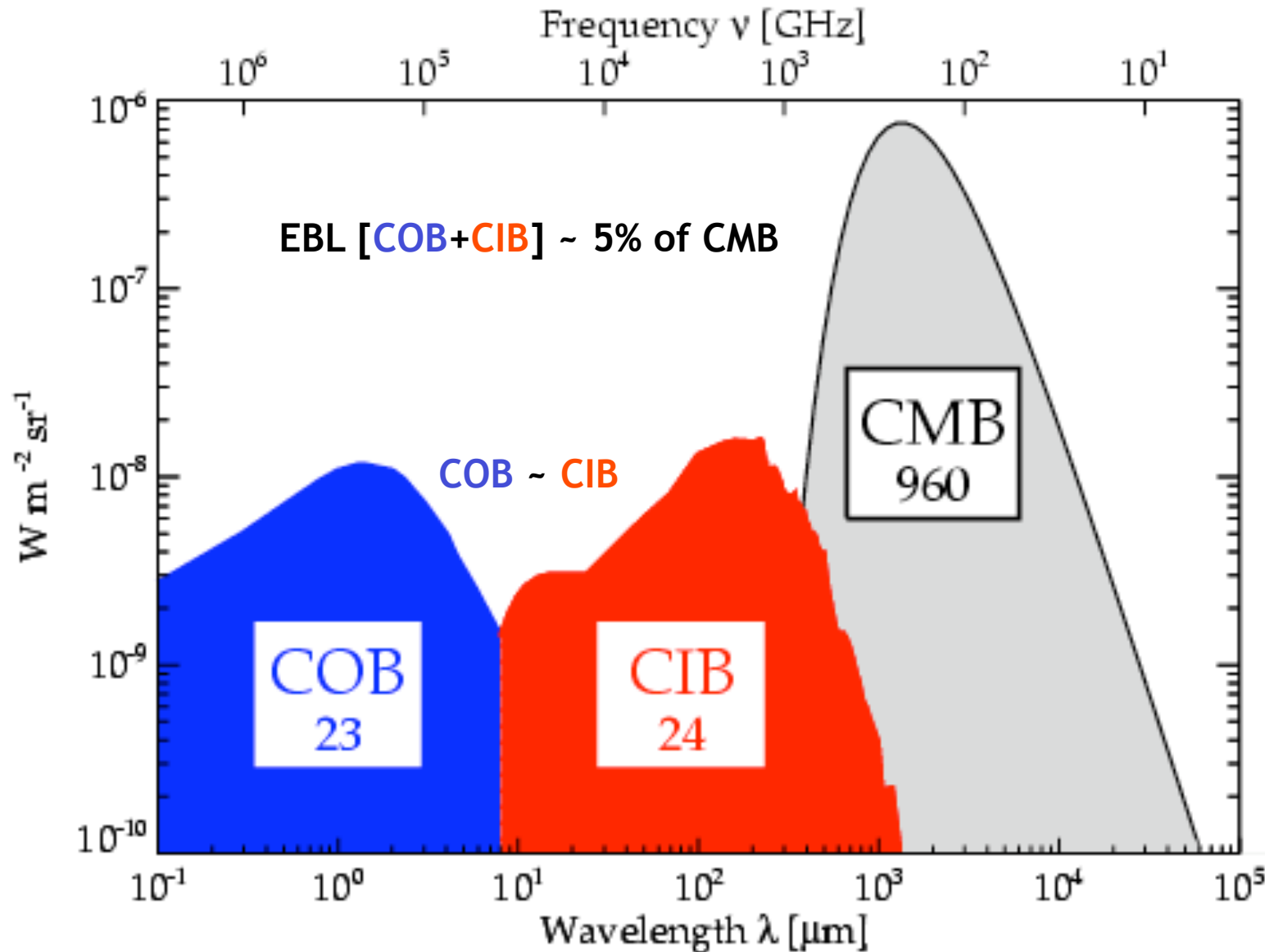
Planck First Light Survey



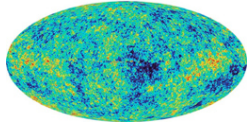
http://www.ias.u-psud.fr/planck_daily/

<http://www.planck.fr>

Universe' Spectral Energy Distribution



<http://www.ias.u-psud.fr/irgalaxies>



Cosmic Microwave Background

Old Universe – *New* Numbers

$\Omega_{\text{tot}} = 1.02^{+0.02}_{-0.02}$	$n_s = 0.93^{+0.03}_{-0.03}$
$w < -0.78$ (95% CL)	$dn_s/d \ln k = -0.031^{+0.016}_{-0.018}$
$\Omega_{\Lambda} = 0.73^{+0.04}_{-0.04}$	$r < 0.71$ (95% CL)
$\Omega_b h^2 = 0.0224^{+0.0009}_{-0.0009}$	$z_{\text{dec}} = 1089^{+1}_{-1}$
$\Omega_b = 0.044^{+0.004}_{-0.004}$	$\Delta z_{\text{dec}} = 195^{+2}_{-2}$
$n_b = 2.5 \times 10^{-7} \text{ cm}^{-3}$	$h = 0.71^{+0.04}_{-0.03}$
$\Omega_m h^2 = 0.135^{+0.008}_{-0.009}$	$t_0 = 13.7^{+0.2}_{-0.2}$ Gyr
$\Omega_m = 0.27^{+0.04}_{-0.04}$	$t_{\text{dec}} = 379^{+8}_{-7}$ kyr
$\Omega_v h^2 < 0.0076$ (95% CL)	$t_r = 180^{+220}_{-80}$ Myr (95% CL)
$m_\nu < 0.23$ eV (95% CL)	$\Delta t_{\text{dec}} = 118^{+3}_{-2}$ kyr
$T_{\text{cmb}} = 2.725^{+0.002}_{-0.002}$ K	$z_{\text{eq}} = 3233^{+194}_{-210}$
$n_\gamma = 410.4^{+0.9}_{-0.9}$ cm ⁻³	$\tau = 0.17^{+0.04}_{-0.04}$
$\eta = 6.1 \times 10^{-10}$	$z_r = 20^{+10}_{-9}$ (95% CL)
$\Omega_b \Omega_m^{-1} = 0.17^{+0.01}_{-0.01}$	$\theta_A = 0.598^{+0.002}_{-0.002}$
$\sigma_8 = 0.84^{+0.04}_{-0.04}$ Mpc	$d_A = 14.0^{+0.2}_{-0.3}$ Gpc
$\sigma_8 \Omega_m^{0.5} = 0.44^{+0.04}_{-0.05}$	$l_A = 301^{+1}_{-1}$
$A = 0.833^{+0.086}_{-0.083}$	$r_s = 147^{+2}_{-2}$ Mpc

La technologie de Planck

