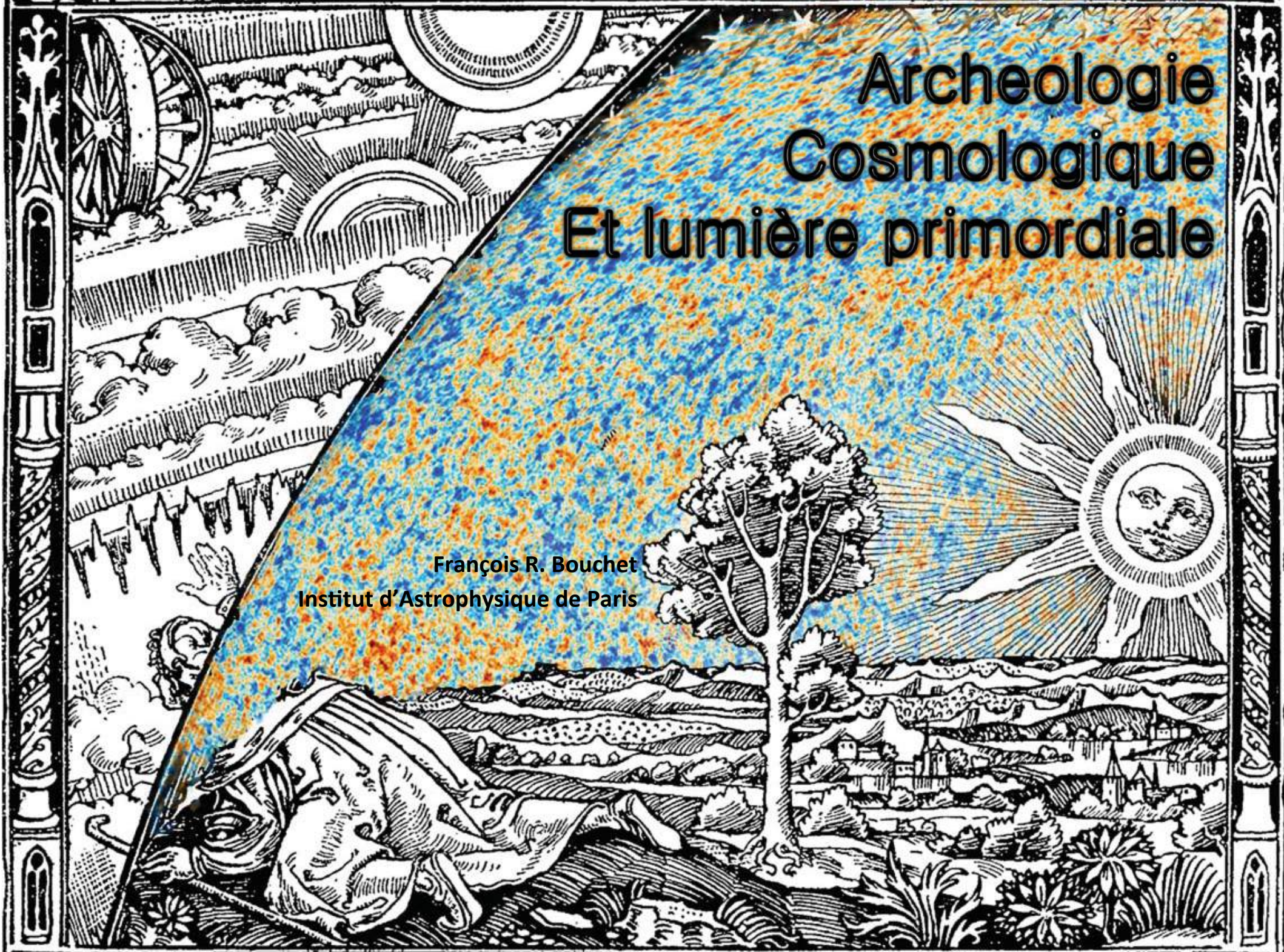
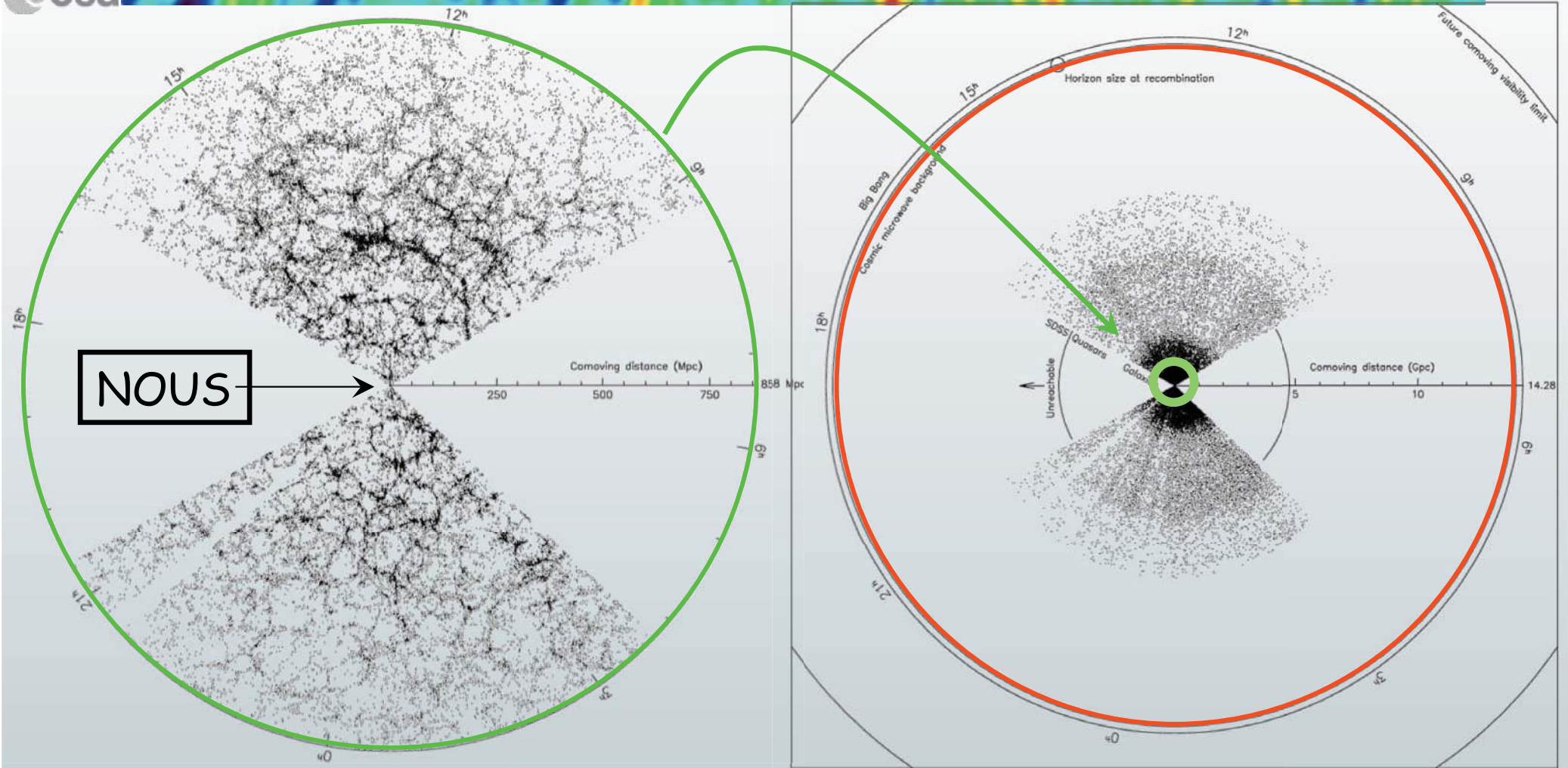


Archeologie Cosmologique Et lumière primordiale

François R. Bouchet
Institut d'Astrophysique de Paris





Chaque point est une galaxie comme la Notre. La plus proche, M31, est à $\sim 2,5$ Mal. Il faut 2,7 milliards d'années à la lumière d'une galaxie sur le cercle vert pour qu'elle nous parvienne.

La lumière millimétrique a mis environ 13 milliards d'années pour nous parvenir (cercle rouge). C'est la trace (comme fossilisée) de la fournaise primordiale, 400 000 ans après le Bang, quand l'Univers est devenu Transparent.



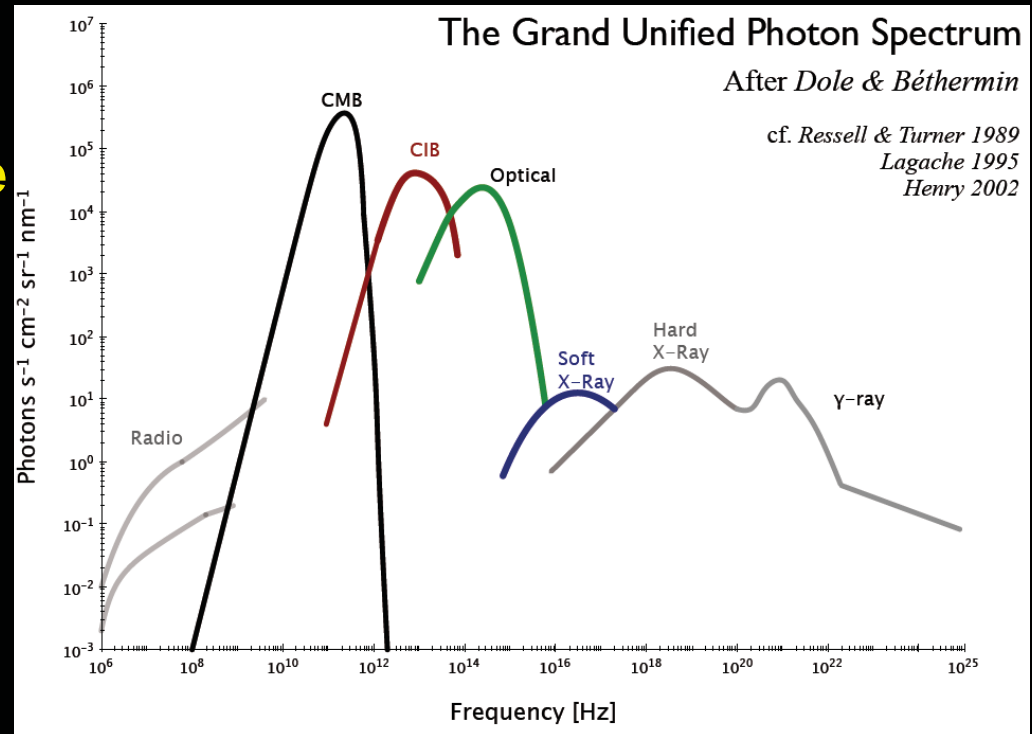
Nous sommes baignés par la lumière du big bang. À cause de l'expansion, elle est décalée vers le rouge dans les micro-ondes et les ondes radios.

On peut voir ce rayonnement sur un poste de télévision mal réglé !!!

Les photons du rayonnement fossile sont les plus nombreux.

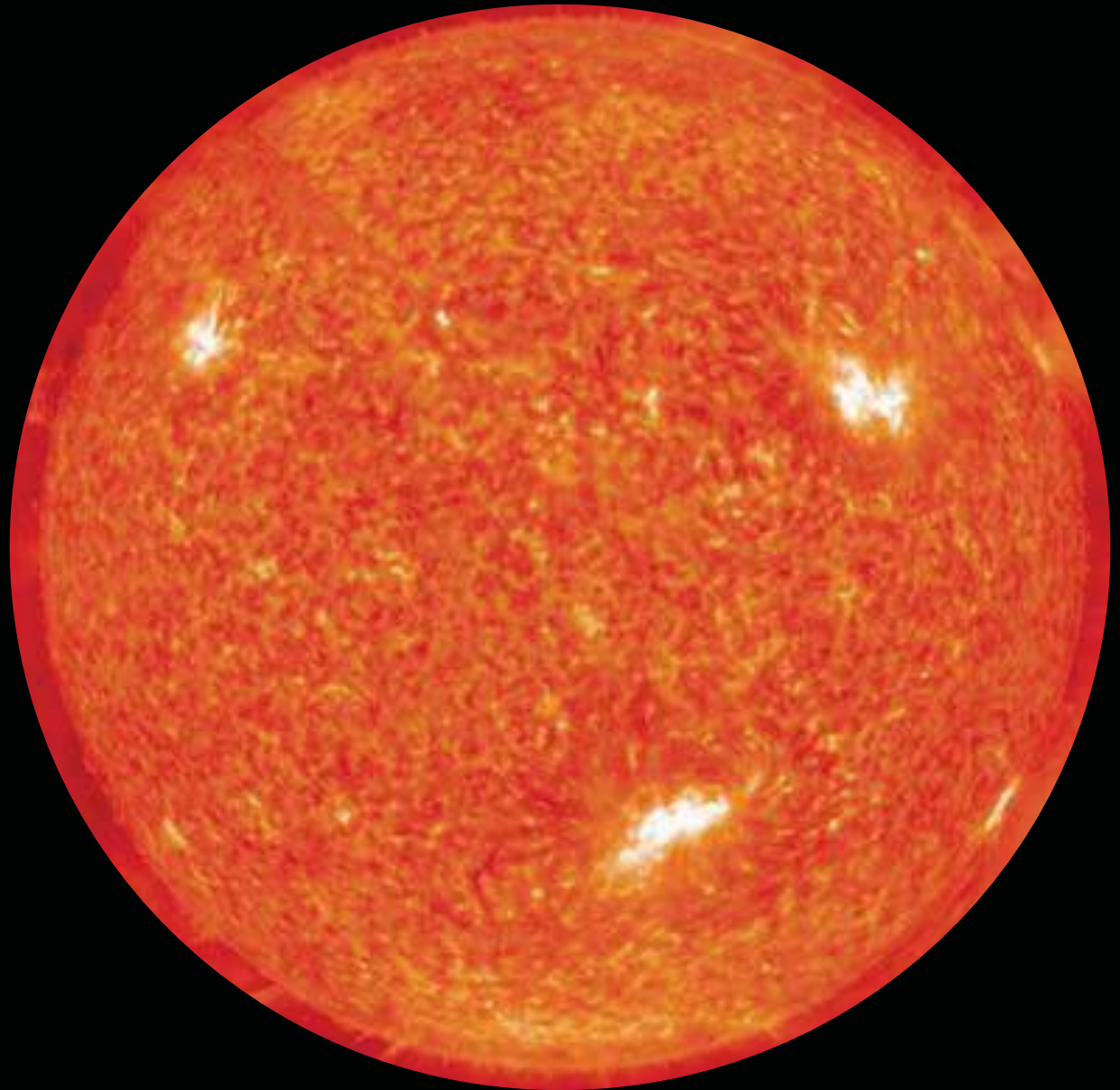
Il est donc facile de voir le big bang.

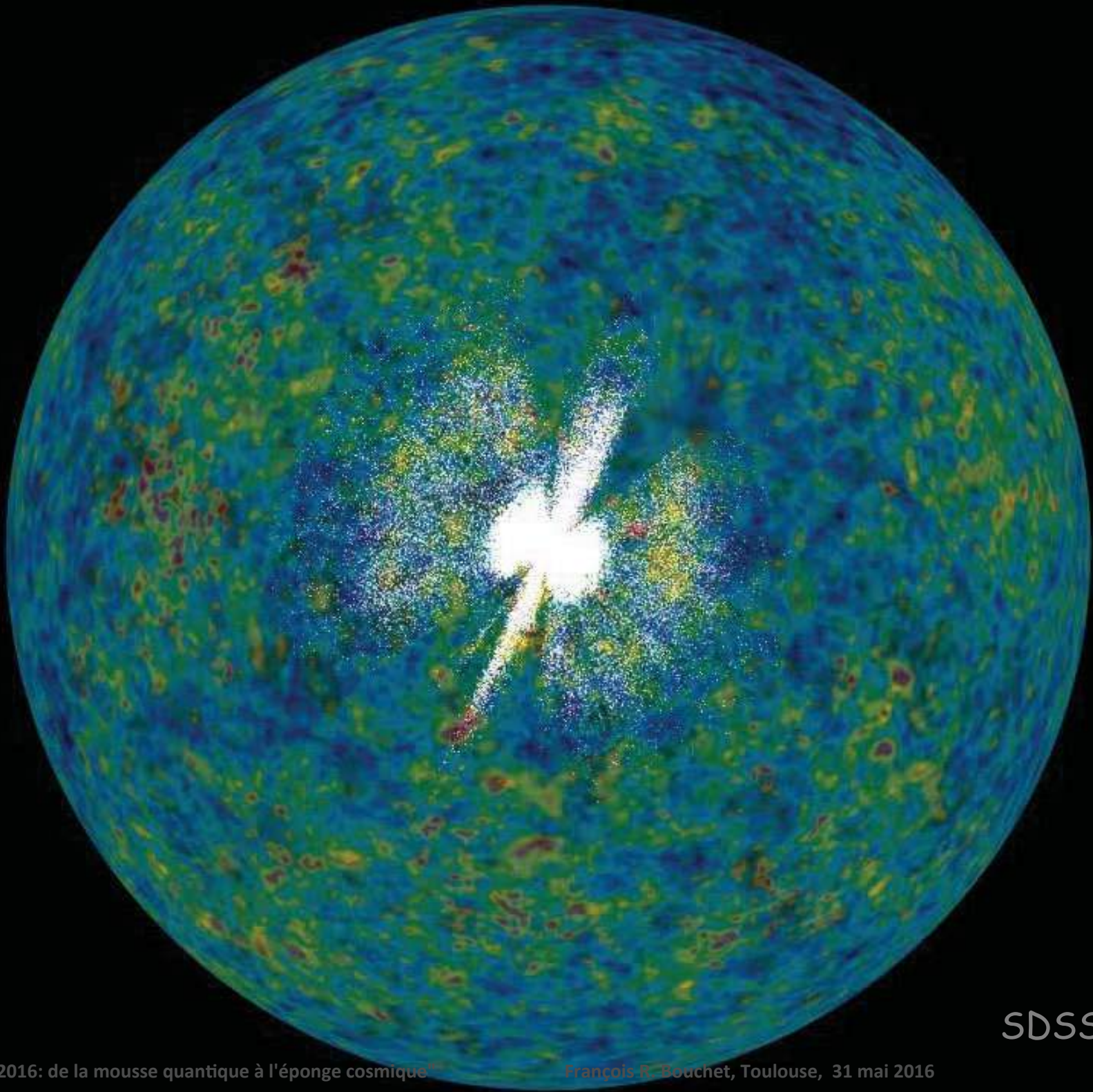
Pas besoin d'un telescope géant, il suffit de regarder là où il faut !



Une autre surface des dernières diffusions...

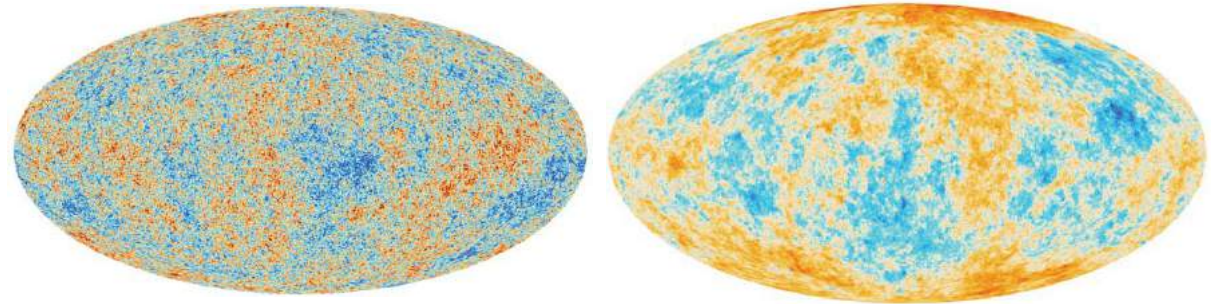
- Le soleil est aussi un plasma.
- On ne voit que sa surface, l'intérieur est opaque.
- Les photons qui nous parviennent du soleil n'interagissent plus avec le plasma, il diffusent une dernière fois, formant la surface du soleil avant de nous parvenir.
- En étudiant la surface du soleil, on déduit son fonctionnement à l'intérieur, bien qu'on ne puisse l'observer directement





SDSS & WMAP

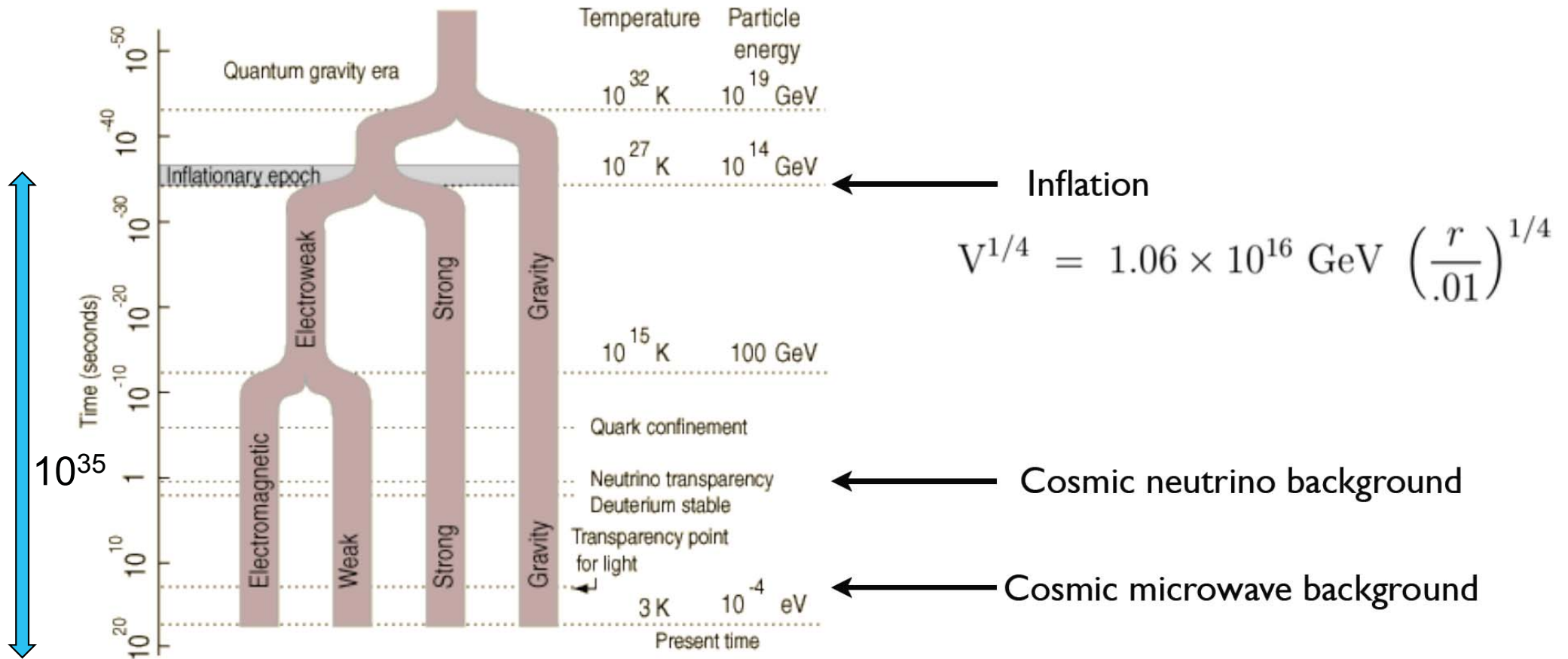
Les théoriciens ont pré-calculé les empreintes attendues dans le cas de divers scenarii



Peebles, Yu, Sachs & Wolf, Sunyaev, Zeldovich, Silk, Vittorio, Wilson, Mukhanov, Chibisov, Bardeen, Linde, Bond, Efstathiou, Bouchet, Bennett, Gott, Kaiser, Stebbins, Allen, Shellard, Seljack, Zaldariaga, Kamionkowski, Hu, ...



L'Univers primordial, laboratoire ultime de physique fondamentale



Planck era

$(T=10^{25}\text{eV} ?)$

INFLATION

$(T=3000\text{ K}$
 $=0.3\text{eV})$

CMB
last scattering

fraction
of a second

380,000
years

first
stars

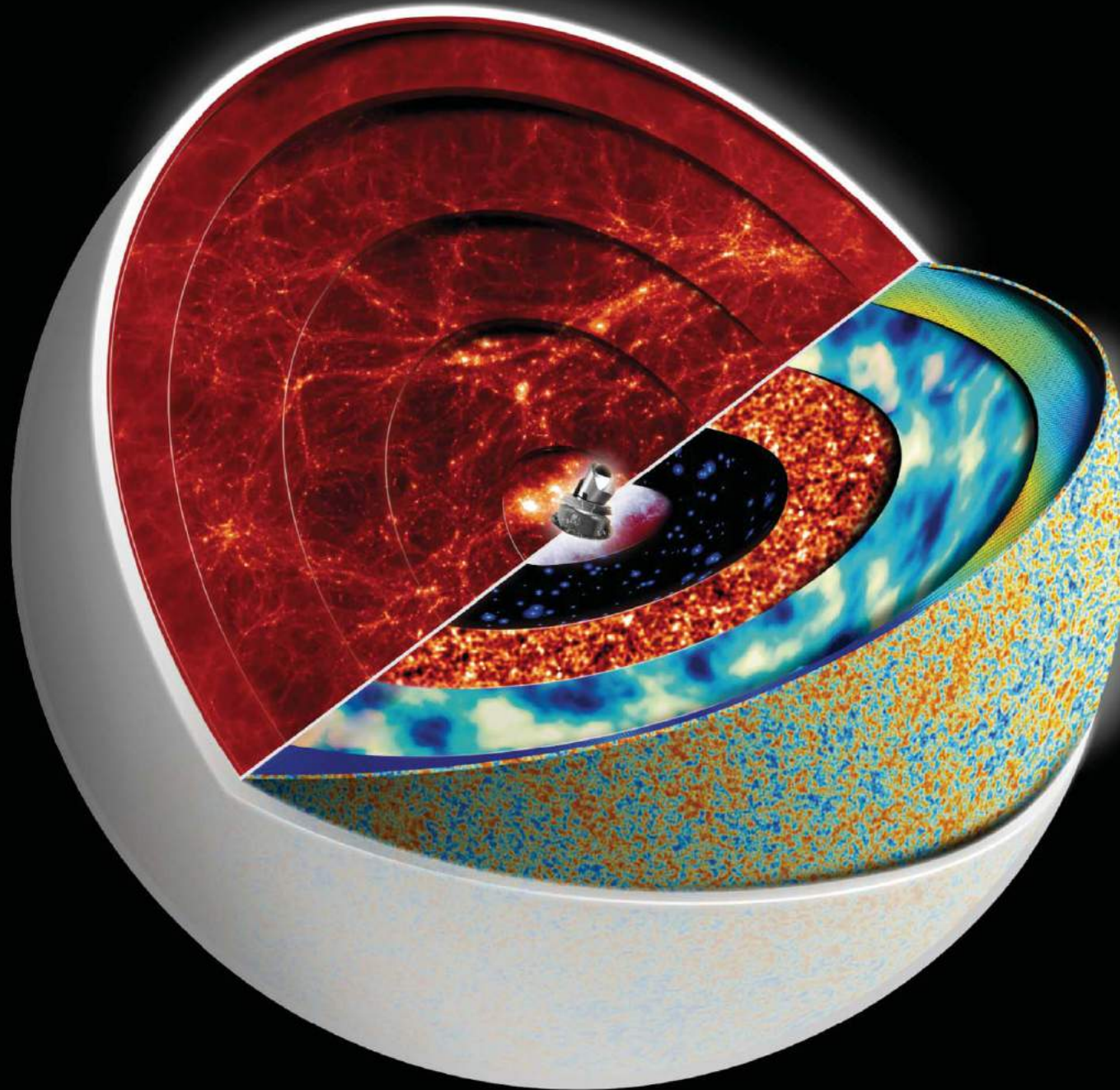
$(T=2.725\text{ K})$

~ 200 million
years

present
day

13.7 billion
years

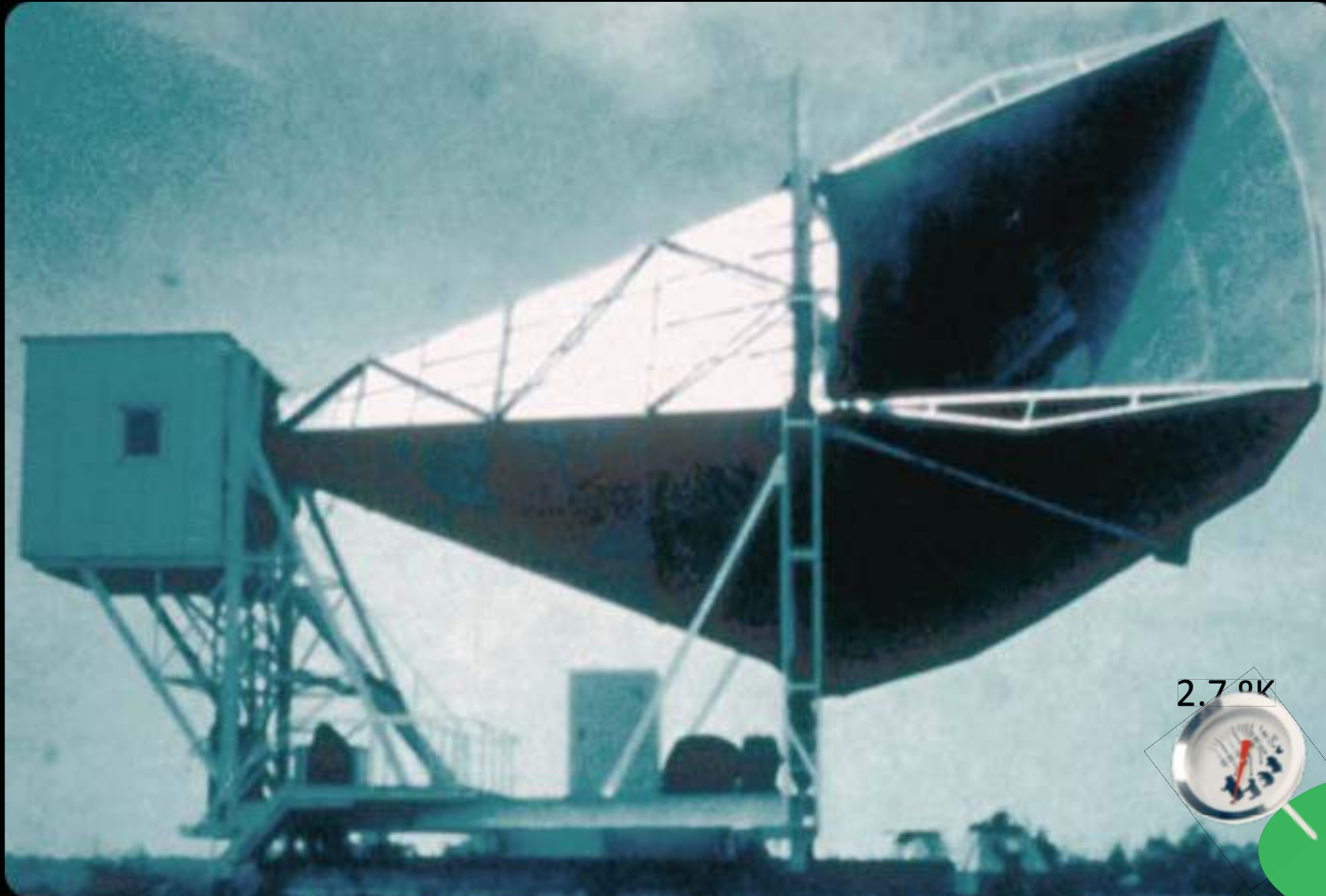
De la mousse quantique à l'éponge cosmique



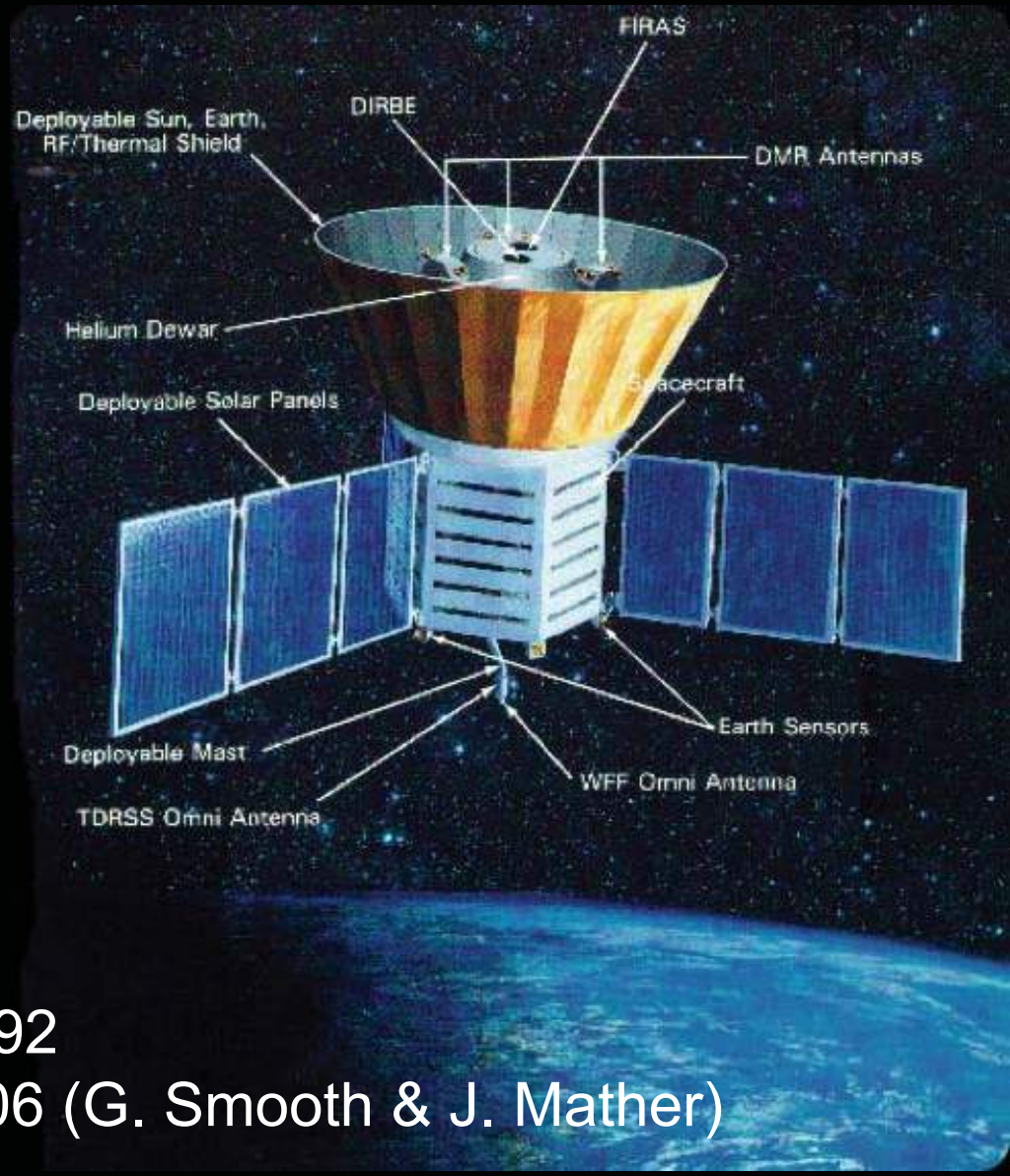


OBSERVER LE RAYONNEMENT FOSSILE

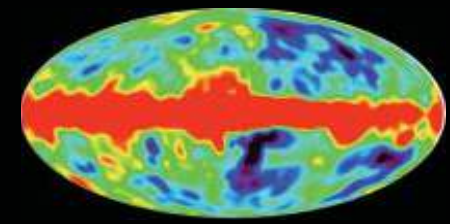
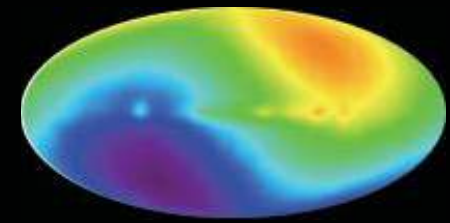
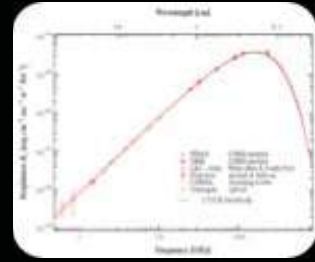
Quelques temps forts



First observation at Bell Labs
A. Penzias & A. Wilson in 1965
Nobel 1978

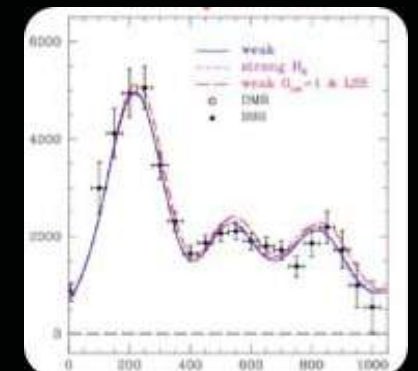
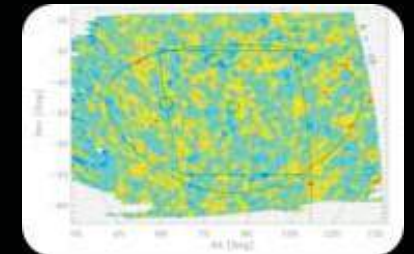
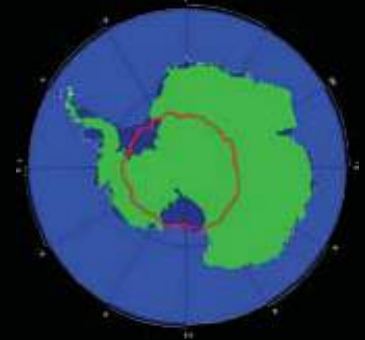


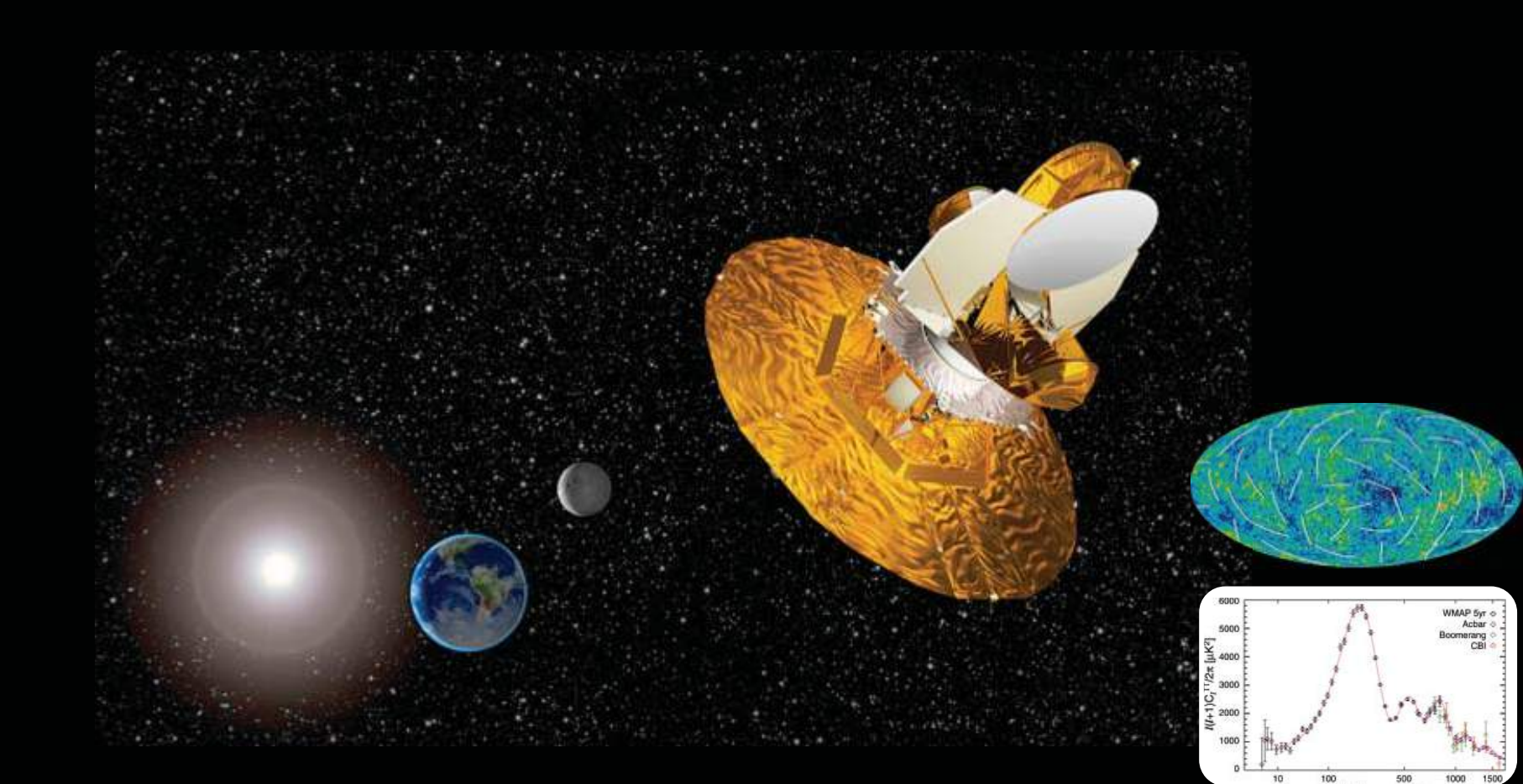
COBE 1992
 Nobel 2006 (G. Smooth & J. Mather)





Boomerang 1998-2001
Première observation du premier pic





Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP)
2003-2010
Observation des trois premiers pics
Informations sur la polarisation



PLANCK

2000 Kg
1600 W consumption
2 instruments - HFI & LFI
15 months nominal survey+4



Telescope with a 1.5 m diameter primary mirror

HFI focal plane with cooled instruments

Platform:

- Avionic (attitude control, data handling)
- Electrical power
- Telecommunications and electronic instruments

Solar panel and service module



4,2 m

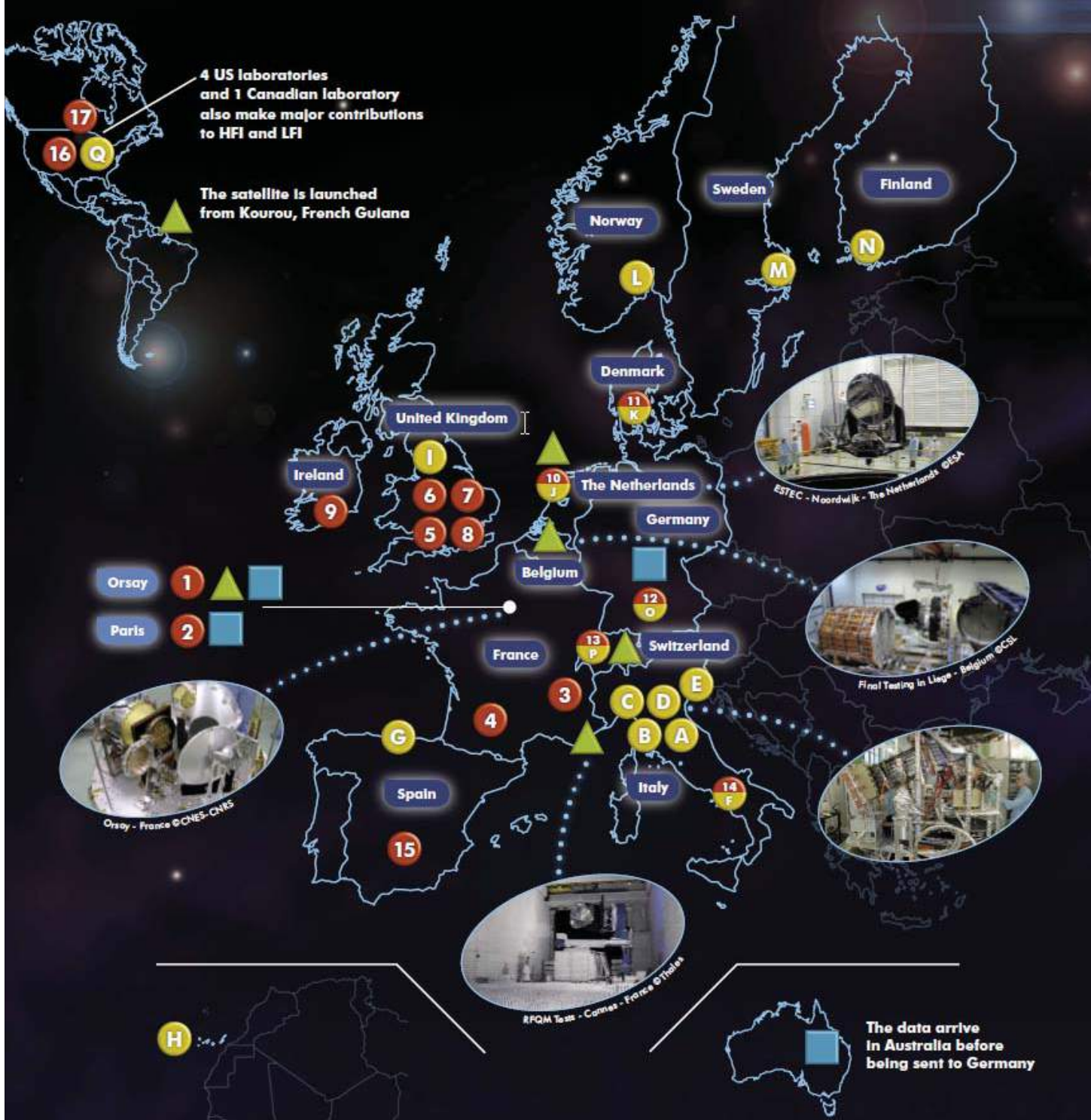
50 000 electronic components
36 000 l ^4He
12 000 l ^3He
11 400 documents
20 years between the first project and first results (2013)

6c per European per year
16 countries
400 researchers among 1000



4,2 m





Research Laboratories in the HFI Collaboration

- 1 Institut d'Astrophysique Spatiale, Orsay (F)
- 1 Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, Orsay (F)
- 1 Commissariat à l'Energie Atomique, Gif-sur-Yvette (F)
- 2 Institut d'Astrophysique de Paris, Paris (F)
- 2 Laboratoire d'Étude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique, Paris, (F)
- 2 AstroParticule et Cosmologie, Paris (F)
- 3 Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie, Grenoble (F)
- 3 Institut Louis Néel, Grenoble (F)
- 4 Centre d'Études Spatiales des Rayonnements, Toulouse (F)
- 5 Cardiff University, Cardiff (UK)
- 6 Rutherford Appleton Laboratory, Chilton (UK)
- 7 Institute of Astronomy, Cambridge (UK)
- 7 Mullard Radio Astronomy Observatory, Cambridge (UK)
- 8 Imperial College, London (UK)
- 9 National University of Ireland, Maynooth (IR)
- 10 Space Science Dpt of ESA, Noordwijk (NL)
- 11 Danish Space Research Institute, Copenhagen (DK)
- 12 Max-Planck-Institut fuer Astrophysik, Garching (D)
- 13 Université de Genève, Geneva (CH)
- 14 University La Sapienza, Rome (I)
- 15 Universidad de Granada, Granada (E)
- 16 California Institute of Technology, Pasadena (USA)
- 16 Jet Propulsion Laboratory, Pasadena (USA)
- 16 Stanford University, Stanford (USA)
- 17 Canadian Institute for Theoretical Astrophysics, Toronto (Canada)

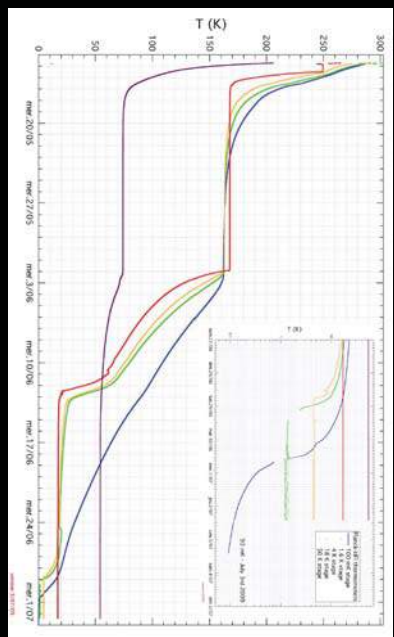
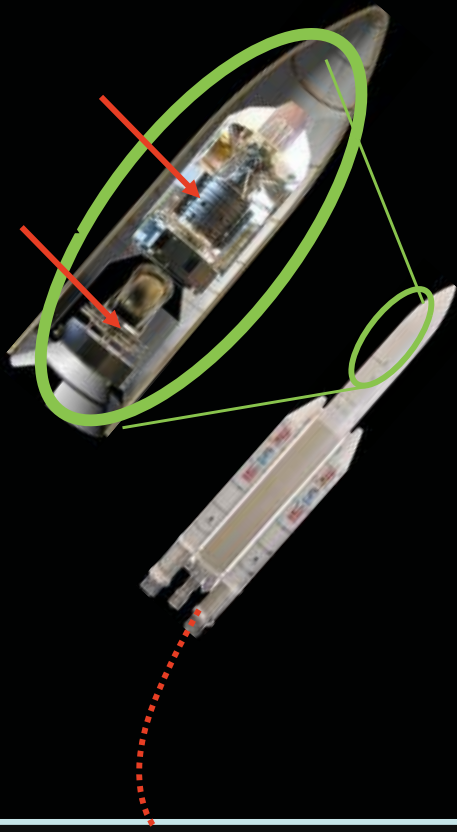
Research Laboratories in the LFI Collaboration

- A Istituto Nazionale di Astrofisica Spaziale et Fisica Cosmica, Bologna (I)
- B Istituto CAISMI, Firenze (I)
- C Istituto IASF (CNR), Milano (I)
- C Istituto di Fisica del Plasma IFP (CNR), Milano (I)
- D Osservatorio Astronomico di Padova, Padova (I)
- E Osservatorio Astronomico di Trieste, Trieste (I)
- E SISSA, Trieste (I)
- F Istituto IFSI, Roma (I)
- F Università Tor Vergata, Roma (I)
- G Instituto de Fisica de Cantabria, Santander (E)
- H Instituto de Astrofisica de Canarias, La Laguna (E)
- I Jodrell Bank Observatory, Macclesfield (UK)
- J Space Science Dpt of ESA, Noordwijk (NL)
- K Danish Space Research Institute, Copenhagen (DK)
- K Theoretical Astrophysics Center, Copenhagen (DK)
- L University of Oslo, Oslo (N)
- M Chalmers University of Technology, Goteborg (S)
- N Millimetre Wave Laboratory, Espoo (FI)
- O Max-Planck-Institut fuer Astrophysik, Garching (D)
- P Université de Genève, Geneva (CH)
- Q University of California (Berkeley), Berkeley (USA)
- Q University of California (Santa Barbara), Santa Barbara (USA)
- Q Jet Propulsion Laboratory, Pasadena (USA)

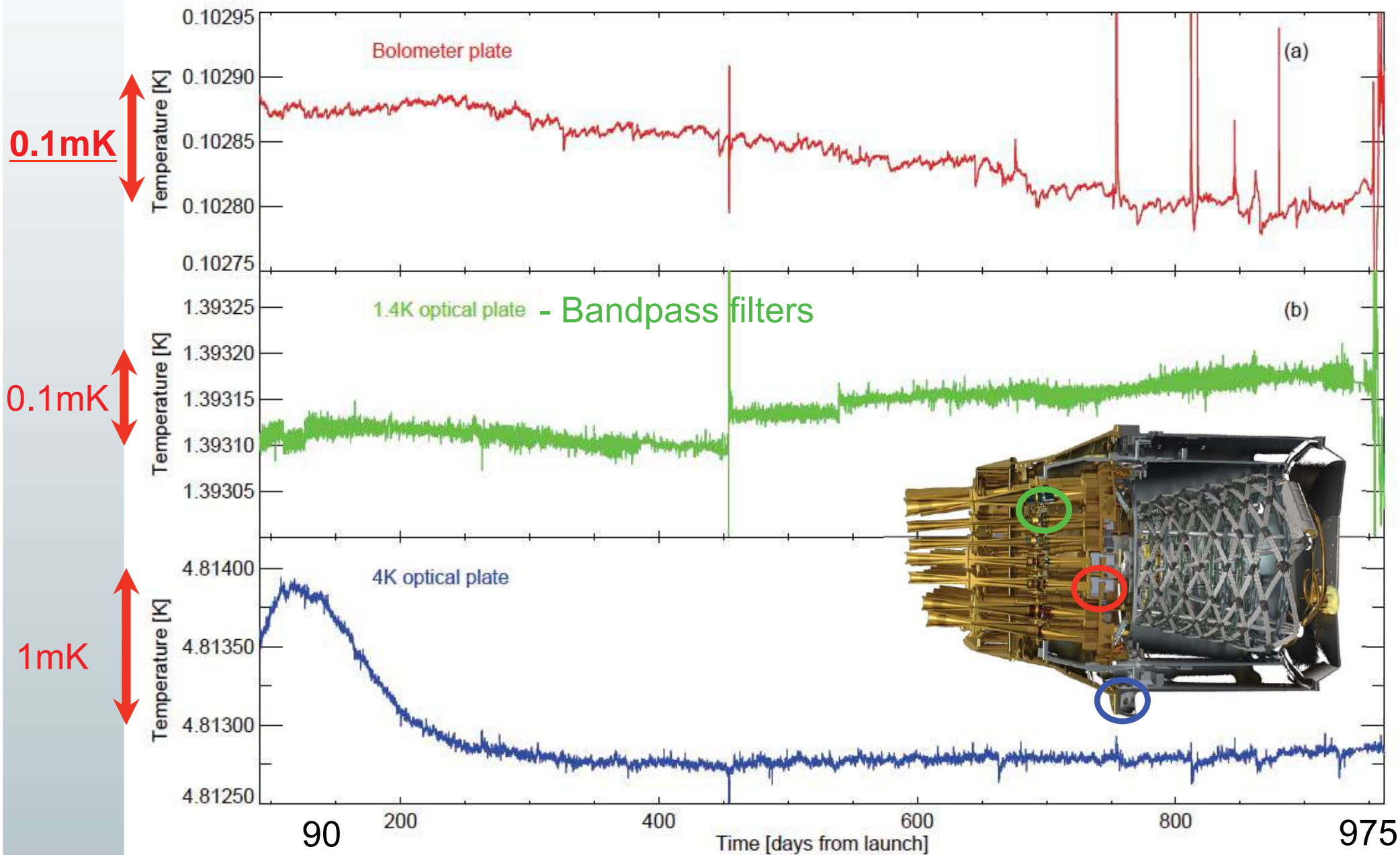


DUSTING IT OFF...

AFTER 16 YEARS
OF HOPES & WORK



When I say very stable...



Last commands Darmstadt, October 23rd 2013

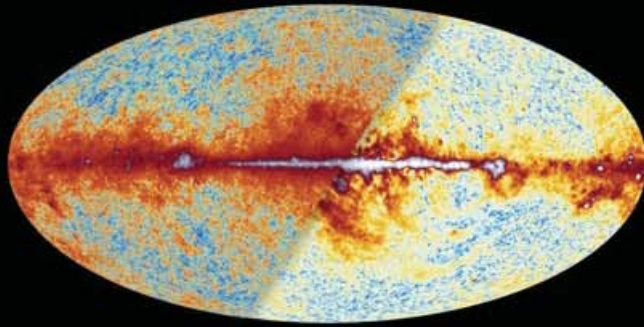
TIME (Z)	EVENT	STATUS
	DAY 296 Y R M N D Y 13 10 23	
10.09	Speak on Console.	bw
10.42	POS NVD	bw
10.54	Reset SCC.	bw
10.59	Commission Test.	bw
11.00	Fix Guard.	bw
11.01	(MMA → OK) Pict Sme2	bw
11.02	Pict Sme1	bw
11.03	CEL A (empty)	bw
11.03	DEL CEL A + B	bw
11.05	HEALTH CHECKS + MUSIC Dumps.	bw
11.06	STRG 2 Dump Complete.	bw
11.16	ECC CHAIN 2 TO MSD. (continued: 11.20.)	bw
11.17	MSD END SENT.	bw
11.20	ECC CHAIN 2 TO MSD. (continued: 11.26.)	bw
11.22	Remaining SOLVED	bw
11.30	DEM22170.	bw
11.33	VC2 TRANSFERRED	bw
11.38	EOL-LAST-DAY - BCR - BDR.	bw
11.39	Reset SCC.	bw
11.48	EOL-LAST-DAY - LAST - COMMANDS	bw
12.04	EOL-LAST-DAY - LAST - COMMANDS	bw
12.11	TX OFF Command	bw

A la Cave de l'IAP...

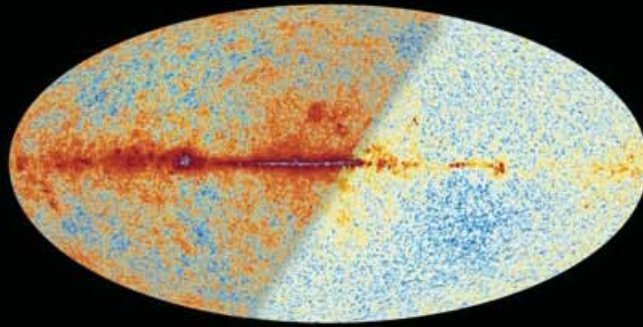
+ CC/CINECA/
Darwin/NERSC...



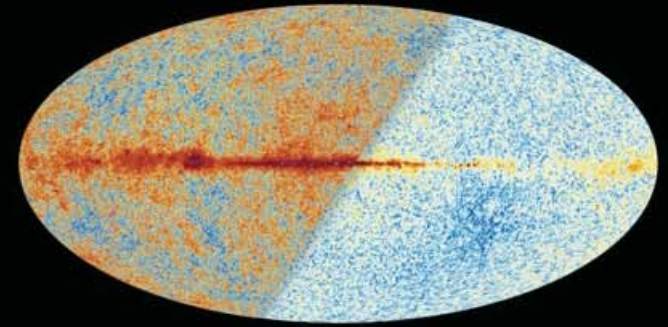
Disponible maintenant, chez vous!



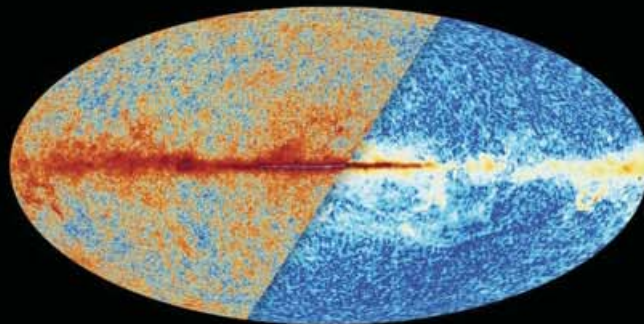
30 GHz



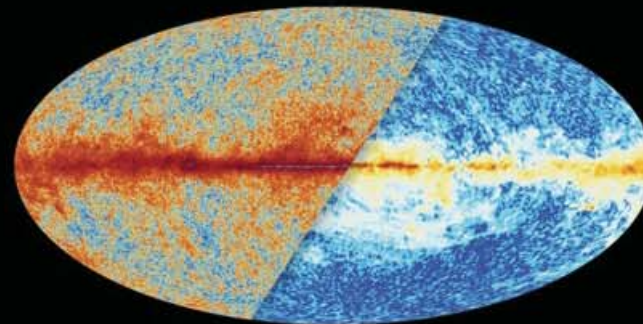
44 GHz



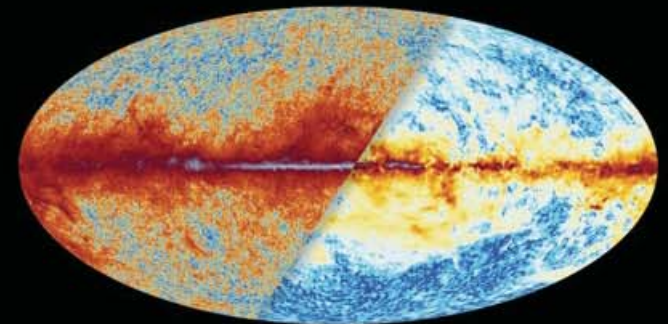
3.5 μ K.deg, 13' 70 GHz



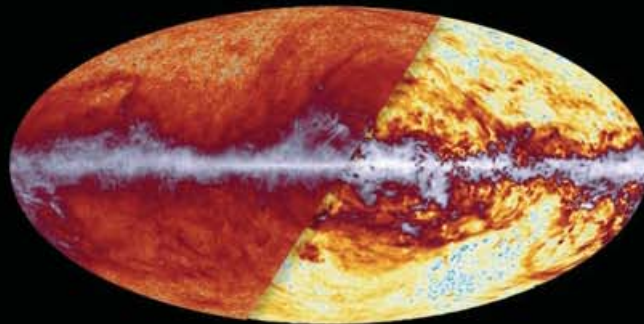
1.3 μ K.deg, 9.7' 100 GHz



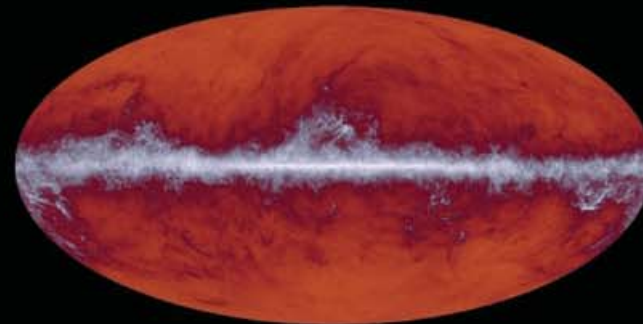
0.5 μ K.deg, 7.3' 143 GHz



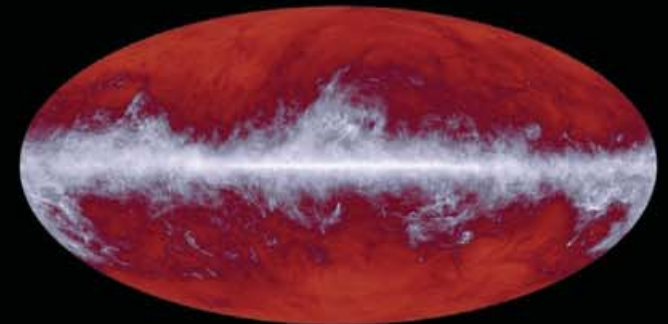
0.8 μ K.deg, 5.0' 217 GHz



353 GHz

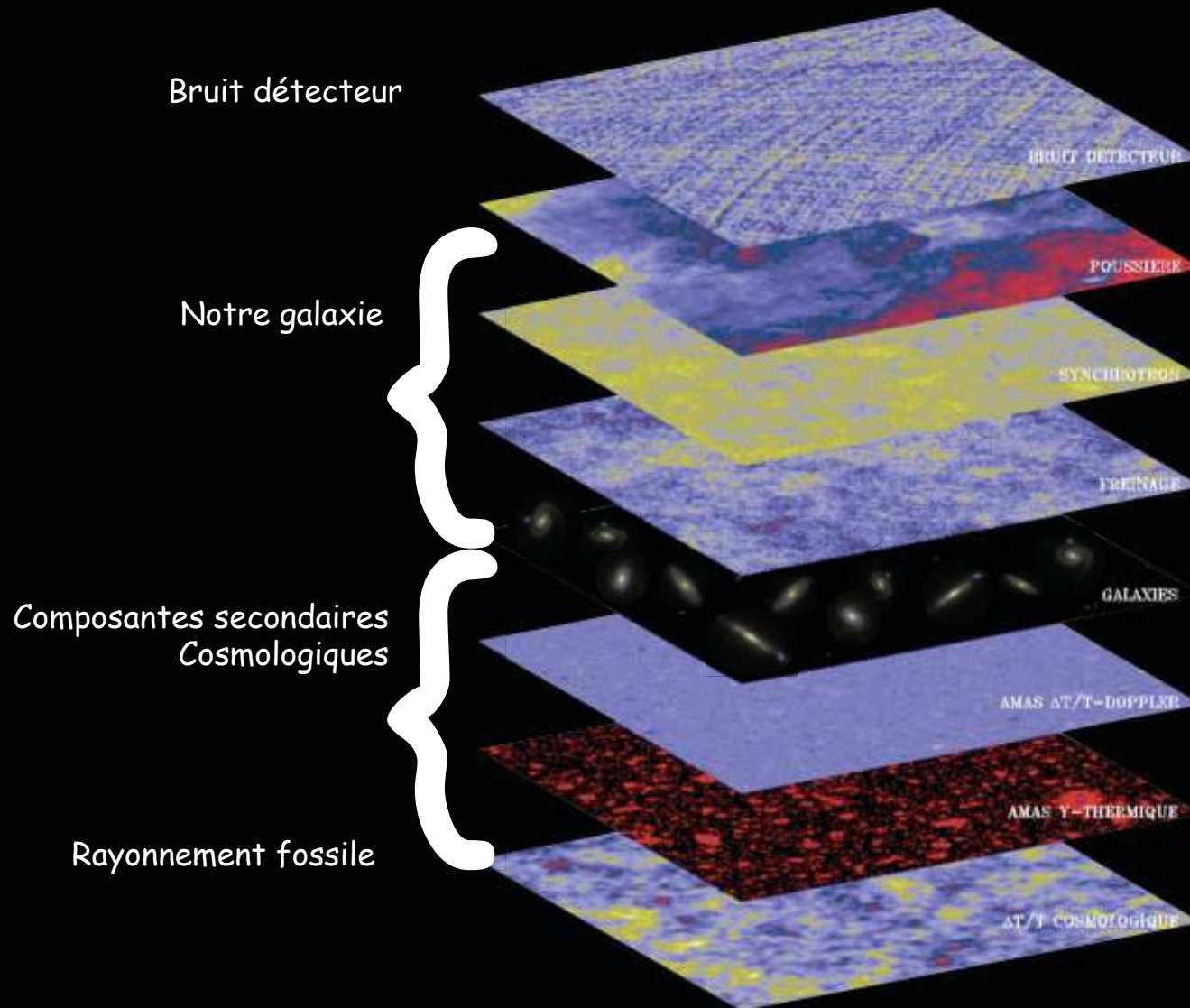


545 GHz



857 GHz

Un autre défi... Séparer les différentes composantes



Le rayonnement fossile n'est pas la seule émission micro-onde...

Il faut la séparer des autres émissions (qui contiennent aussi des informations astrophysiques très intéressantes !).

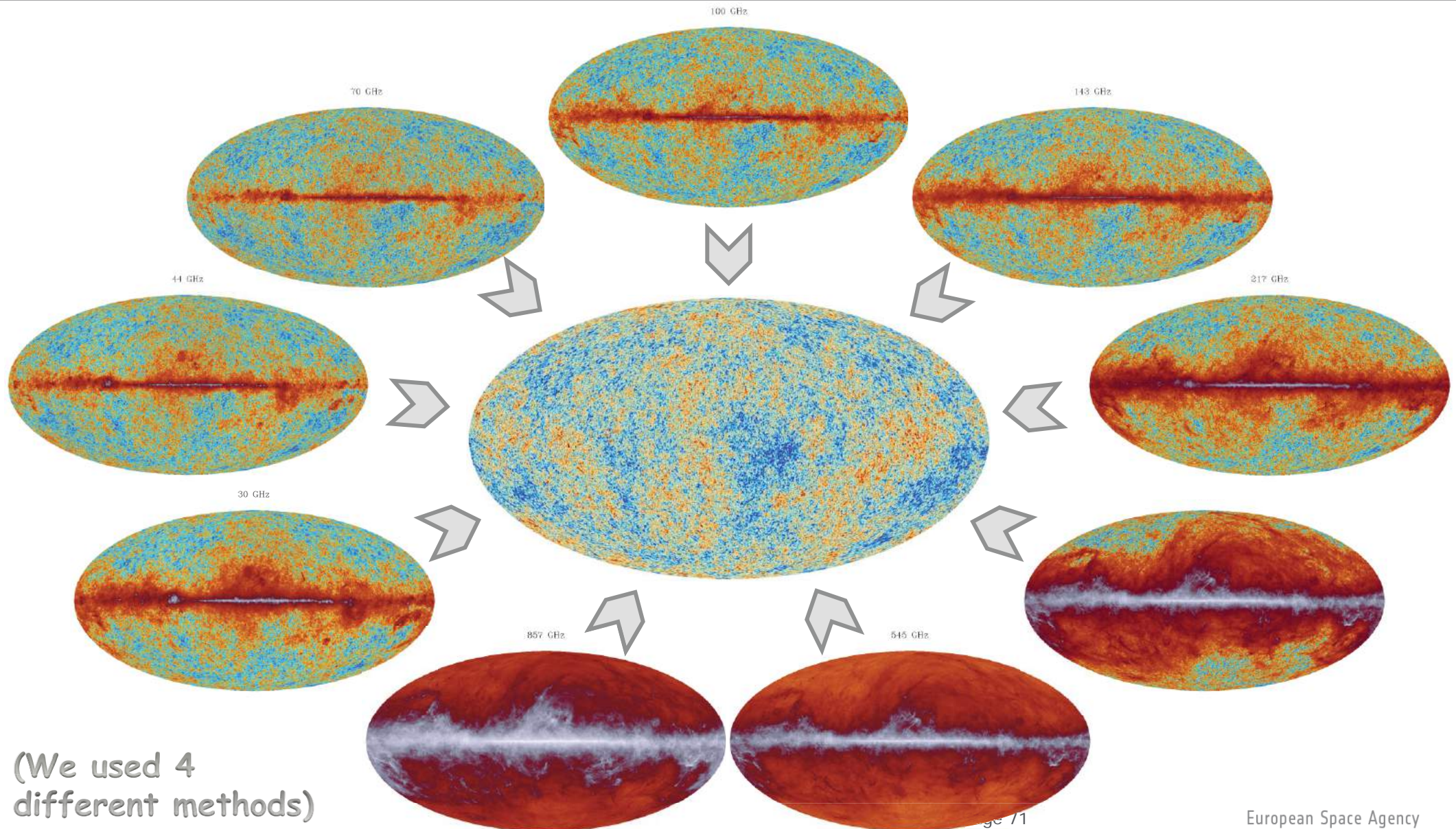
On utilise pour cela des algorithmes issus de la recherche en mathématiques appliquées.

C'est le problème du cocktail...

Quand il faut isoler une conversation à l'aide de divers enregistrements

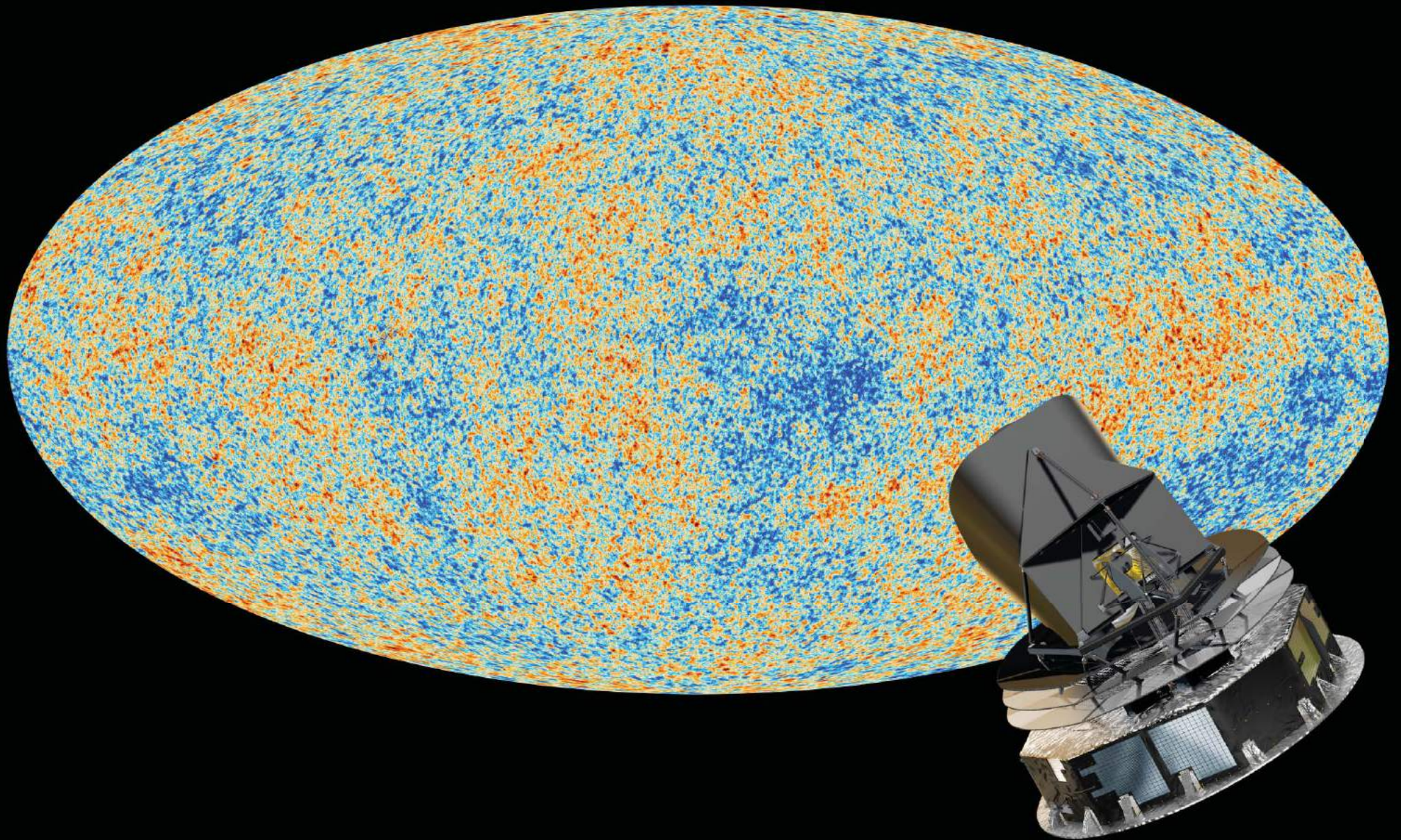


Cleaning the background from its 7 veils



(We used 4 different methods)

La carte exhaustive des anisotropies de température relevée par Planck





Le Monde

physics world

TOP 10 BREAKTHROUGH 2013

CRISE CHYPRIOTE : L'ULTIMATUM DE FRANCOIS

ÉCONOMIE • LIEN ÉPIQUE

En Tunisie, le drame des disparus de la révolution

ENQUÊTE • LIEN ÉPIQUE

Vendredi 22 mars 2013 4^e page - 17°35'4 - 1,80 € - France et République - www.lemonde.fr - France: Hubert/Beuve-Méry - Direction: M. de La Haye

Moins d'impôts et plus d'austérité, Londres persiste

- Le Royaume-Uni fait cavalier seul en matière fiscale et décide 13 milliards d'euros de coupes budgétaires
 - En panne de croissance comme le reste de l'Europe, Londres mise toujours plus sur la Banque d'Angleterre
 - L'efficacité des politiques d'austérité en question
- LIEN ÉPIQUE • LIEN ÉPIQUE • LIEN ÉPIQUE

LE MONDE DES LIVRES

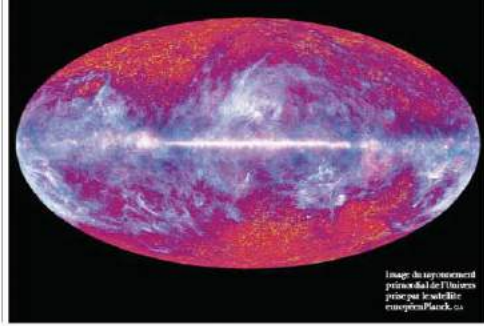
Spécial Salon du livre de Paris

- Baccarini livre inédit, Roumanie à l'honneur
- Que la littérature étrangère au collège et au lycée ? Regard du Nord et du Sud
- Le livre numérique peine à décoller

SUPPLÉMENT, DÉPARTS 23-29 ET 31-3

C'ÉTAIT L'UNIVERS IL Y A 13,8 MILLIARDS D'ANNÉES

Des images inédites du satellite européen Planck dévoilent l'enfance du monde. Né d'une nébuleuse, mais des particules microscopiques, des électrons et des protons. **LIRE PAGE 2-3**



Le pari de Cameron : politique de l'offre contre récession

Le Premier ministre britannique David Cameron a annoncé mardi 19 mars son intention de passer à la politique de l'offre. Cette décision, qui consiste à réduire les impôts et à augmenter les dépenses publiques, est considérée comme une réponse à la récession. Cameron a déclaré que son gouvernement allait mettre en œuvre une série de mesures pour stimuler la croissance et créer des emplois. Ces mesures incluent la réduction de l'impôt sur le revenu, la baisse des cotisations sociales, et l'augmentation des dépenses dans les secteurs de l'éducation, de la santé, et de l'infrastructure. Cette politique est jugée risquée car elle pourrait aggraver le déficit public si elle ne parvient pas à générer suffisamment de croissance.

AUJOURD'HUI

- « Bibi » et Barack s'accrochent** : L'ancien président américain Barack Obama et le Premier ministre israélien Benjamin Netanyahu ont eu une rencontre tendue à Jérusalem.
- La taxe à 75% ne passe pas au Sénat** : Le Sénat français a refusé de voter la loi de finances pour 2013.
- Mise en vente d'une œuvre exceptionnelle de Bacon** : Une œuvre de Francis Bacon sera mise en vente aux enchères.

L'ÉVÉNEMENT

L'enfance de l'Univers dévoilée

Le satellite européen Planck livre des images inédites sur le cosmos, 380 000 ans après le Big Bang

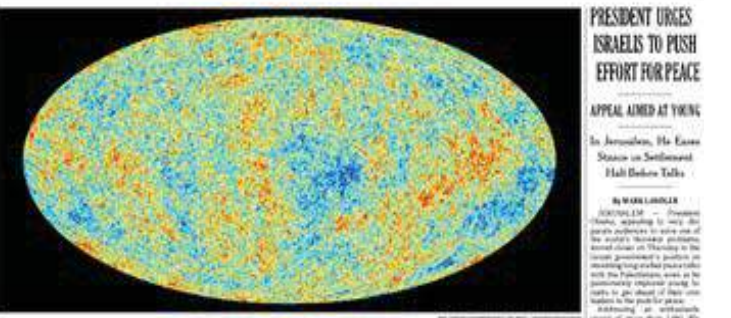
Le satellite européen Planck a livré mardi ses premières images inédites du cosmos, 380 000 ans après le Big Bang. Ces images montrent l'univers tel qu'il était à cette époque, une nébuleuse de particules microscopiques. Les cartes illustrent les fluctuations de température du fond diffus cosmologique, qui sont les germes de la formation des galaxies et des amas de galaxies.

Le pari de Cameron : politique de l'offre contre récession

Le Premier ministre britannique David Cameron a annoncé mardi 19 mars son intention de passer à la politique de l'offre. Cette décision, qui consiste à réduire les impôts et à augmenter les dépenses publiques, est considérée comme une réponse à la récession. Cameron a déclaré que son gouvernement allait mettre en œuvre une série de mesures pour stimuler la croissance et créer des emplois. Ces mesures incluent la réduction de l'impôt sur le revenu, la baisse des cotisations sociales, et l'augmentation des dépenses dans les secteurs de l'éducation, de la santé, et de l'infrastructure. Cette politique est jugée risquée car elle pourrait aggraver le déficit public si elle ne parvient pas à générer suffisamment de croissance.

The New York Times

WEDNESDAY, MARCH 22, 2013



The Cosmos, Back in the Day

The images from the satellite are the most detailed yet of the universe's infancy. They show the universe as it was 380,000 years after the Big Bang, a time when the universe was still a hot, dense plasma of particles. The map shows the temperature fluctuations of the cosmic microwave background, which are the seeds of the formation of galaxies and clusters of galaxies.

Bronx Inspector, Secretly Taped, Suggests Race Is a Factor in Stops

A video recording of a police officer secretly taping a conversation with a suspect during a stop in the Bronx, N.Y., suggests that race may be a factor in the officer's decision to stop the suspect. The video shows the officer asking the suspect for identification and then making a statement that appears to be a racial slur. The incident has sparked a debate about racial bias in law enforcement.

Once Few, Women Hold More Power in Senate

As the number of women in the U.S. Senate grows, their influence is increasing. Women now hold a record number of seats in the Senate, and their presence is changing the dynamics of the chamber. They are bringing new perspectives and priorities to the legislative process, particularly in areas such as education, healthcare, and women's rights.

Fast-Growing Brokerage Firm Often Tangles With Regulators

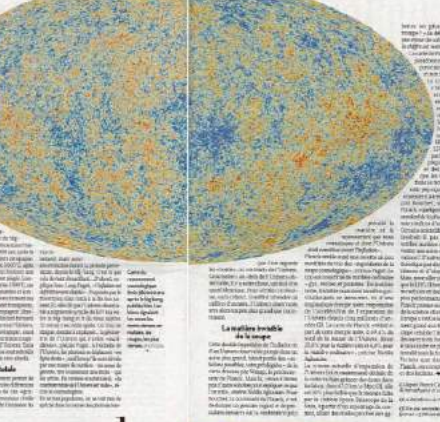
A fast-growing brokerage firm has found itself in a tangle with regulators. The firm's aggressive marketing and sales strategies have drawn the attention of the Securities and Exchange Commission (SEC). The SEC has issued several warnings and fines to the firm, citing violations of securities laws. The firm has defended its practices, claiming that they are necessary to compete in a highly competitive market.

Mood Darkens in Cyprus Ahead of Bailout Deadline

The mood in Cyprus is darkening as the country approaches a deadline for a bailout. The government is struggling to secure the necessary funds from international lenders, and the situation is becoming increasingly dire. There is growing concern about the economic future of the island and the potential for social unrest.

SCIENTIFICS

Hier, une équipe de 350 astrophysiciens a publié la carte du cosmos, peuplée par le télescope spatial Planck, elle révèle son âge, son passé, sa vitesse d'expansion, son contenu...



Le satellite européen Planck a livré mardi ses premières images inédites du cosmos, 380 000 ans après le Big Bang. Ces images montrent l'univers tel qu'il était à cette époque, une nébuleuse de particules microscopiques. Les cartes illustrent les fluctuations de température du fond diffus cosmologique, qui sont les germes de la formation des galaxies et des amas de galaxies.

La mappemonde de l'Univers

"Planck 2016: de la mousse quantique à l'éponge cosmique"

Le Monde.fr partenaire **IBM**

Avec l'Internet des objets, le web sort du bocal

Par Hubert Proust

Le monde est devenu plus connecté que jamais. Les objets du quotidien sont désormais capables de communiquer entre eux et avec les ordinateurs. Cette révolution technologique ouvre de nouvelles perspectives pour l'économie, la santé, et l'éducation.

Space Newsfeed

Supersupercomputer Helps Planck Mission Expose Ancient Light

Better 'baby picture' of universe emerges

The universe's first light

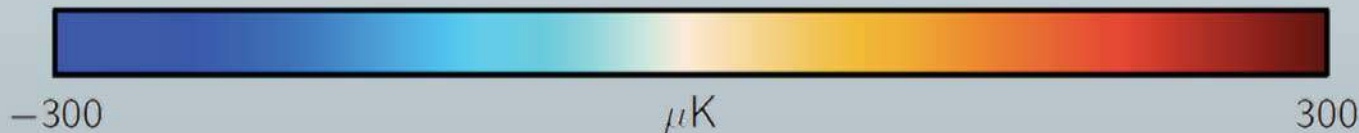
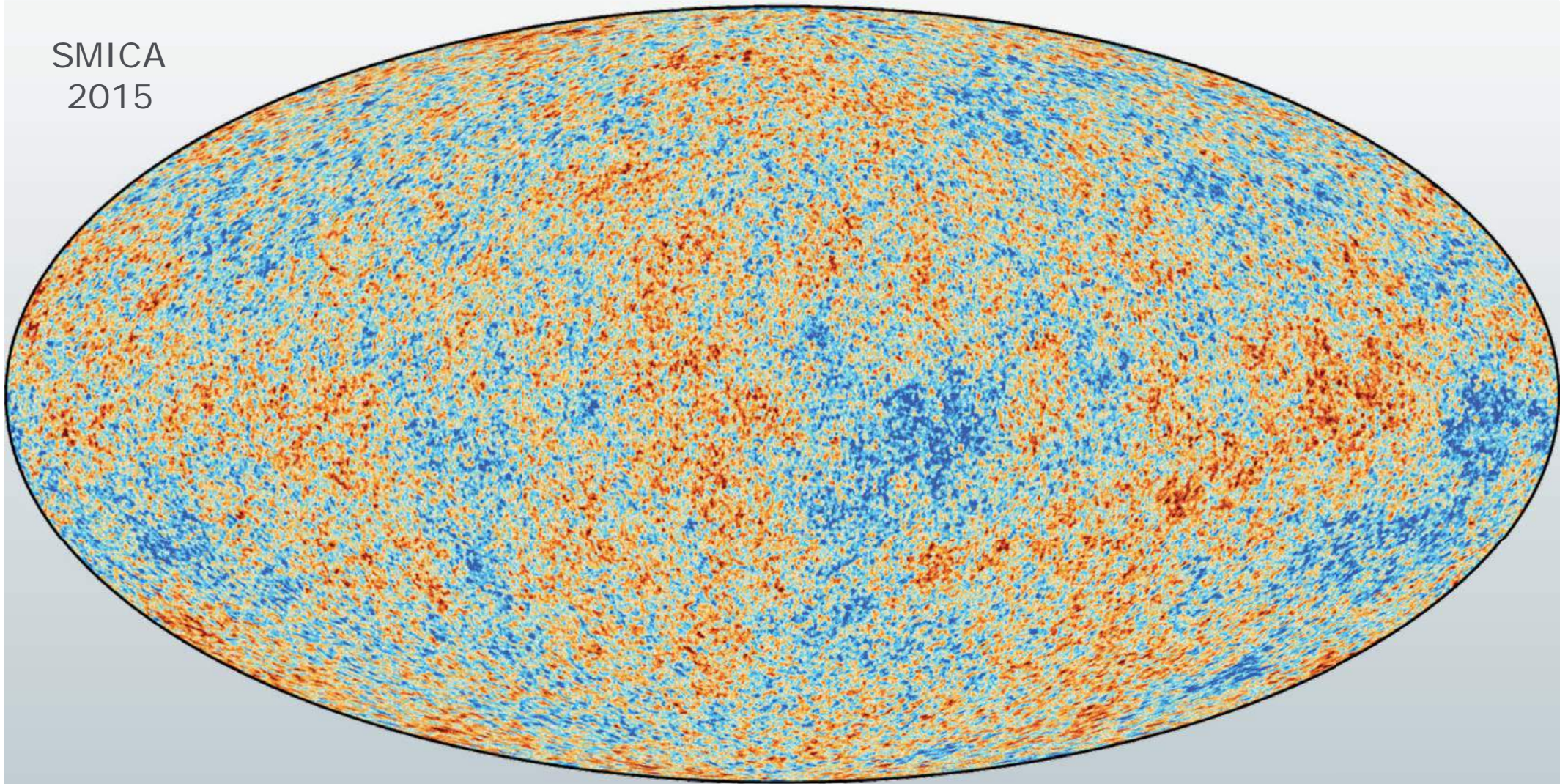
IBM



Planck 2015 T anisotropies map

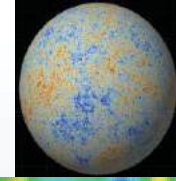


SMICA
2015

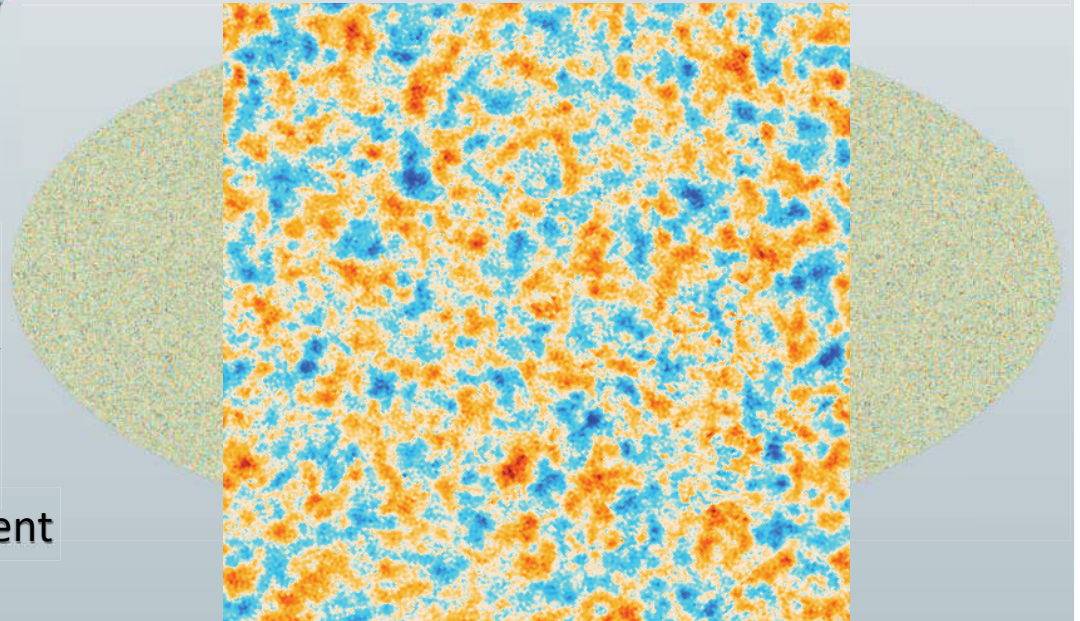
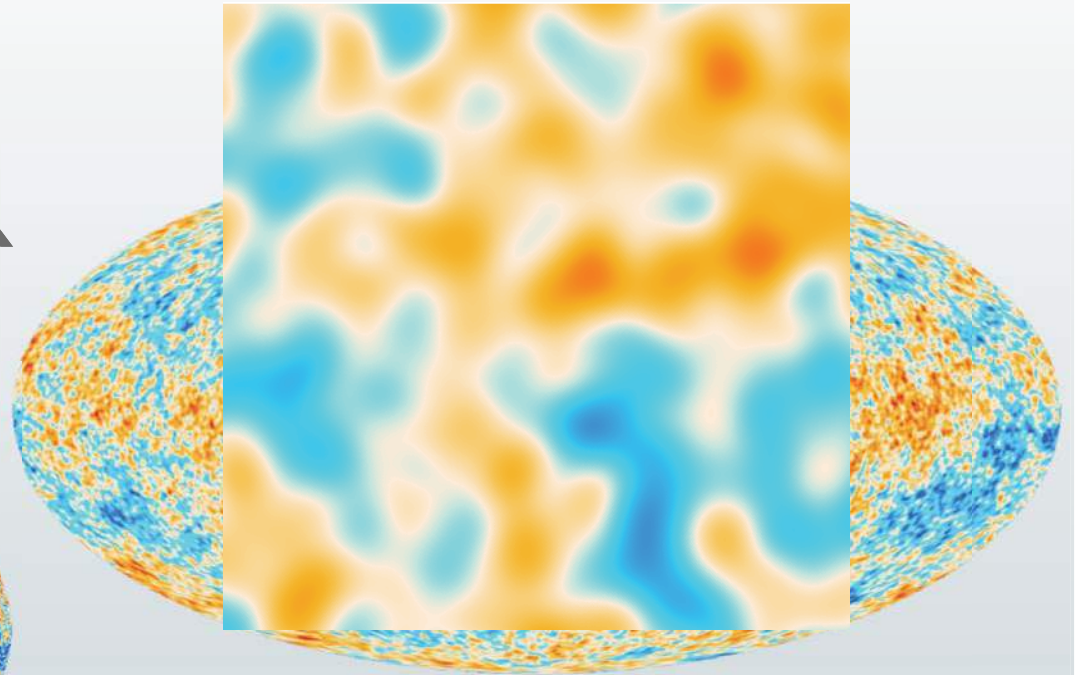
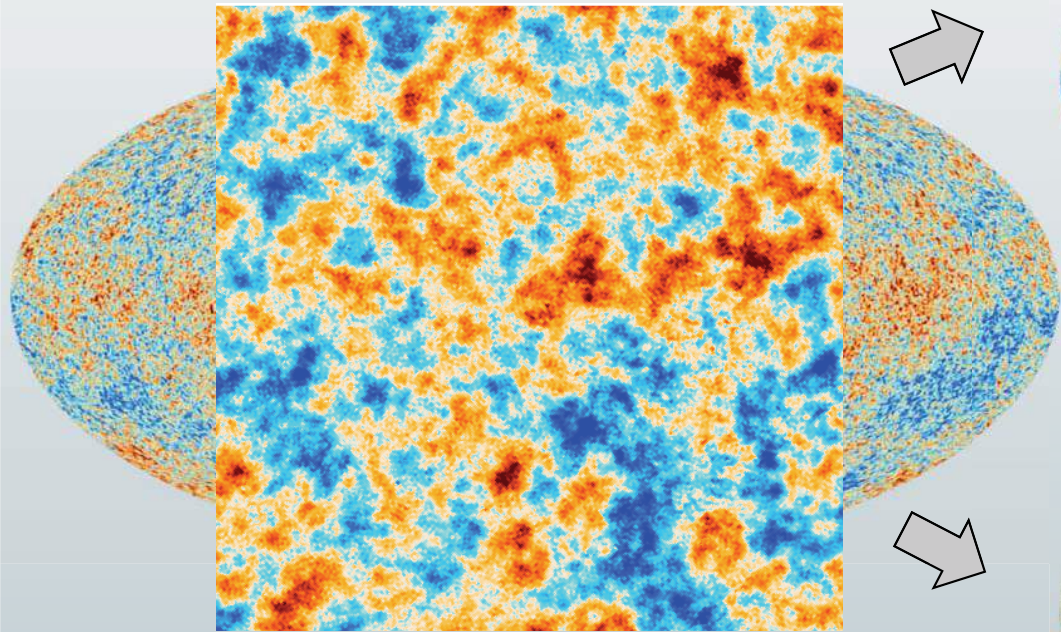




Une fenêtre unique...



Smoothed map (suppressing scales $\theta < 1$ deg) :
 Quantum Fluctuations imprinted
 When the age of the Universe was in the
 interval $[10^{-39}, 10^{-12}]$ seconds

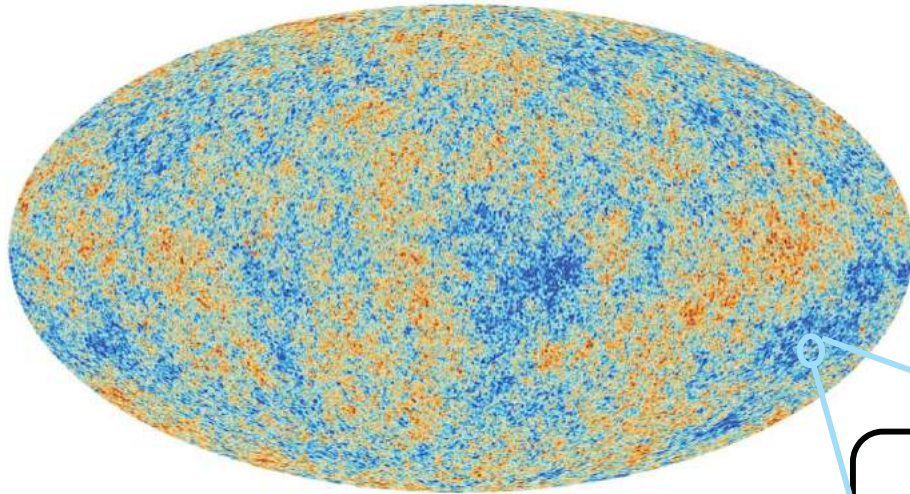


Difference map (scales $\theta < 1$ deg) :
 Acoustic oscillations at small scales
 $< ct$ when $t=380\ 000$ years (~ 150 Mpc today).
 Which allows to take a census of the Universe content

Ce qu'en dit la théorie...

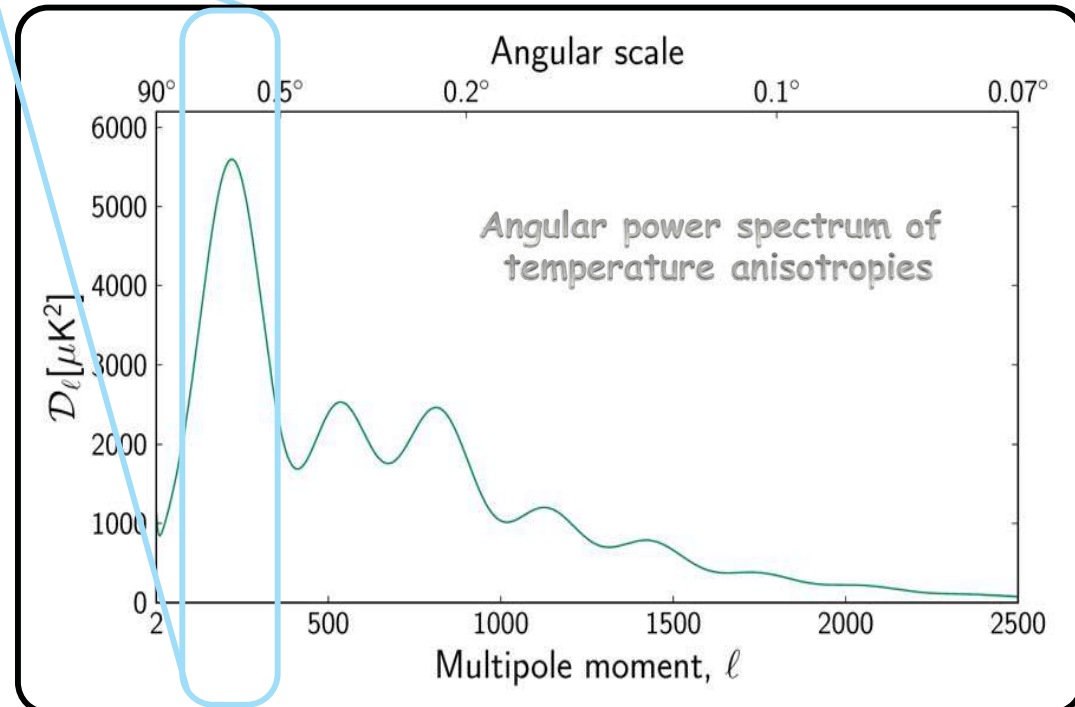


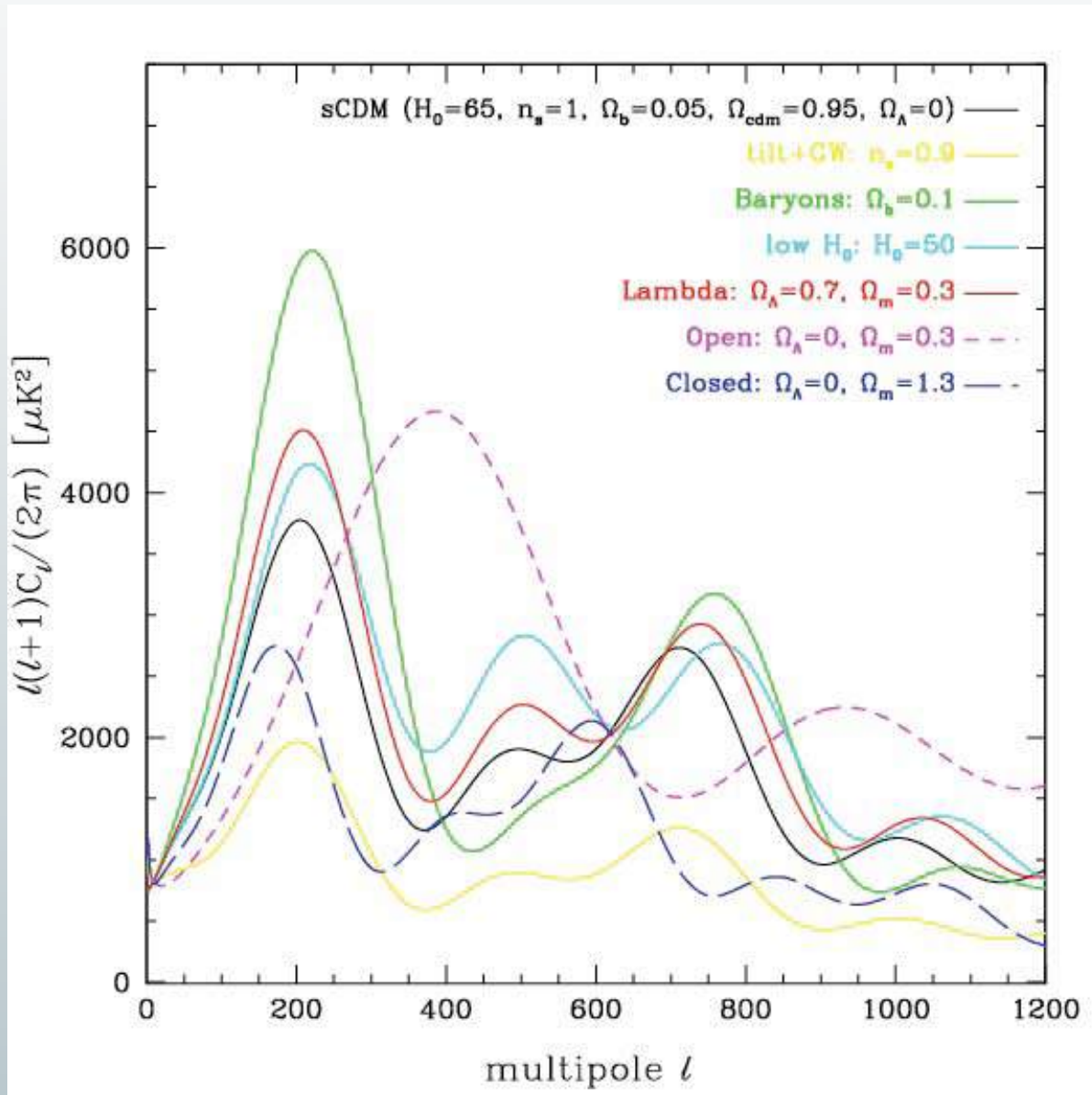
(bien avant les observations...)



On ne peut prédire la carte des anisotropies, telle que nous l'observons...

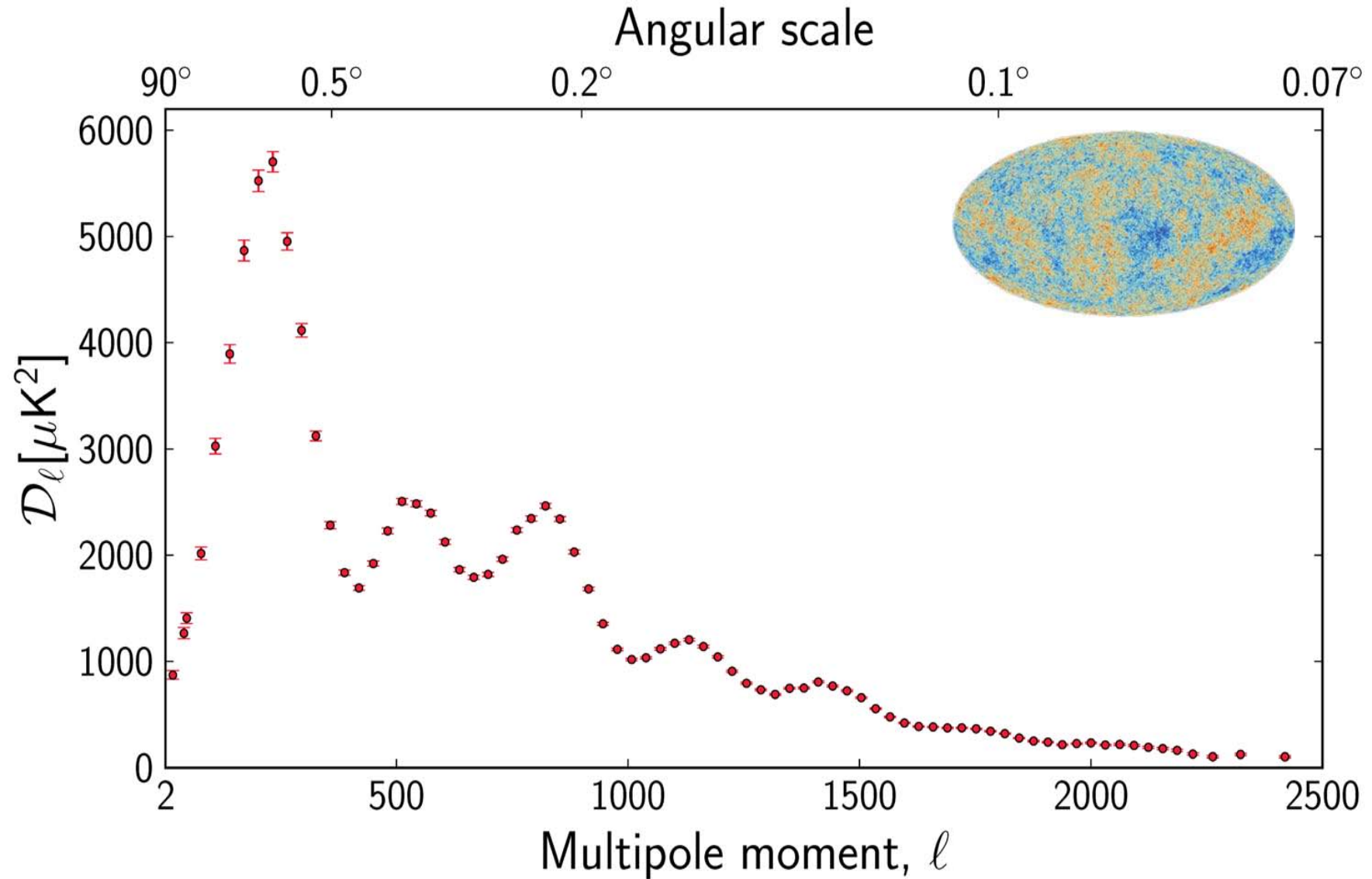
Mais on peut prédire ses propriétés statistiques ! (comme par exemple la hauteur typique des vagues en fonction de leur distance crête à crête)

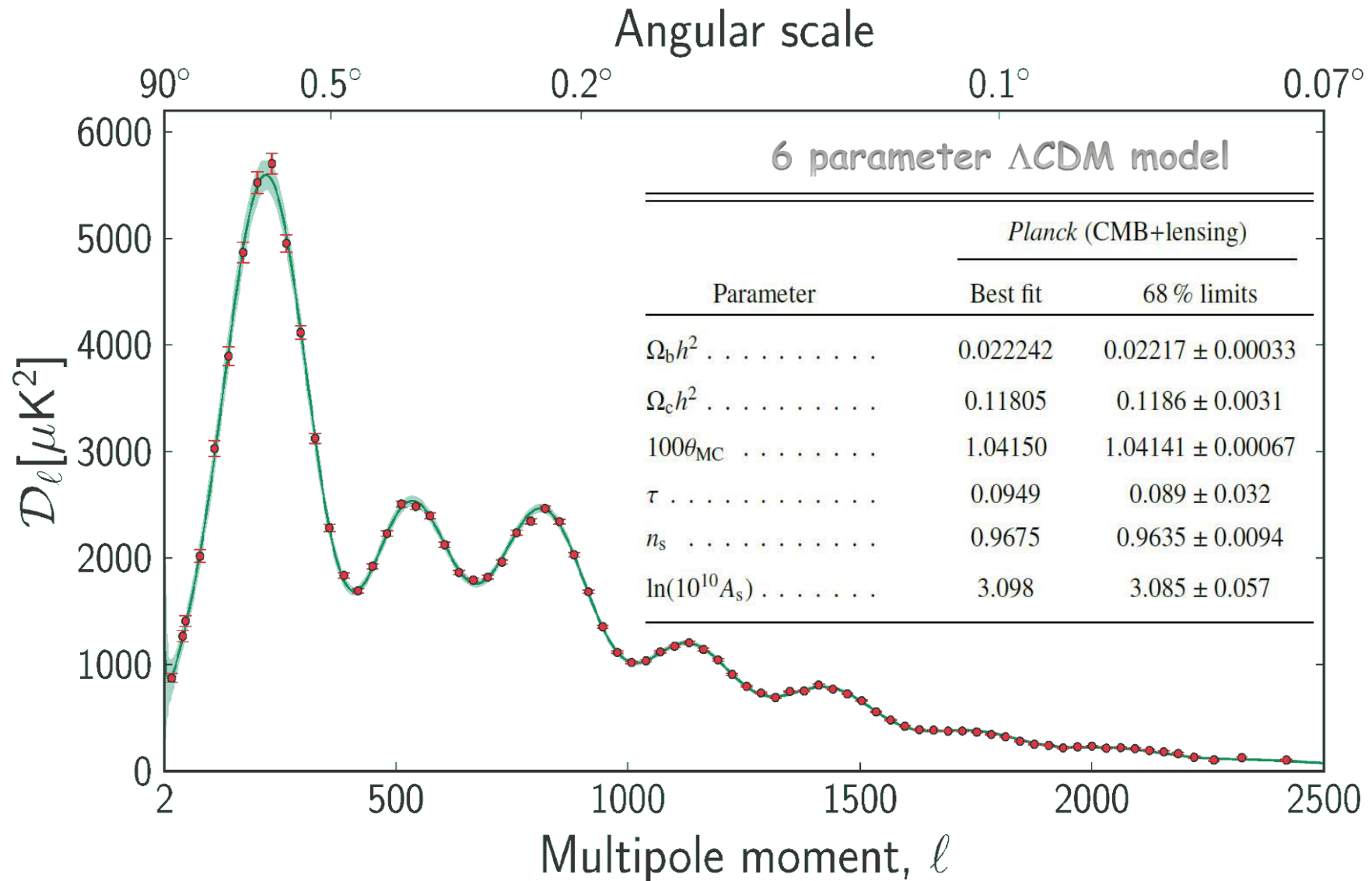




Peebles, Yu, Sachs & Wolf, Sunyaev, Zeldovich, Silk, Vittorio, Wilson, Mukhanov, Chibisov, Bardeen, Linde, Bond, Efstathiou, Bouchet, Bennett, Gott, Kaiser, Stebbins, Allen, Shellard, Seljack, Zaldariaga, Kamionkowski, Hu, ...

The Planck power spectrum of Temperature anisotropies





3 parameters to set (though *General Relativity*) the dynamics of the universe,
1 parameter to capture the effect of reionisation (end of the dark ages),
2 parameters to describe the primordial fluctuations.
Flat spatial geometry.

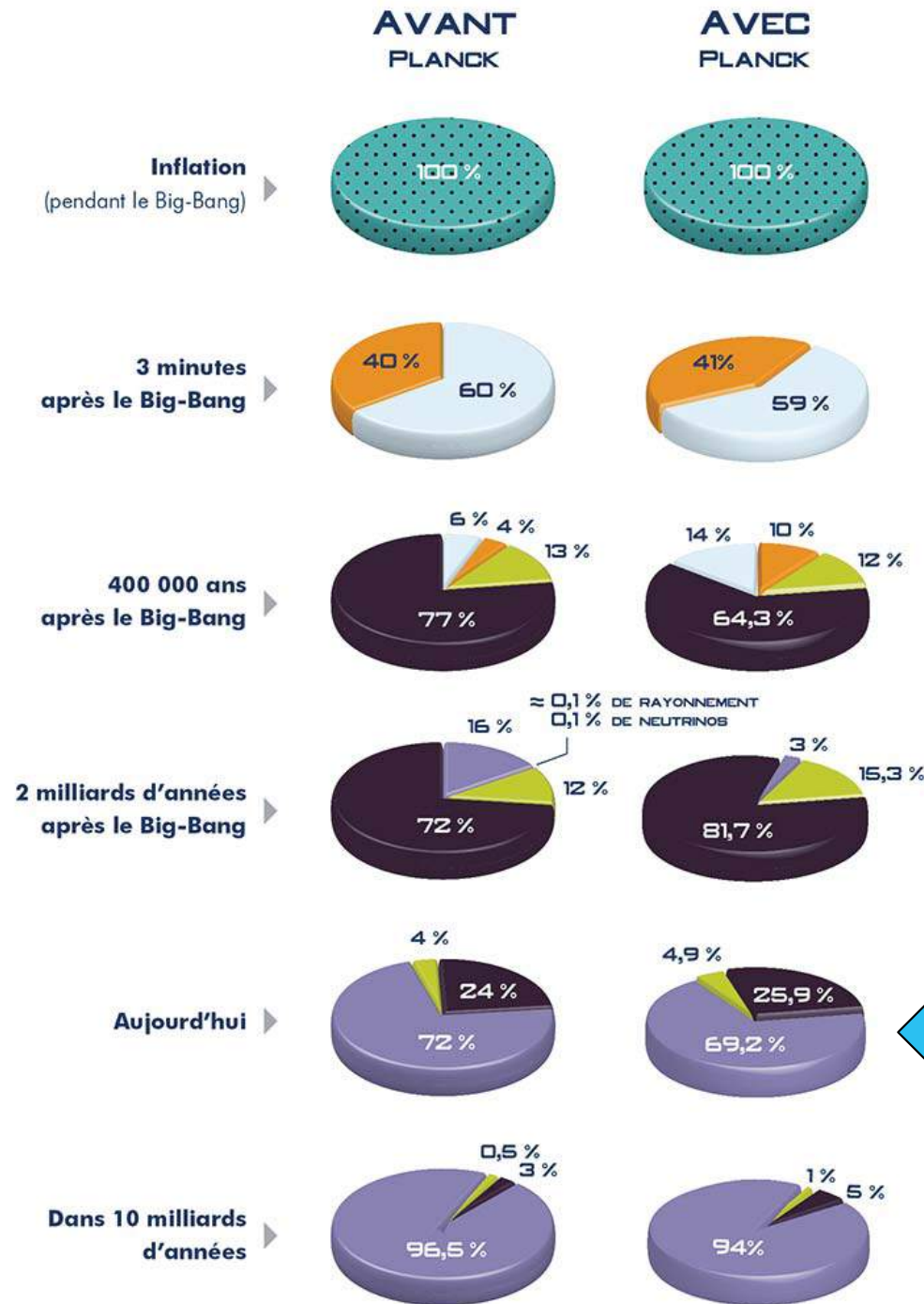
- $\Omega_b h^2$ Baryon density today - The amount of ordinary matter
- $\Omega_c h^2$ Cold dark matter density today - only weakly interacting
- Θ Sound horizon size when optical depth τ reaches unity
(Distance traveled by a sound wave since inflation, when universe became transparent at recombination at $t \sim 380\,000$ years)

- τ Optical depth at reionisation (due to Thomson scattering of photons on e^-), i.e. fraction of the CMB photons re-scattered during that process

- A_s Amplitude of the curvature power spectrum
(Overall contrast of primordial fluctuations)
- n_s Scalar power spectrum power law index
($n_s - 1$ measures departure from scale invariance)

- Others are *derived* parameters within the model, in particular
 - Ω "Dark Energy" fraction of the critical density (derived only if assumed flat)
 - H_0 the expansion rate today (in km/s per Mpc of separation)
 - t_0 the age of the universe (in Gy)

- ~ 900 billion samples in ~100 Timelines
- 9 maps of ~50 million pixels each (23 with Polar.)
- 1 CMB map of ~50 million pixels (+P one)
- 2 million harmonic modes ($2l+1$ m-modes per l)
- Fit with just 6 parameters
- *With no significant evidence for a 7th*



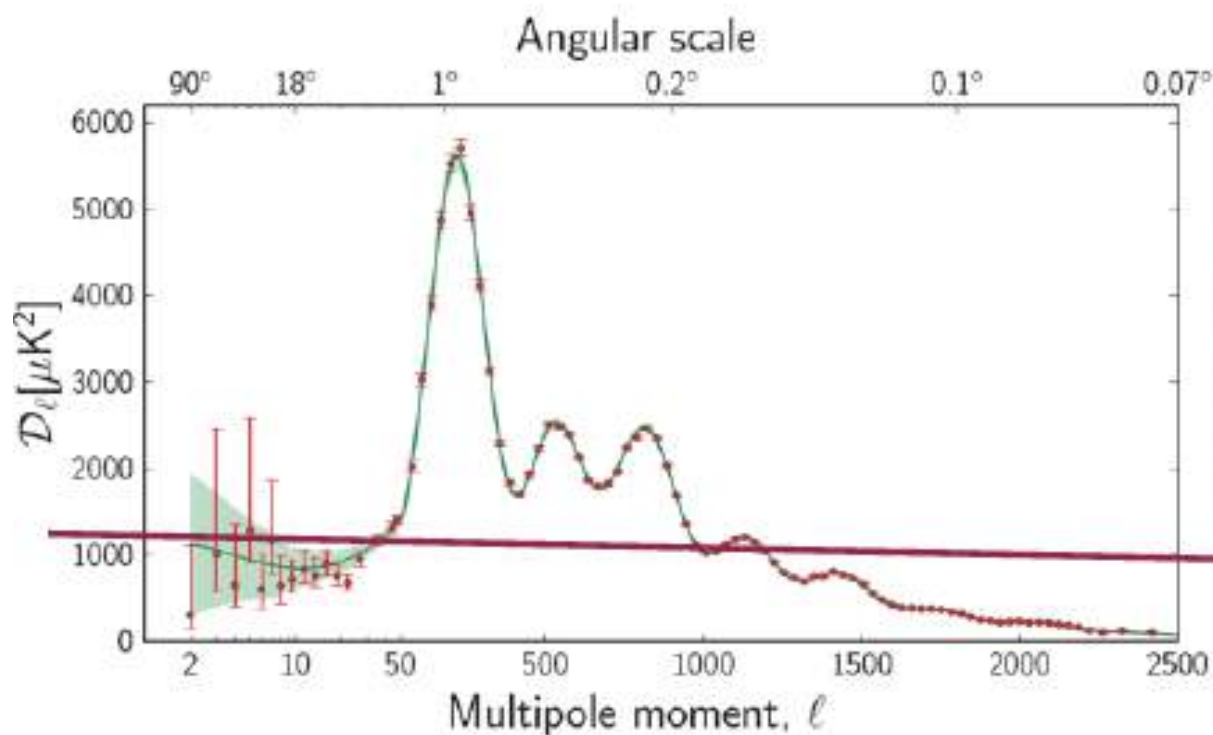
← Today's composition

And $H_0 = 67 \text{ km/s/Mpc}$
 within $< 1 \text{ km/s/Mpc}$

What is the value of n_s ?

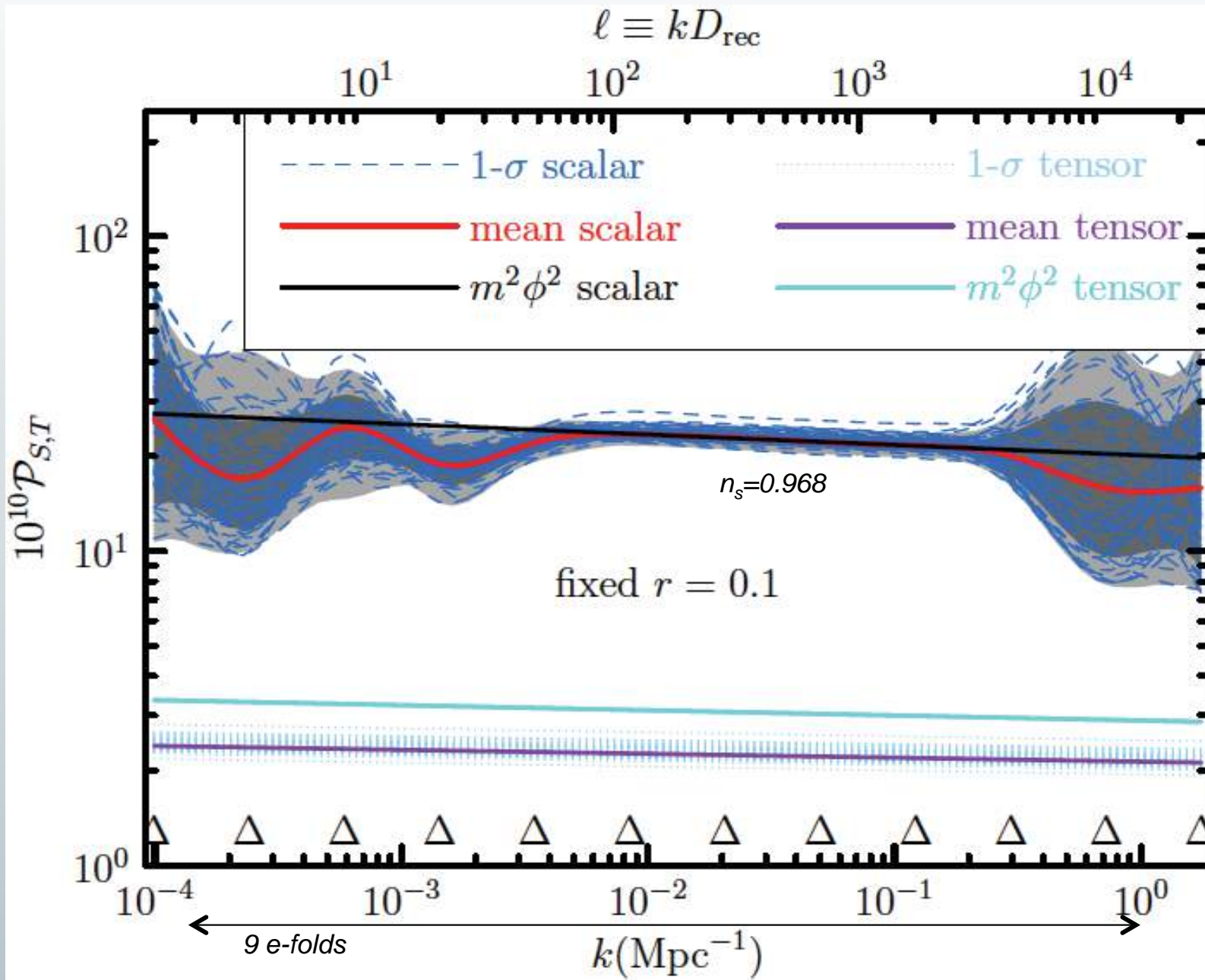
Initial Conditions: quasi-scale invariant

$$g_{ij} = a^2(\tau) [1 - 2\Phi] \gamma_{ij} \longrightarrow k^3 \langle |\Phi_k| \rangle \propto k^{n_s - 1}$$



$n_s = 1 \pm 0.6$	1992 (COBE)
$n_s = 1.03 \pm 0.09$	2001 (MaxiBoom)
$n_s = 0.963 \pm 0.014$	2009 (WMAP5)
$n_s = 0.9603 \pm 0.0073$	2013 (Planck+)

Mukhanov & Chibisov (1981!): 1st calculation of (scalar) quantum fluctuation of the vacuum in expanding background. n_s must be $\sim 0.96 < 1$ for inflation to end.

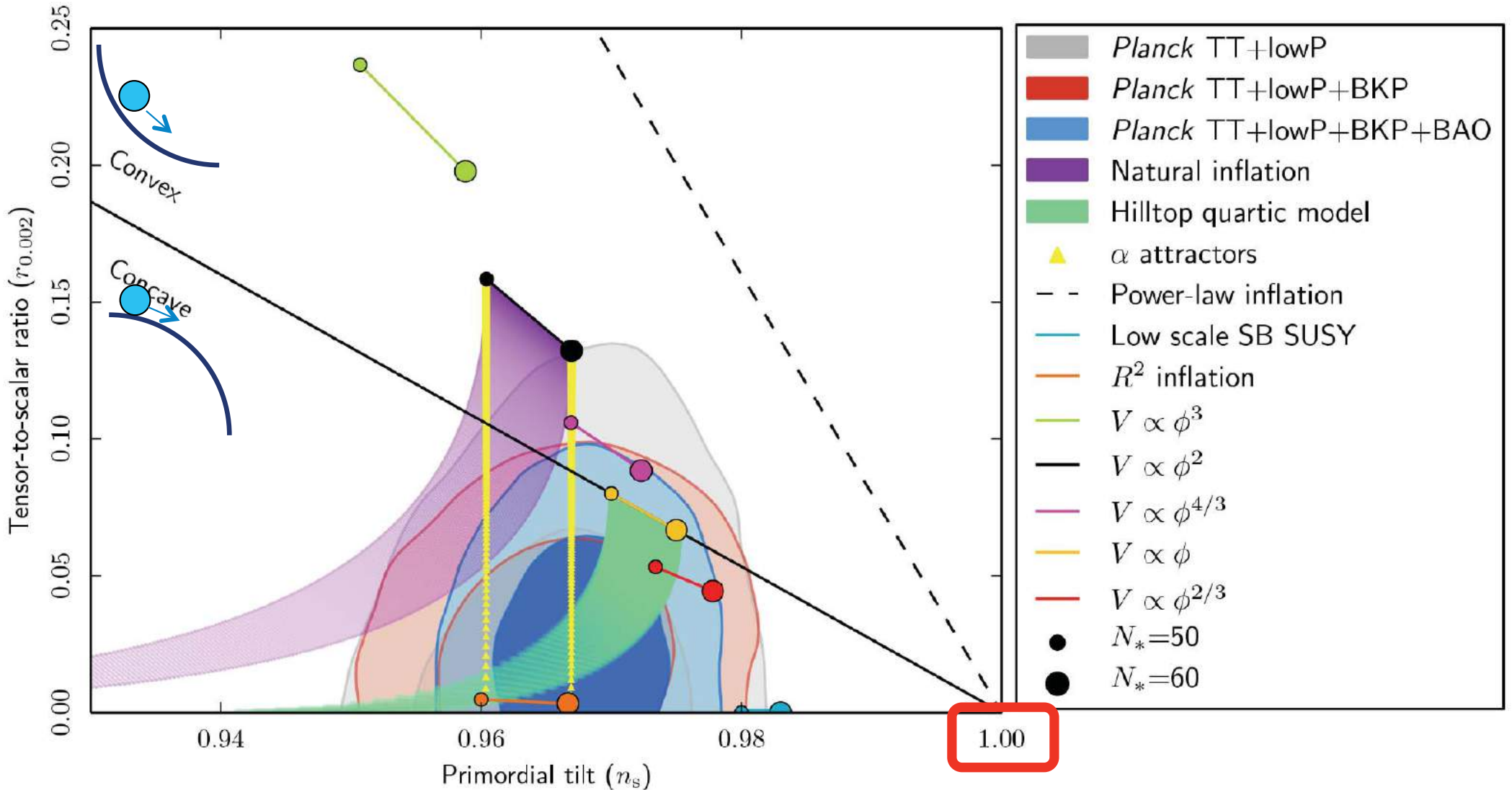


12-knots
power
spectra

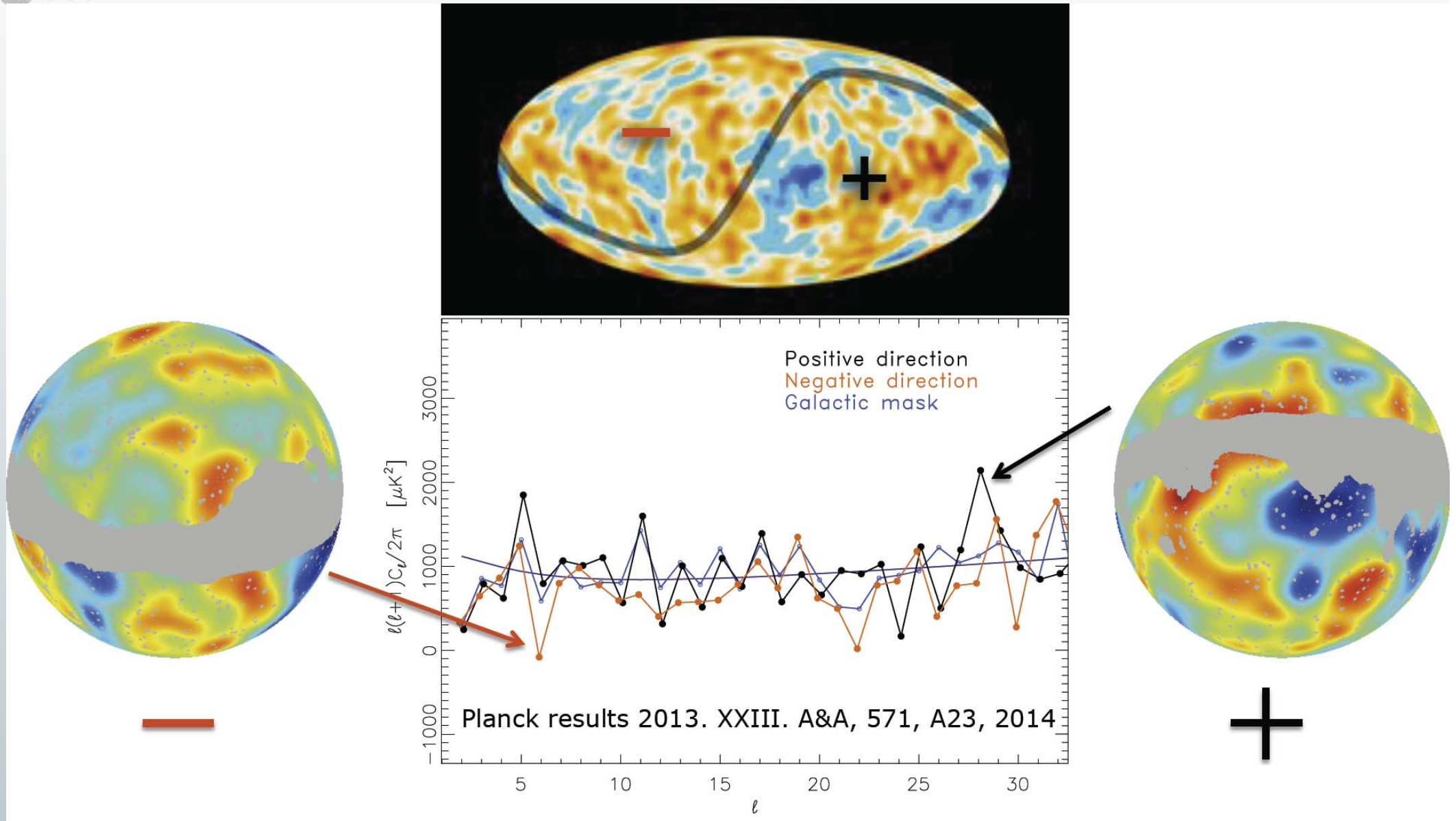
(actually
used 3
different
methods,
all with
similar
results)

2015
TT+lowP
+BAO+JLA
+Hlow

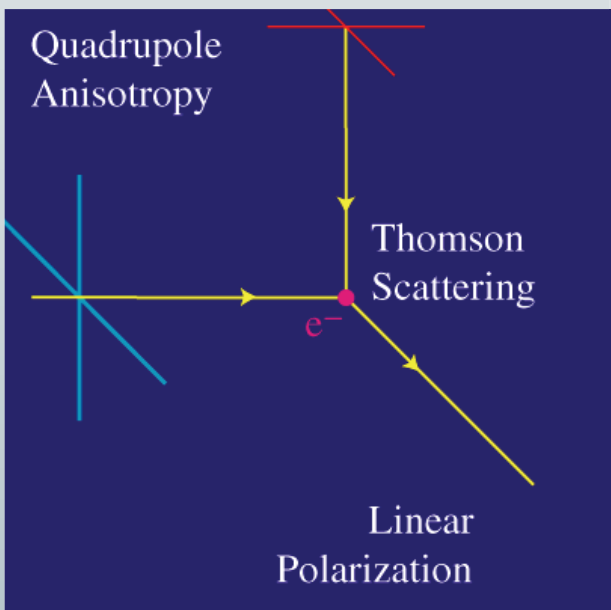
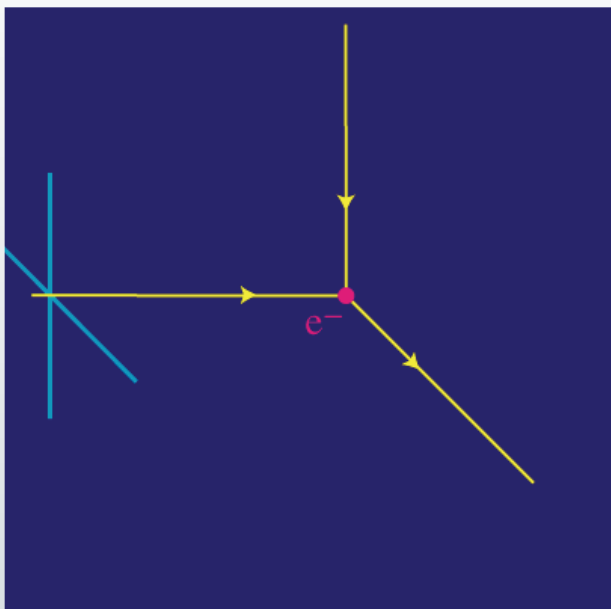
$$V_* = (1.9 \times 10^{16} \text{ GeV})^4 (r/0.12)$$



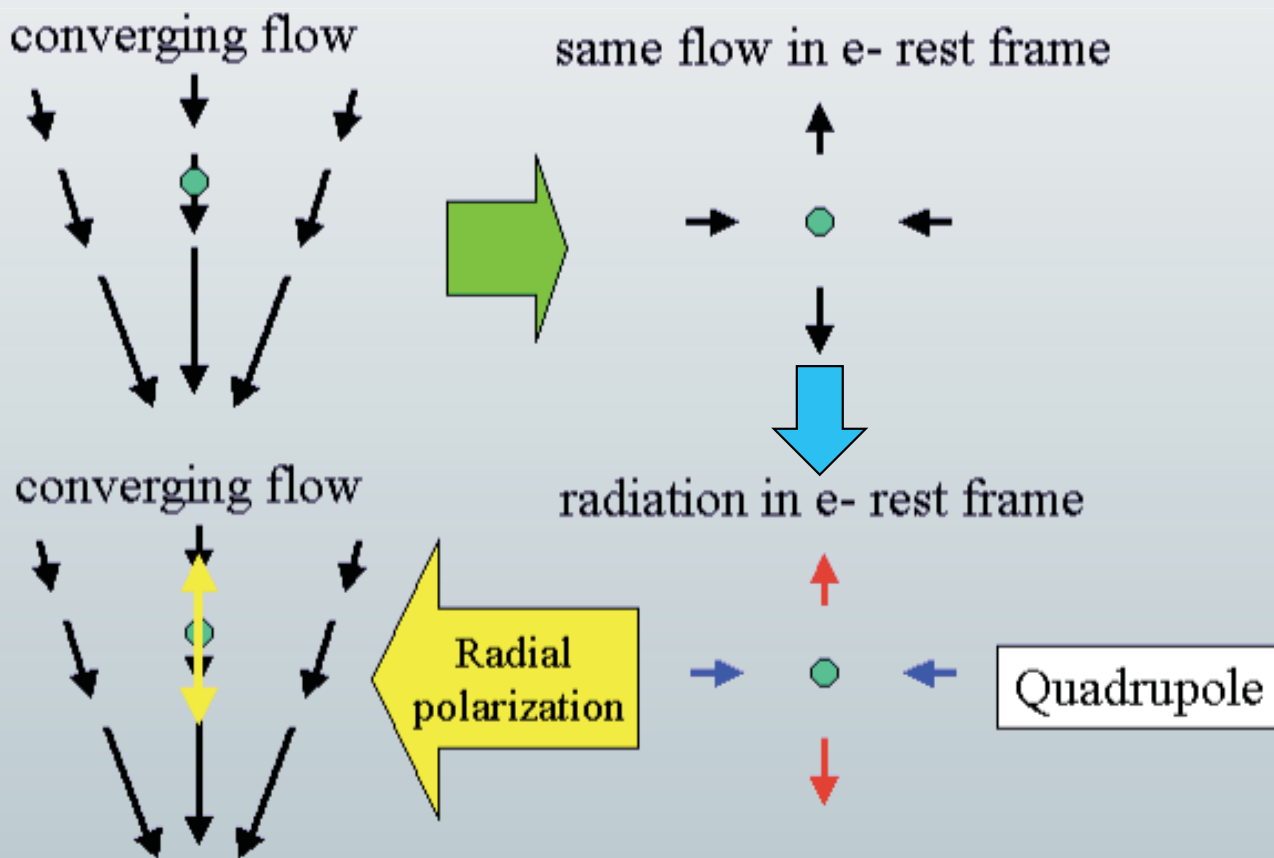
Similar (indirect) r constraint than with 2013 release ($r_{0.002} < 0.10$ @ 95% CL vs 0.11)



Mais pas de non gaussianité à petite échelle (fnl, gnl...)

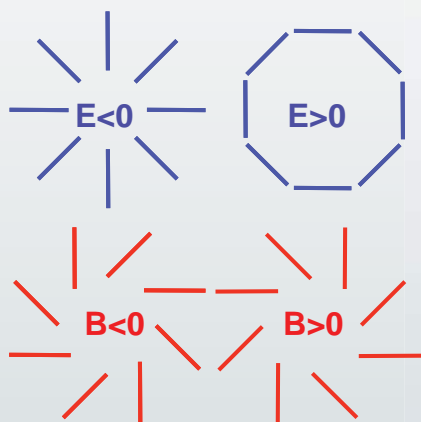


- Before recombination, successive scatterings destroy polarization and the radiation arrives at recombination unpolarized
- During recombination, Gradients in the velocity field can produce a quadrupole in the rest frame of the scattering electron



- A diverging flow leads to a *tangential* pattern of polarisation

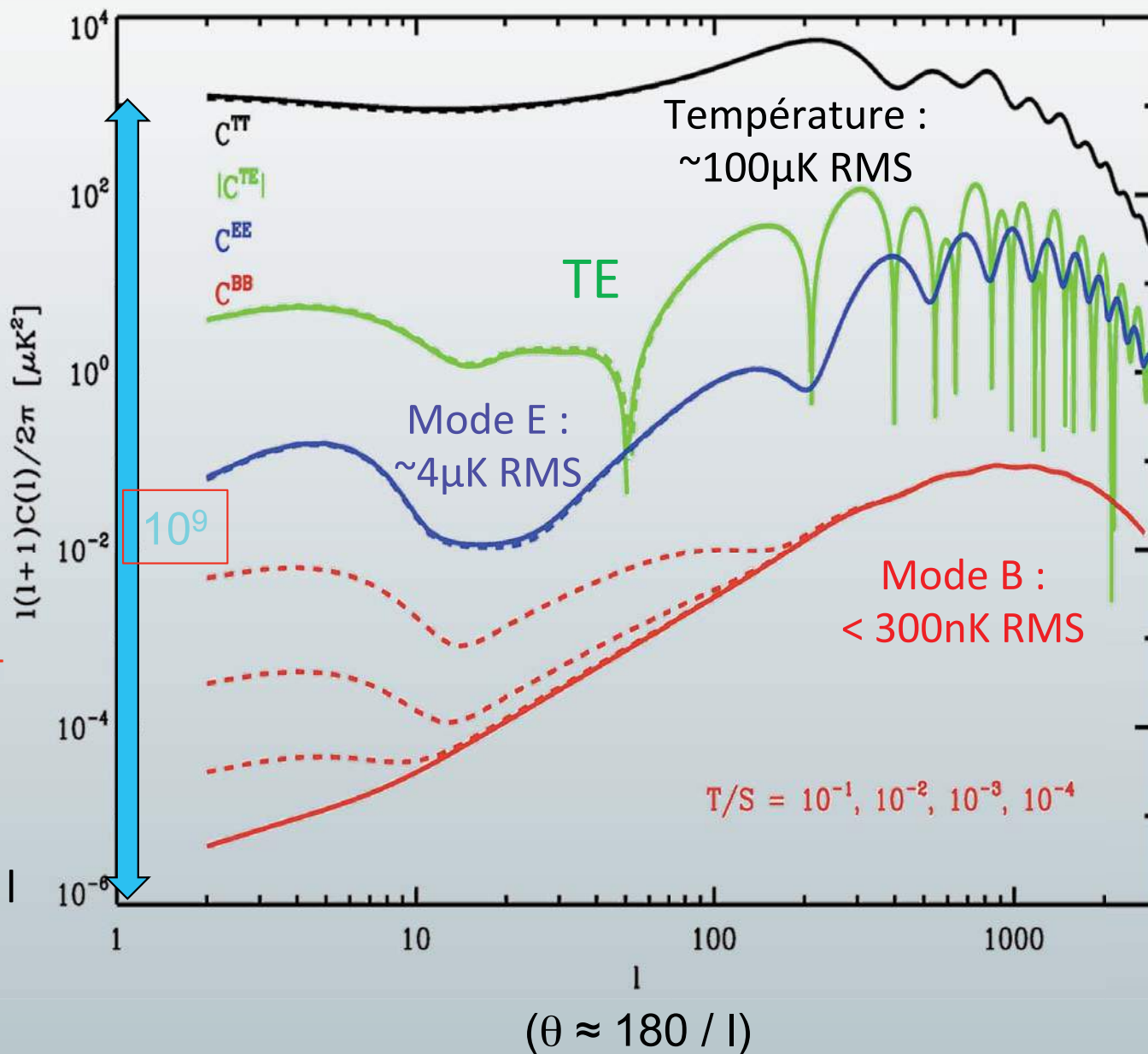
- 3 observables : T, E, B

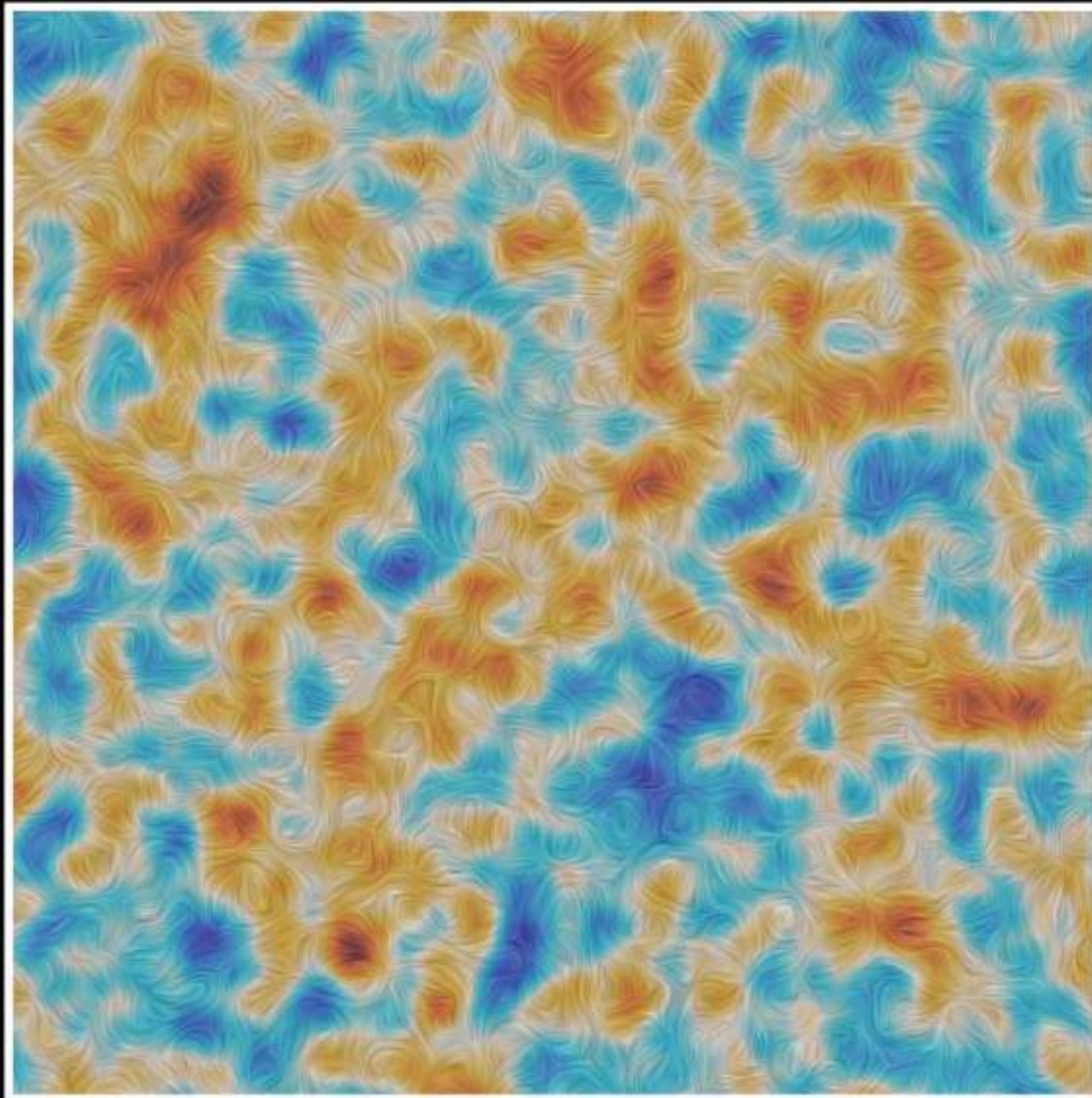


- B Modes:

- Not generated by scalar modes
- “Smoking gun” of tensorial perturbations
- At best 300 times weaker than T fluctuations
- case $T/S = r = 0.1$ (cf. fig),
- $E_{inf} = 2 \times 10^{16}$ GeV (GUT).

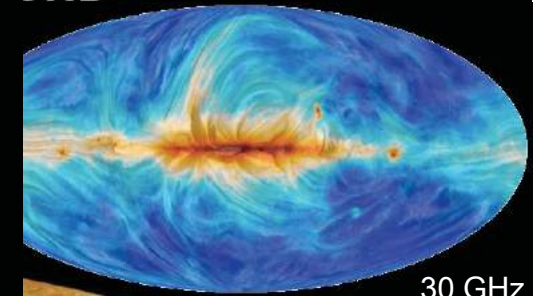
- B mode Spectrum peaks at $l < 200$, i.e. $\theta > 1$ deg



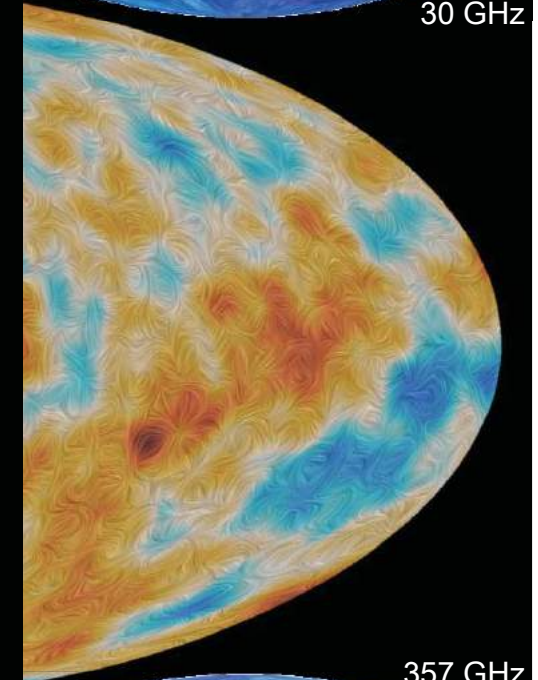


Filtered at 20 arcminutes

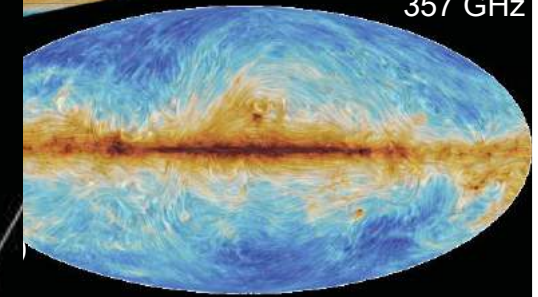
JND



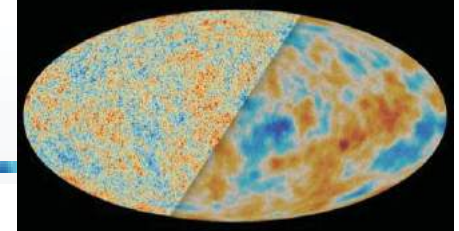
30 GHz



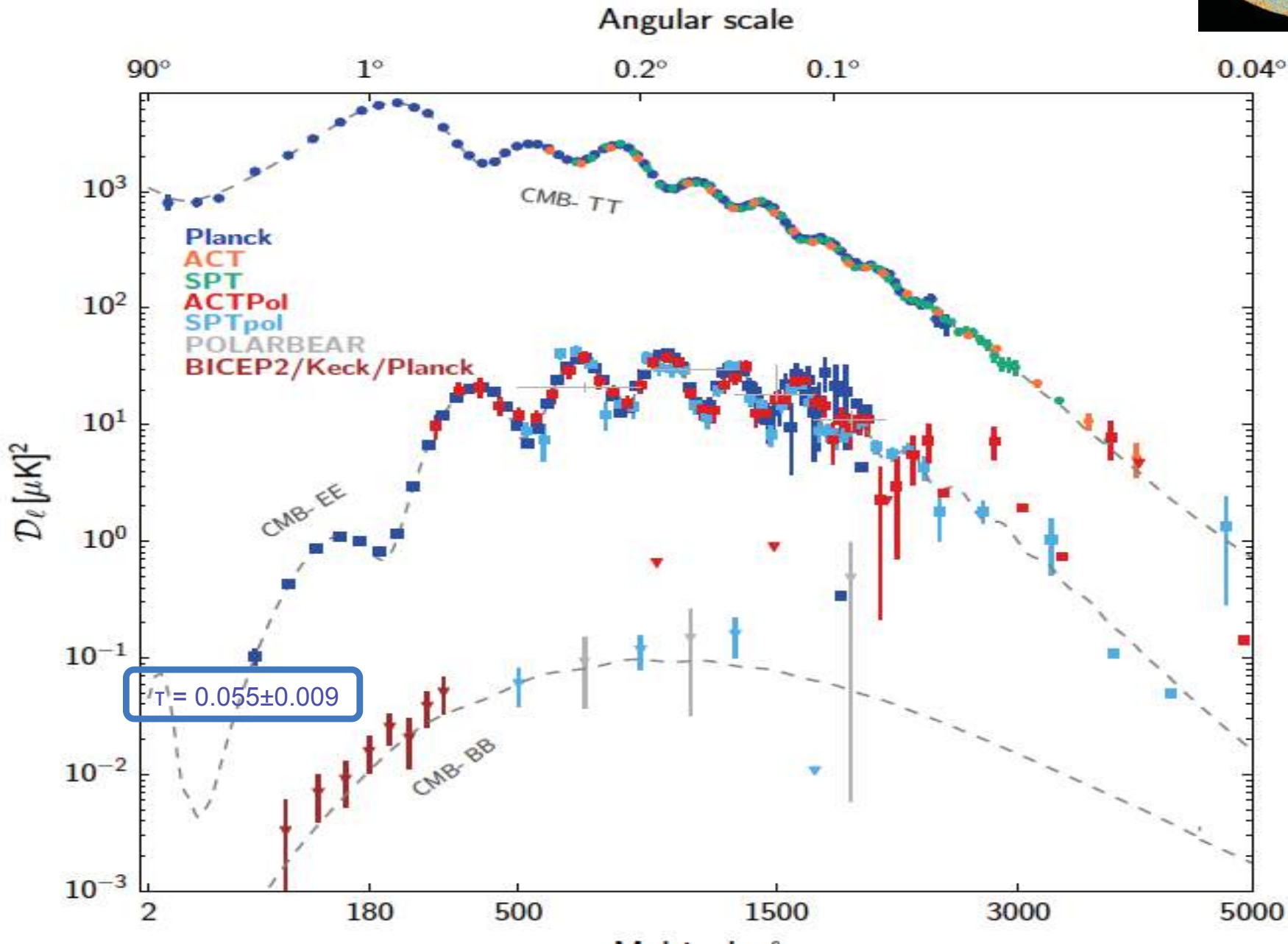
357 GHz



TT, EE, BB – mid 2015 status



Only keeping points w. sufficiently small error bars, Fig. calabrese



1 114 000
Modes
measured
with TT,

60 000
with TE

96 000
with EE

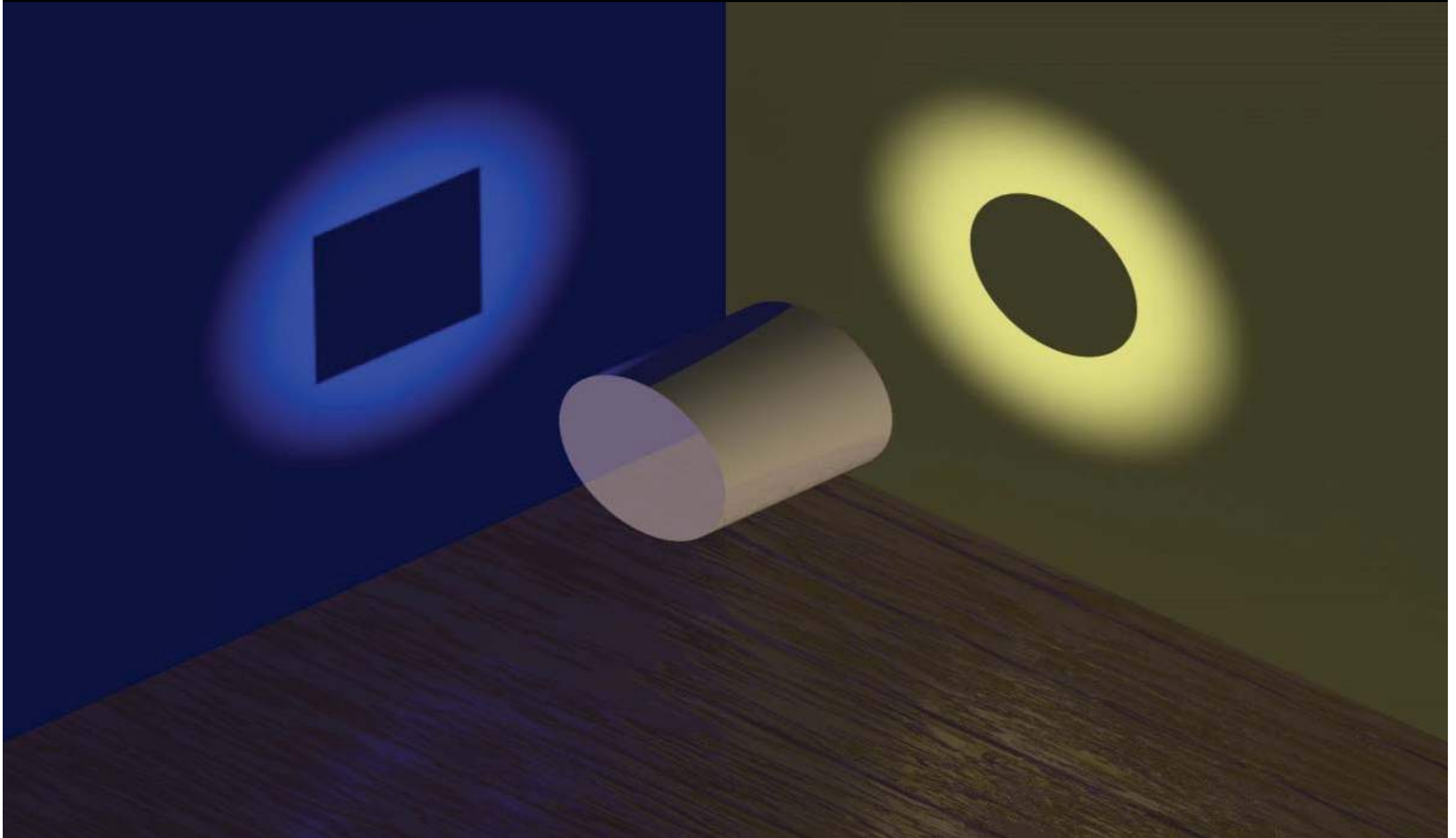
... and
10's in BB

+ weak
constraints
with
TB and EB

Parameter	[1] <i>Planck</i> TT+lowP	[2] <i>Planck</i> TE+lowP
$\Omega_b h^2$	0.02222 ± 0.00023	0.02228 ± 0.00025
$\Omega_c h^2$	0.1197 ± 0.0022	0.1187 ± 0.0021
$100\theta_{MC}$	1.04085 ± 0.00047	1.04094 ± 0.00051
τ	0.078 ± 0.019	0.053 ± 0.019
$\ln(10^{10} A_s)$	3.089 ± 0.036	3.031 ± 0.041
n_s	0.9655 ± 0.0062	0.965 ± 0.012
H_0	67.31 ± 0.96	67.73 ± 0.92
Ω_m	0.315 ± 0.013	0.300 ± 0.012
σ_8	0.829 ± 0.014	0.802 ± 0.018
$10^9 A_s e^{-2\tau}$	1.880 ± 0.014	1.865 ± 0.019

TT & TE have similar uncertainties,
but beware that they are still some low level systematics in the polarisation data

Il aurait pu en être autrement!



And it further constrains potential deviations from the base tilted LCDM model/physics



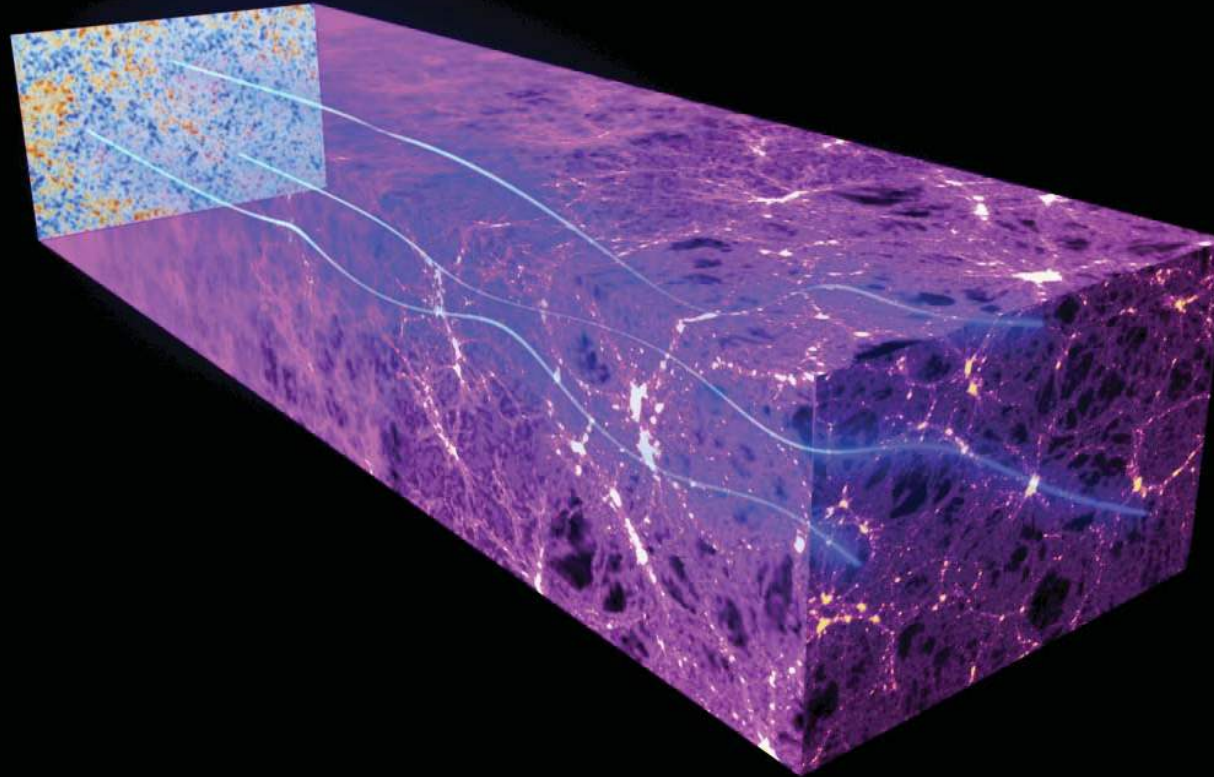
Le modèle Λ CDM à 6 paramètres



- Un modèle élégant, incroyablement minimal,
 - à la simplicité trompeuse,
puisqu'il repose sur nos deux théories fondamentales, la relativité générale et la mécanique quantique, et des hypothèses hardies, telle que
 - *Les lois de la physique sont toujours et partout les mêmes,*
 - *L'univers à grande échelle est homogène et isotrope,*
 - *La relativité générale peut s'utiliser à des échelles beaucoup plus vastes qu'à celles où elle a été testée directement, une extrapolation spectaculaire par 15 ordres de grandeur...*
 - *Idem pour la mécanique quantique*
 - *Tout en utilisant la physique classique avec une précision horlogère*
- ... toute choses que nous testons aujourd'hui !*

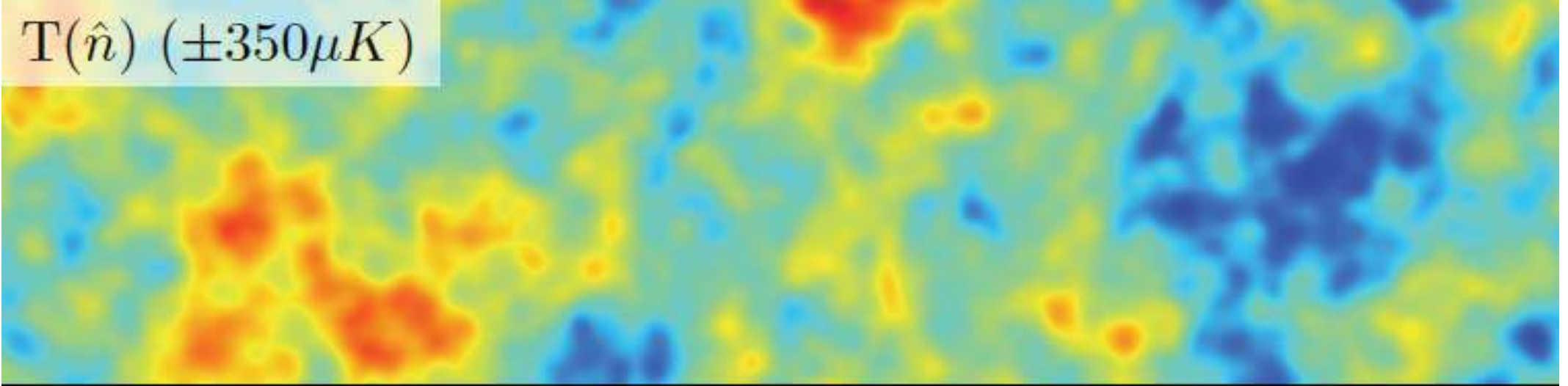
GRAVITATIONAL LENSING DISTORTS IMAGES

The gravitational effects of intervening matter bend the path of CMB light on its way from the early universe to the Planck telescope. This “gravitational lensing” distorts our image of the CMB (smoothing on the power spectrum, and correlations between scales)

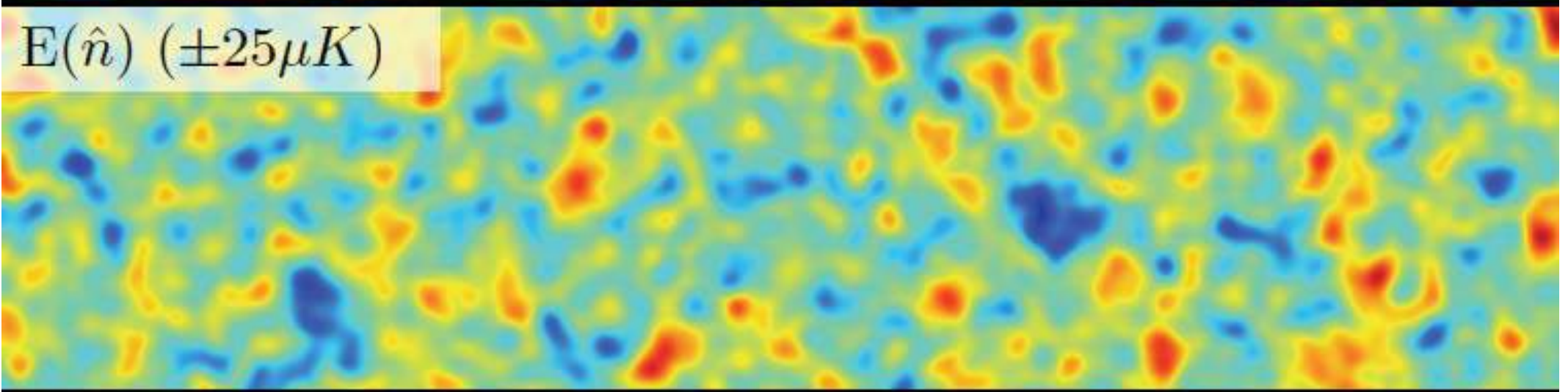


$$\hat{T}(\vec{\theta}) = T(\vec{\theta} + \vec{\nabla}\phi) \approx T(\vec{\theta}) + \vec{\nabla}\phi \cdot \vec{\nabla}T(\vec{\theta}) + \dots$$
$$\bar{\phi} = \Delta^{-1}\vec{\nabla} \cdot [C^{-1}T \vec{\nabla}(C^{-1}T)]$$

$T(\hat{n}) (\pm 350 \mu K)$



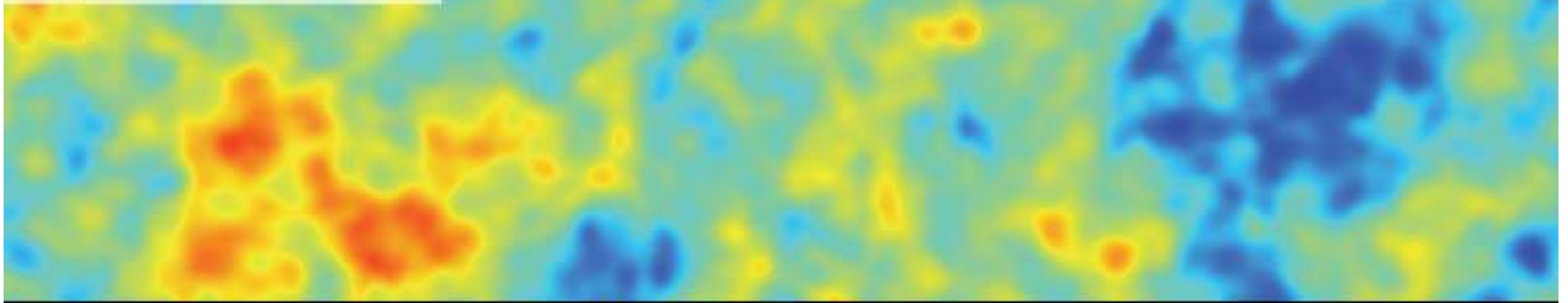
$E(\hat{n}) (\pm 25 \mu K)$



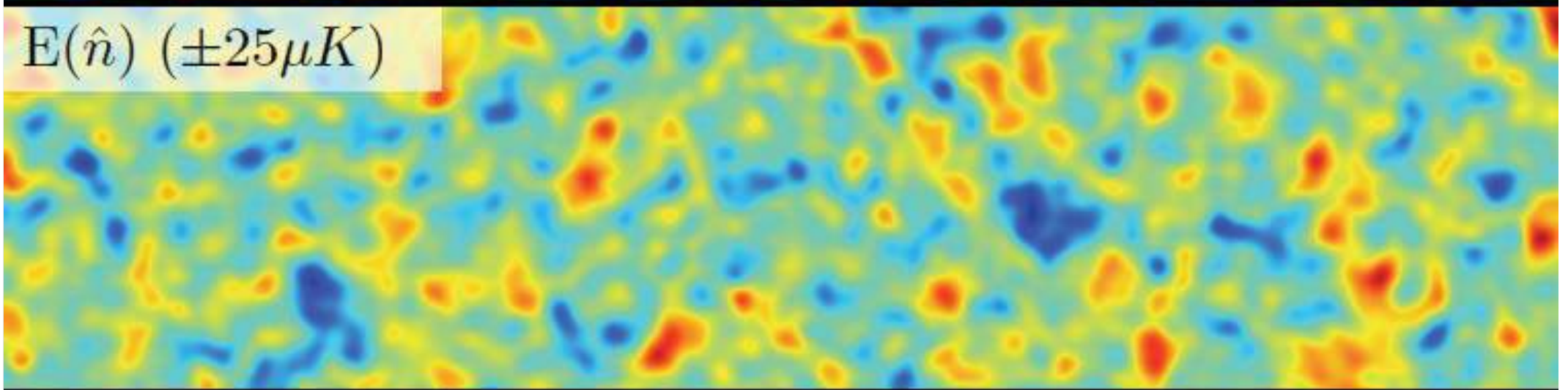
$B(\hat{n}) (\pm 2.5 \mu K)$



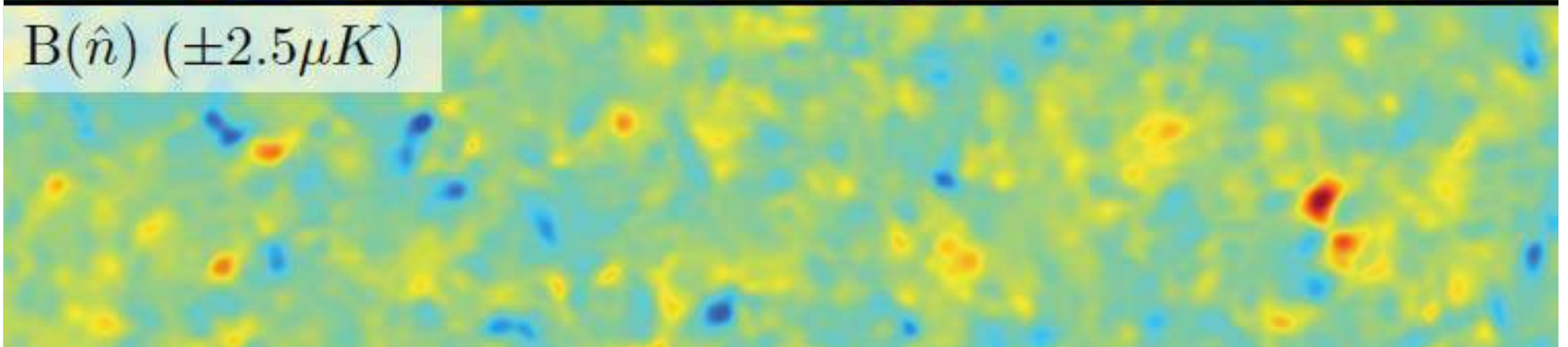
$T(\hat{n}) (\pm 350\mu K)$



$E(\hat{n}) (\pm 25\mu K)$



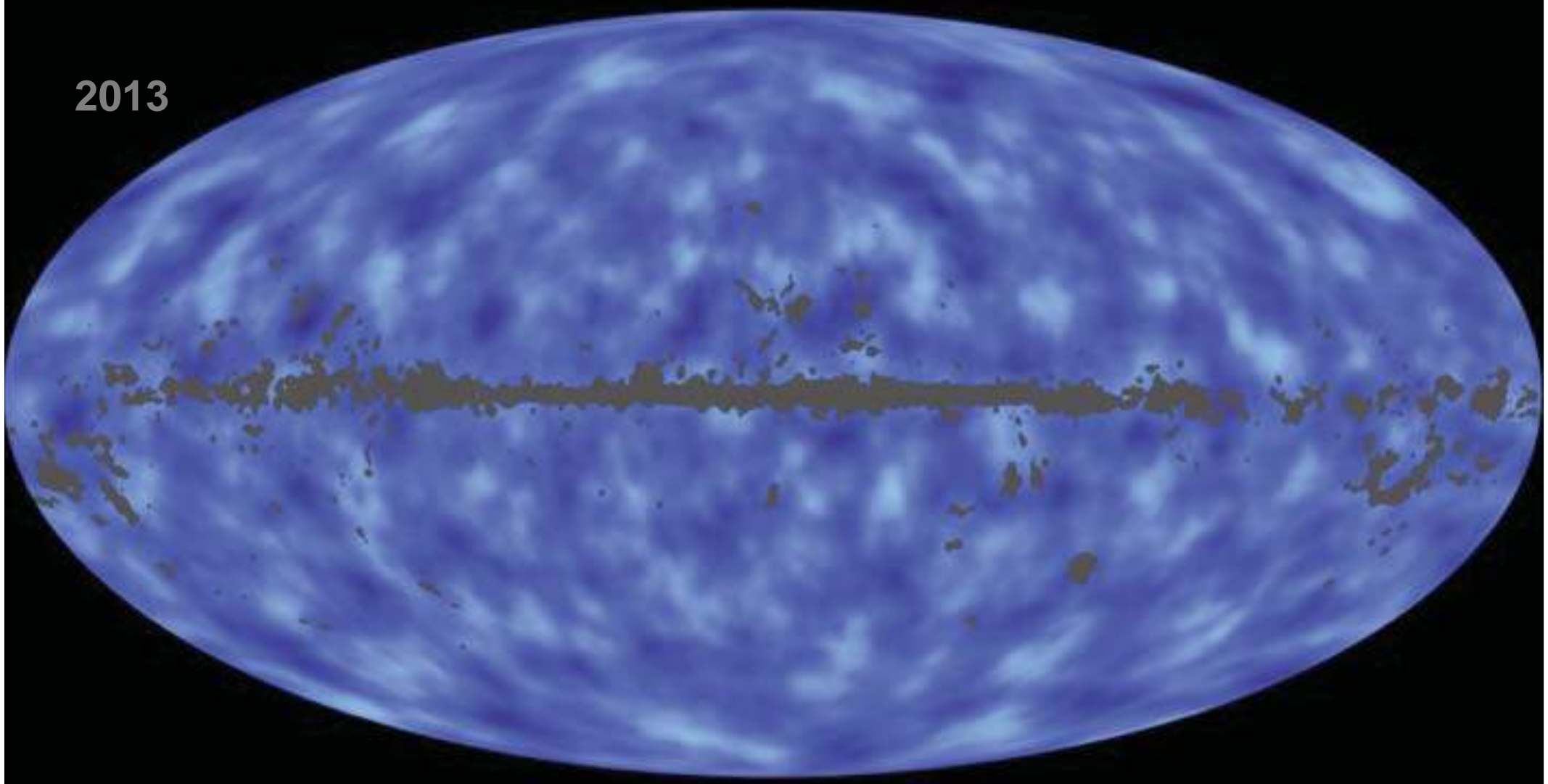
$B(\hat{n}) (\pm 2.5\mu K)$



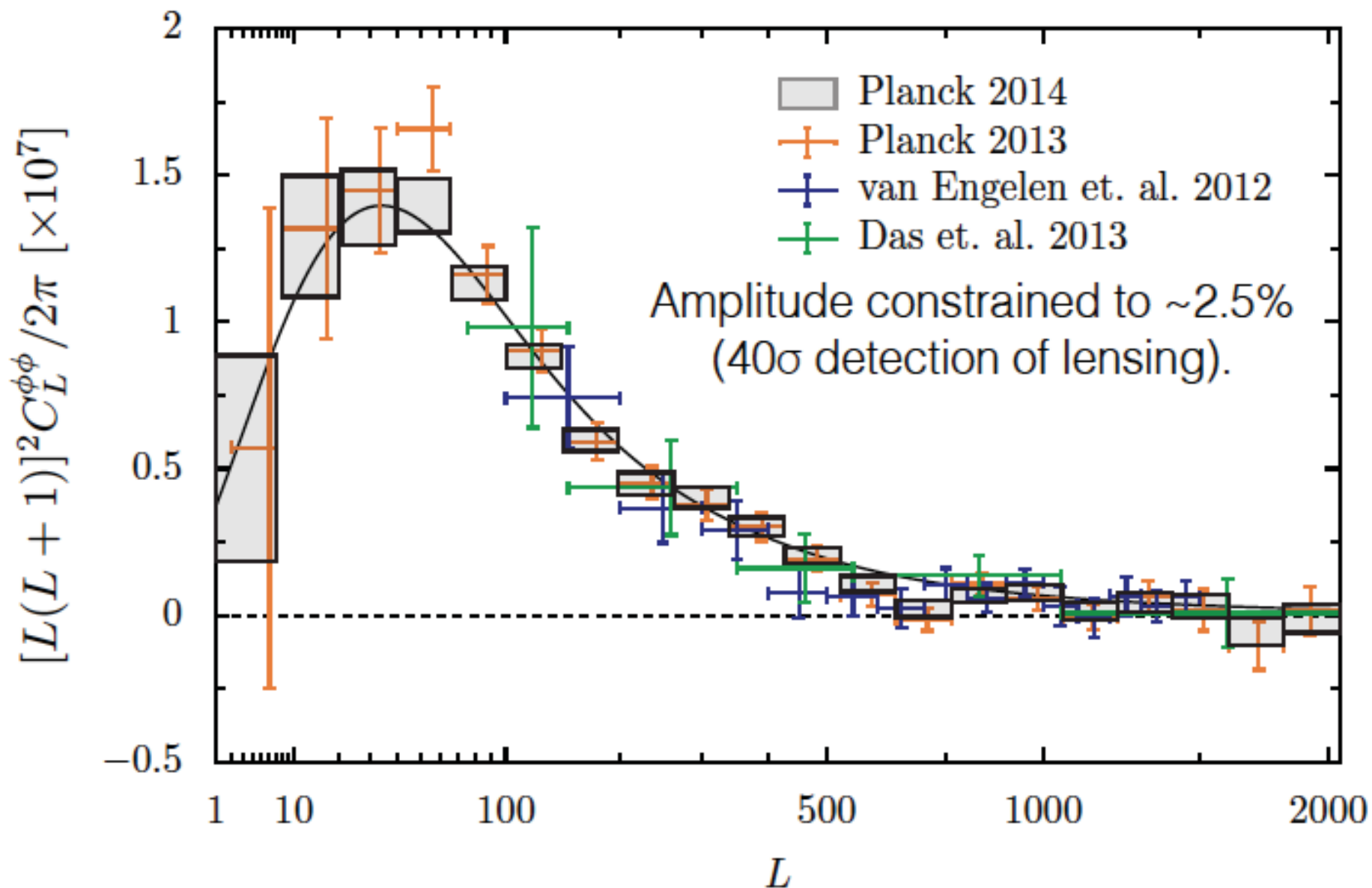
Projected mass map



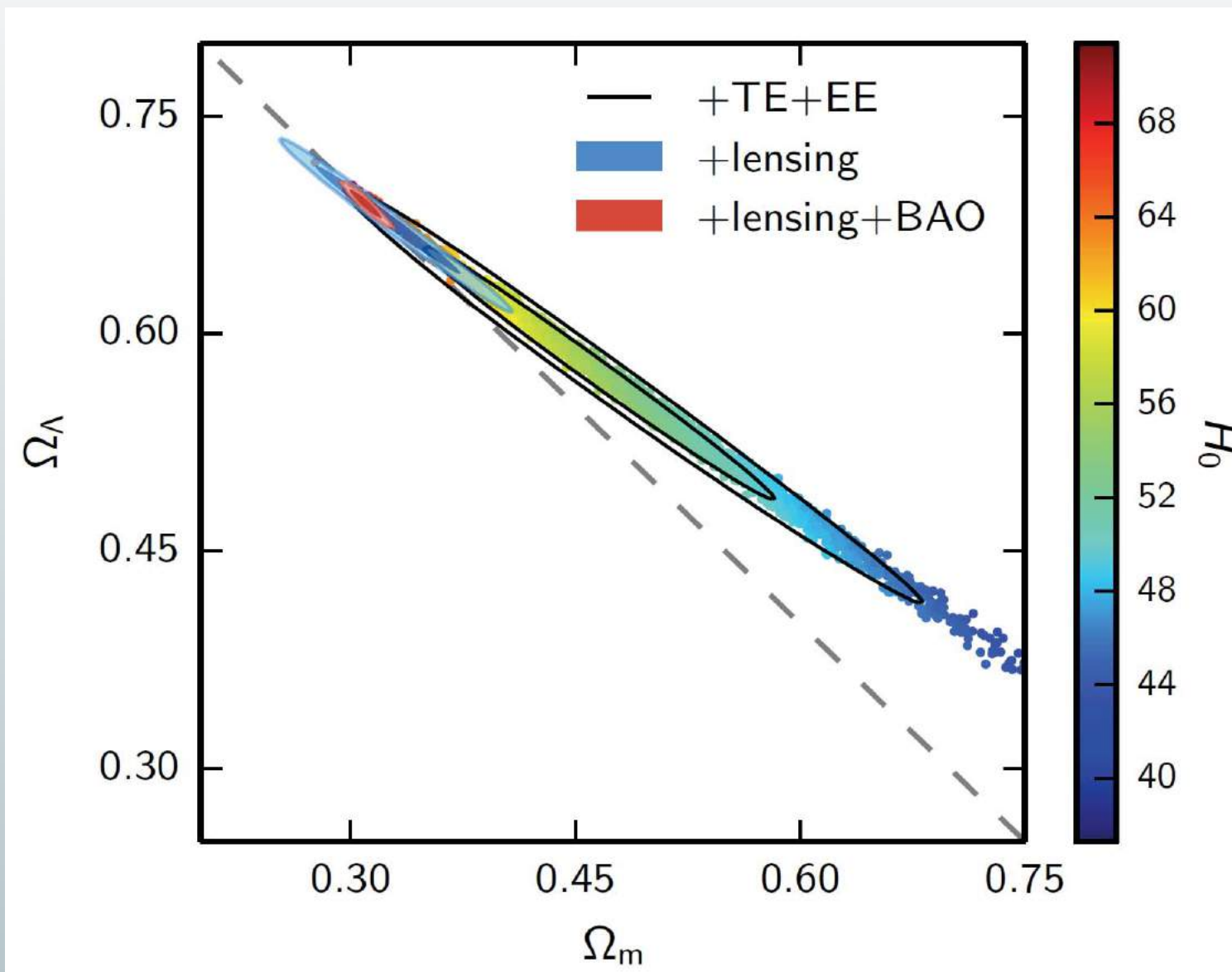
2013

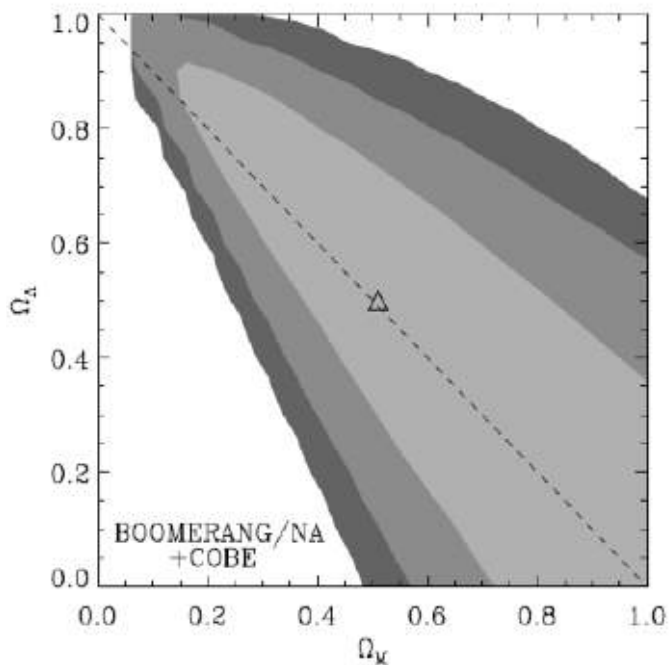


The (grey) masked area is where foregrounds are too strong to allow an accurate reconstruction



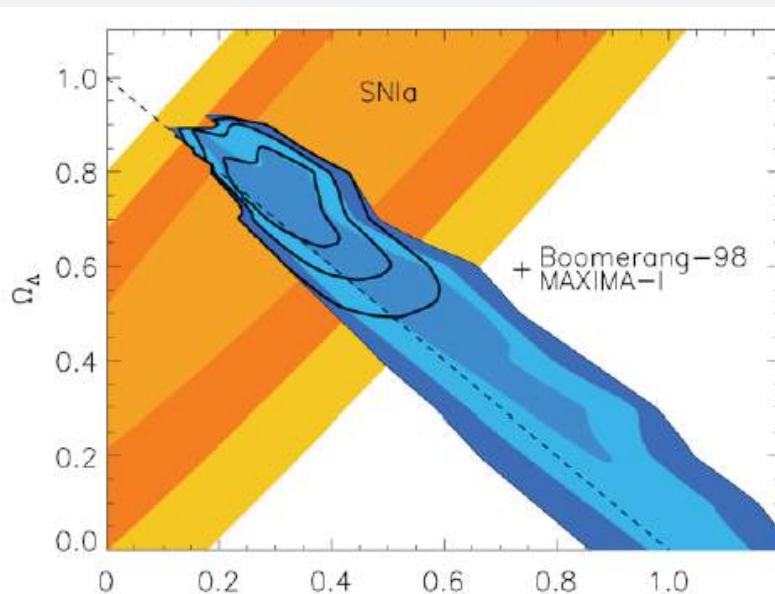
Planck for the first time measured the lensing power spectrum with higher accuracy than it is predicted by the base CDM model that fits the temperature data





$$\Omega_K = -0.05^{+.40}_{-.40}$$

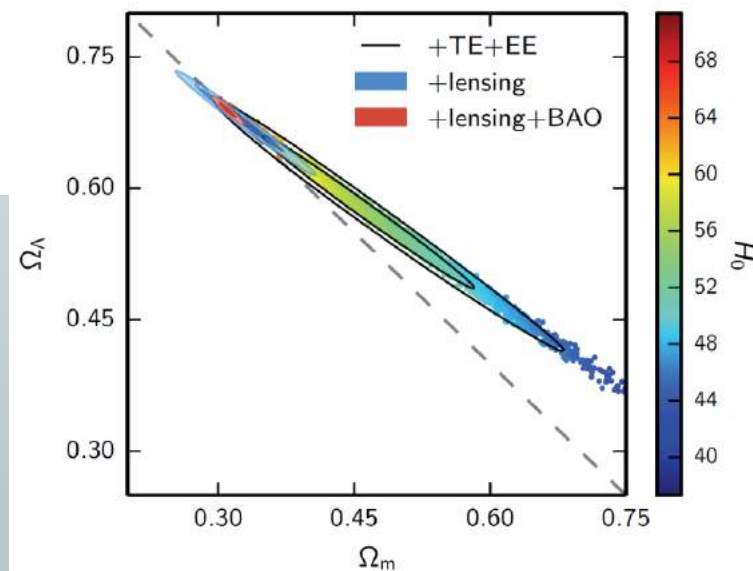
Melchiorri et al. 2000



$$\Omega_K = -0.11^{+.07}_{-.07}$$

Jaffe et al. 2001

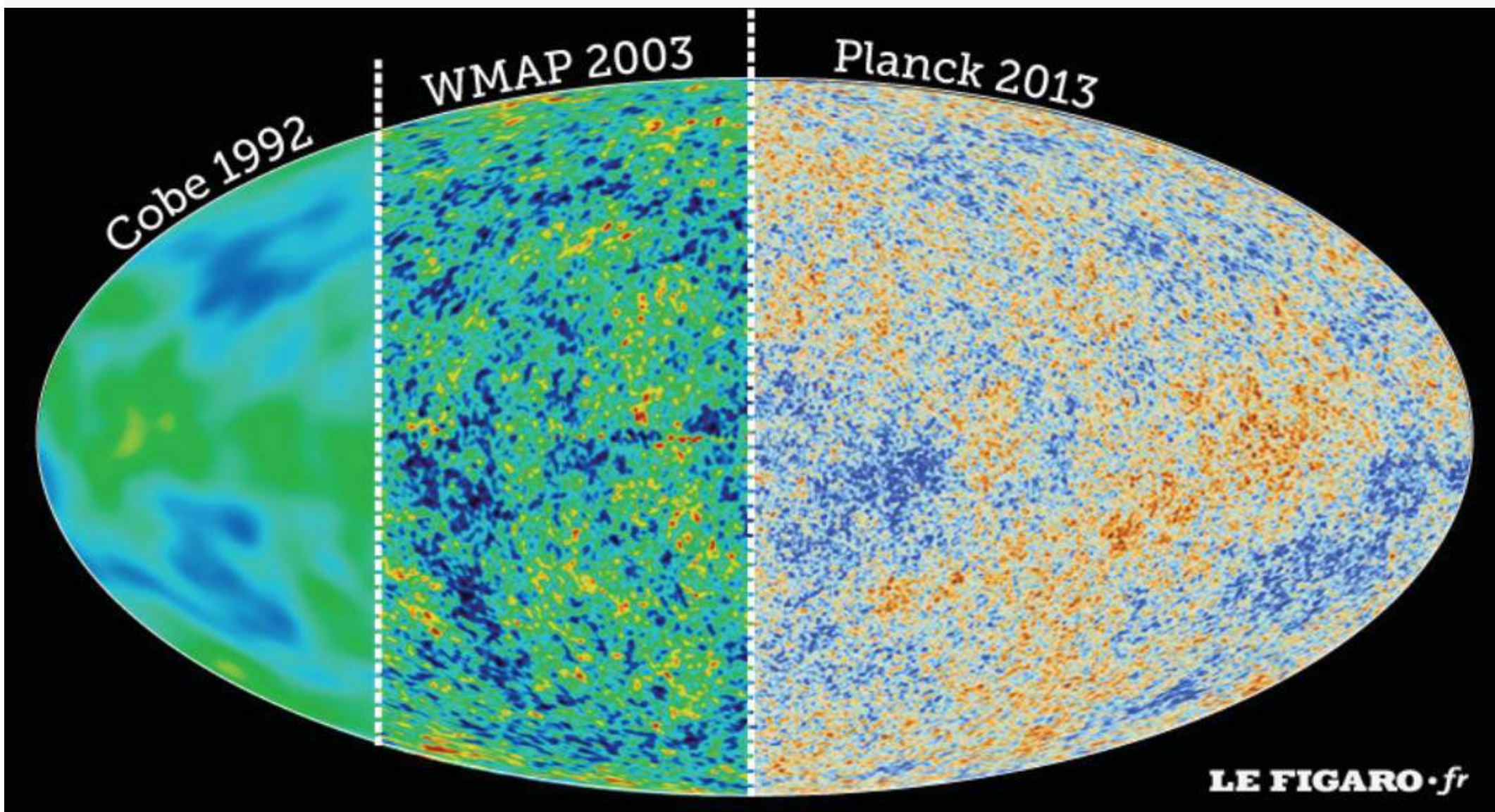
Note the change of axes
For Planck below



Planck 2015

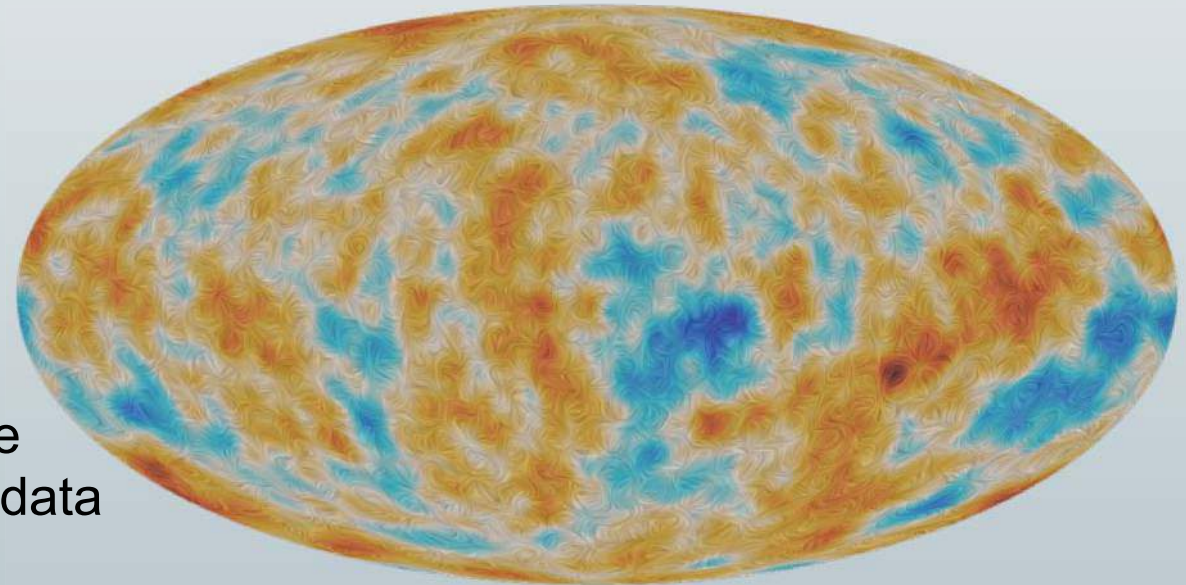
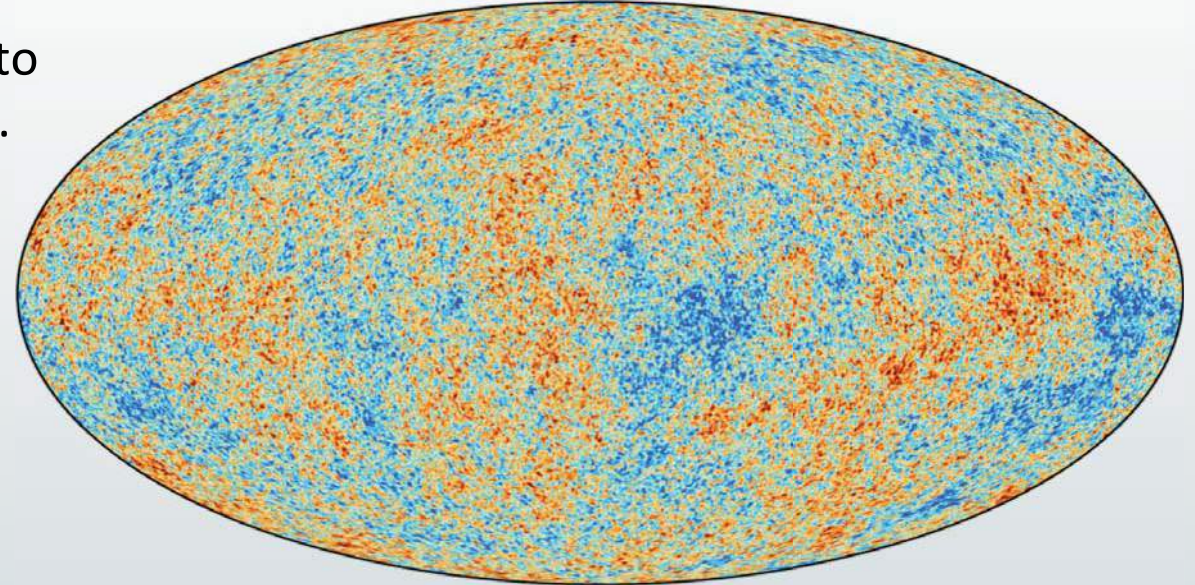
$$\Omega_k = 0.000 \pm 0.005 \text{ (95\% CL)}$$

Que de chemin parcouru...



→ base Λ CDM continues to be a good fit to the Planck data, *including polarisation*.

Parameter	Planck TT,TE,EE+lowP
$\Omega_b h^2$	0.02225 ± 0.00016
$\Omega_c h^2$	0.1198 ± 0.0015
$100\theta_{MC}$	1.04077 ± 0.00032
τ	0.079 ± 0.017
$\ln(10^{10} A_s)$	3.094 ± 0.034
n_s	0.9645 ± 0.0049
H_0	67.27 ± 0.66
Ω_m	0.3156 ± 0.0091
σ_8	0.831 ± 0.013
$10^9 A_s e^{-2\tau}$	1.882 ± 0.012



→ powerful evidence in favour of simple inflationary models, that match Planck data to very high precision.

→ If there is new physics beyond base LCDM, then the corresponding observational signatures in the CMB are weak and difficult to detect.



planck



DTU Space
National Space Institute



National Research Council of Italy



DLR
Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.





HFi PLANCK

Un regard vers l'origine de l'Univers

[LA MISSION](#)[LE SATELLITE](#)[RÉSULTATS](#)[LES PLANCKIENS](#)[NOTRE UNIVERS](#)[OUTILS](#)

ACTUALITÉS

02 février 2015

La réponse de BICEP2/KECK/Planck

En mars 2014, avec l'annonce de la détection d'un signal "prouvant" l'existence d'une phase d'inflation primordiale dans l'histoire de l'Univers, la collaboration BICEP2 avait fait la Une des médias du monde entier.



RÉSULTAT

LA RÉPONSE DE BICEP2/KECK/PLANCK



NOUVEAUTÉS ÉDUCATIVES

La séparation de composante, un vrai jeu d'enfant

Niveau : dès le CM1
Durée : 5 à 15 min

Dessert cosmique

Niveau : dès le CM2

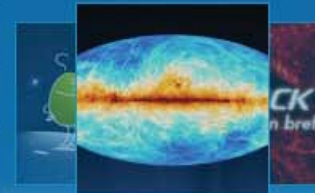
► Toutes les maquettes

AGENDA

Aucune date

► Voir l'agenda

NOUVEAUX MÉDIAS



Exploration de notre galaxie avec Planck
04/02/2015 - Cartes du ciel

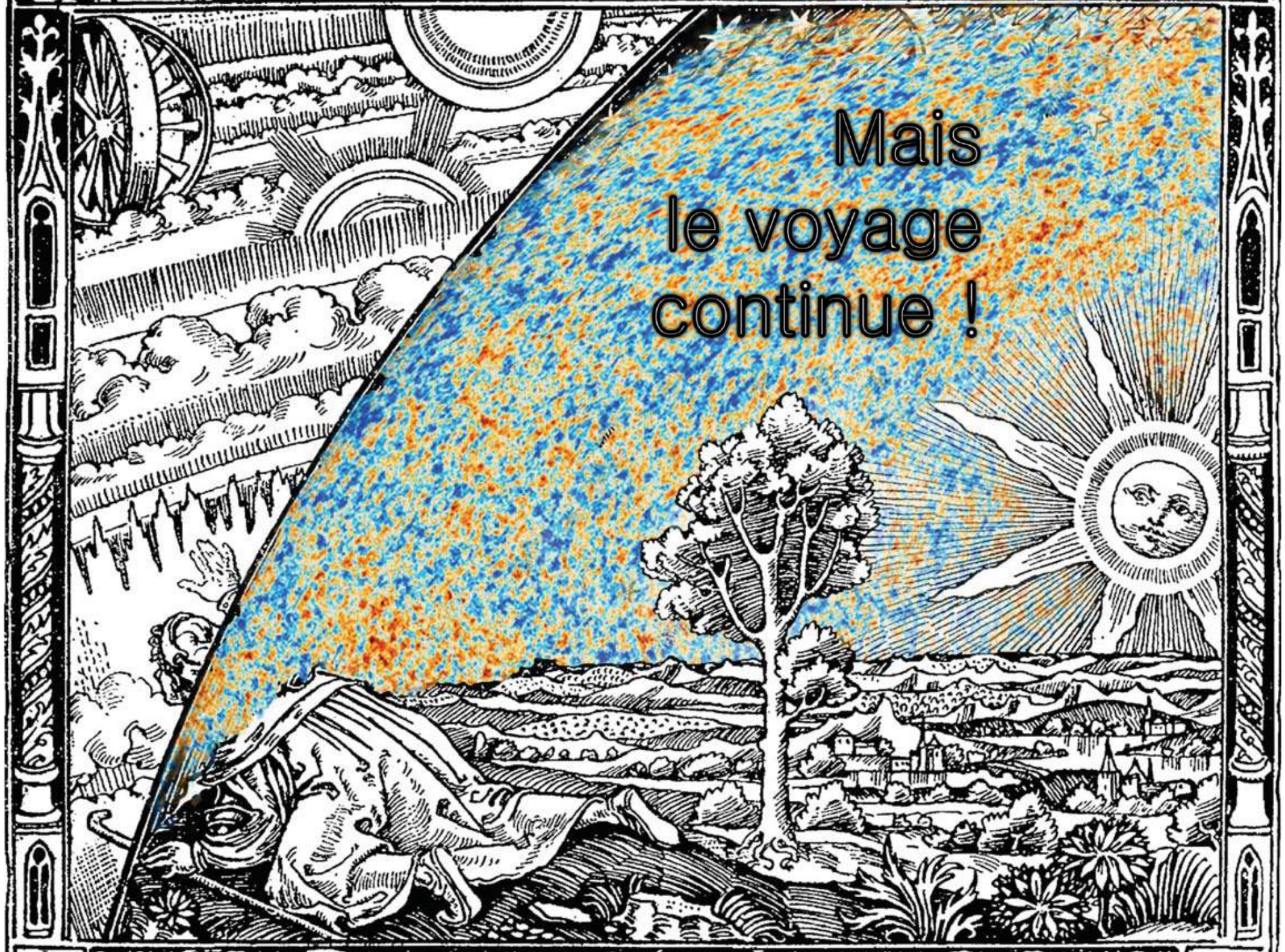
► Tous les médias

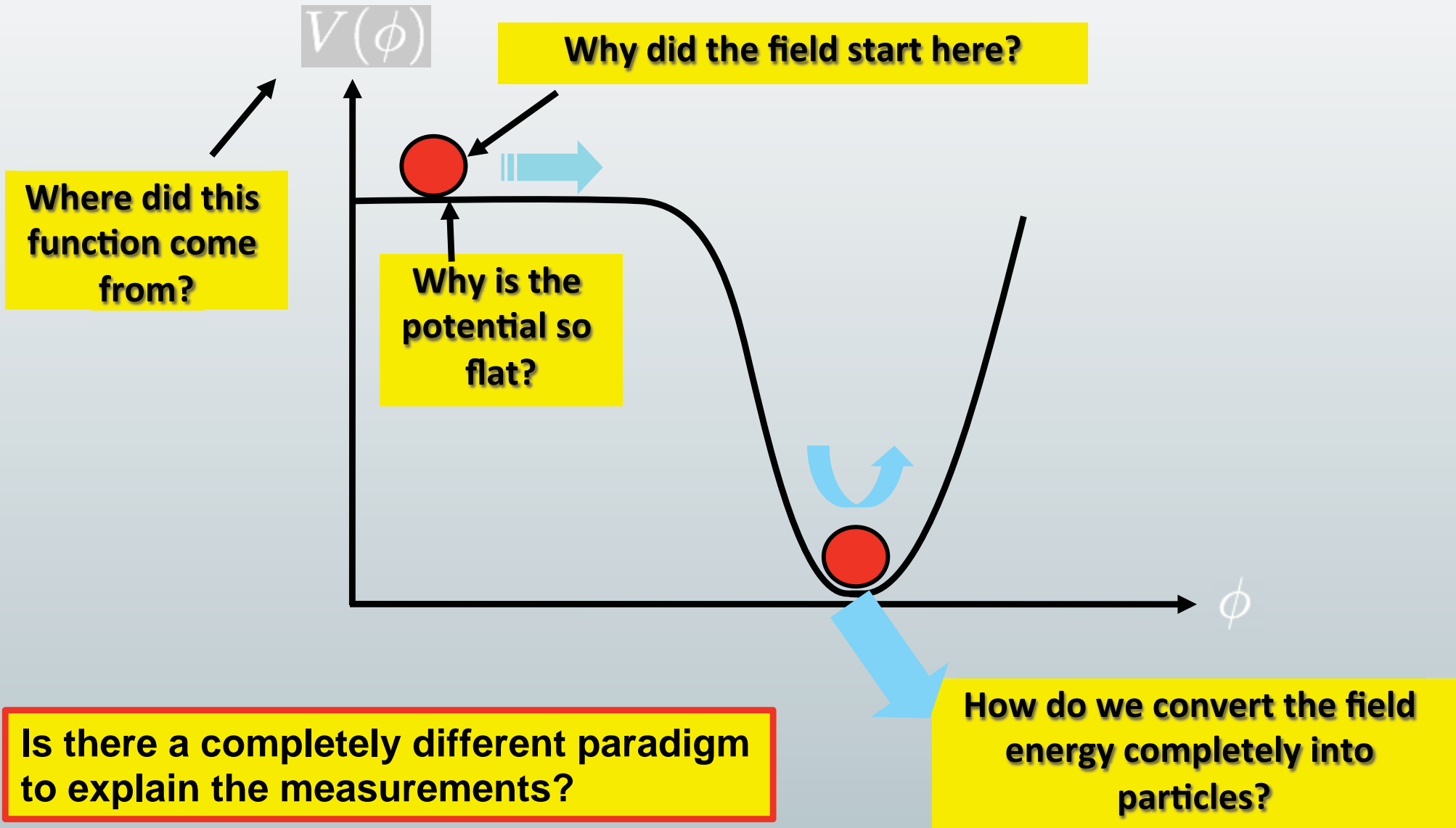
- PLANCK EXPRESS
- JEU
- ESPACE ÉDUCATIF
- ESPACE PRESSE
- JOURNAL DE BORD
- MULTI MÉDIA
- Nous suivre sur facebook
- PLANCK EXPO

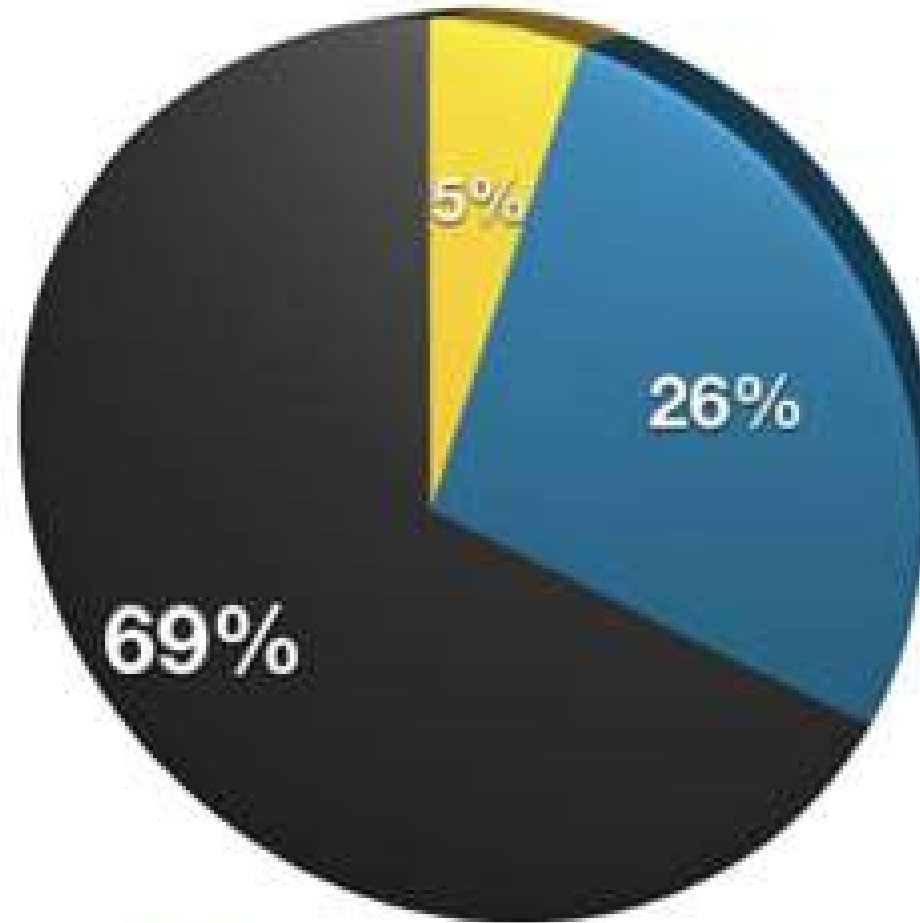
PARTENAIRES



Mais
le voyage
continue !







- Ordinary matter
- Dark matter
- Dark energy

Dilating at
68 km/s/Mpc

...



Thank you