

Ω_m

Λ

Σm_ν

Ω_b

r

H_0

n_s

N_{eff}

A_s

Cosmologie aujourd'hui Réponses et questions

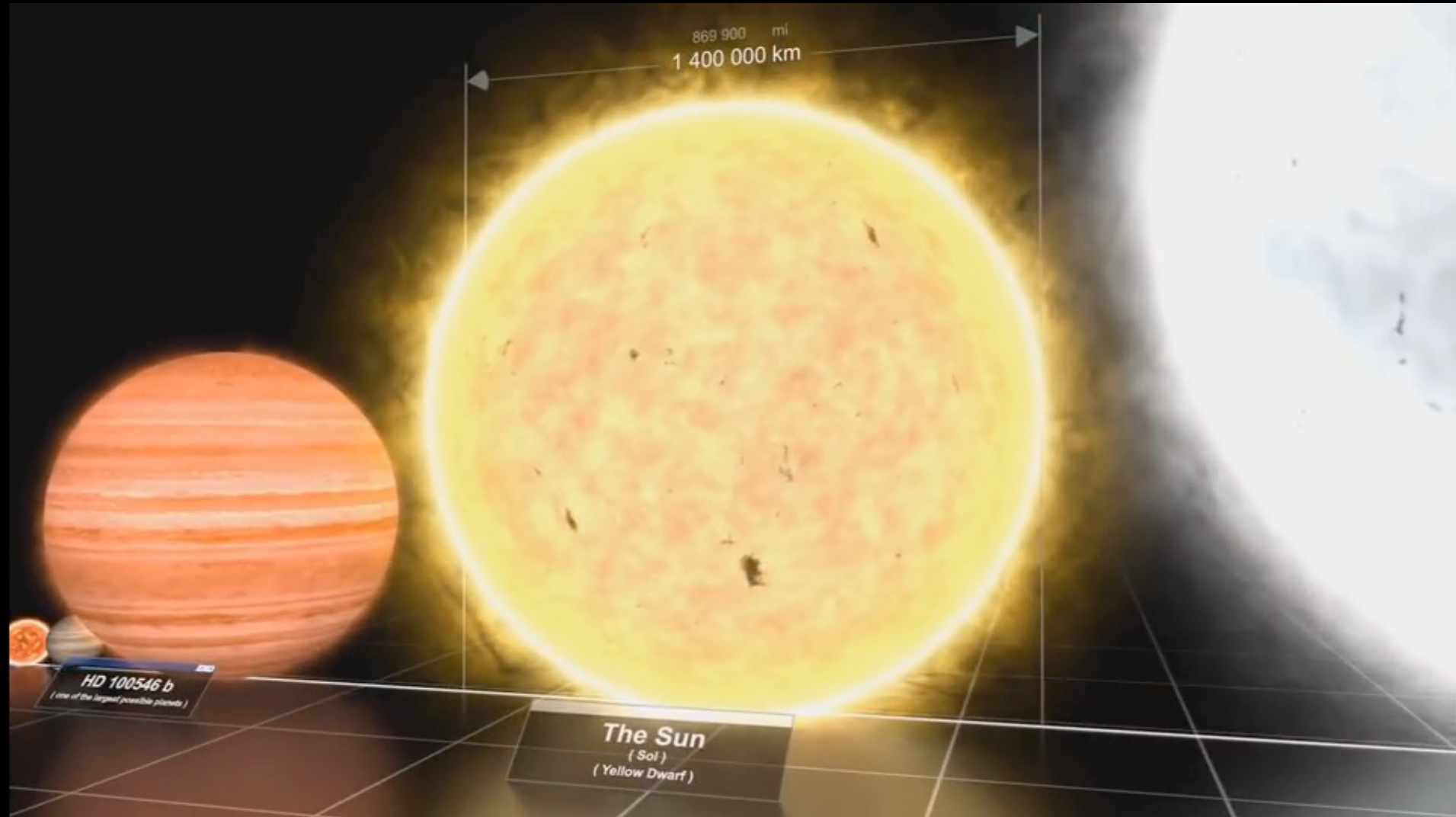


Questions cosmologiques

- De quoi l'Univers est-il constitué?
- Comment est-il organisé/structuré?
- Quelle est son histoire?
- Comment sont apparues les structures qu'on y observe?
- Quelle est sa dernière destinée?

- Questions de toujours et réponses d'aujourd'hui par l'astrophysique

Un premier tour de l'Univers en 3 mn...



extrait de "6mn pour voir la taille de l'Univers"

Les étoiles naissent au sein d'immenses nuages de gaz

Ici « les Piliers de la création » (la nébuleuse de l'aigle), tout juste « revisités » par JWST



2019: Première image d'un trou noir



*NB: On voit l'image du disque
d'accrétion, y compris derrière
le trou noir...*

M87*, le trou noir supermassif au cœur de la galaxie M87, situé à 55 millions d'années-lumière de la Terre dont la masse équivaut à 6,5 milliards de masses solaires.

Le ciel à plat



On représente une sphère sur un plan en choisissant une projection.

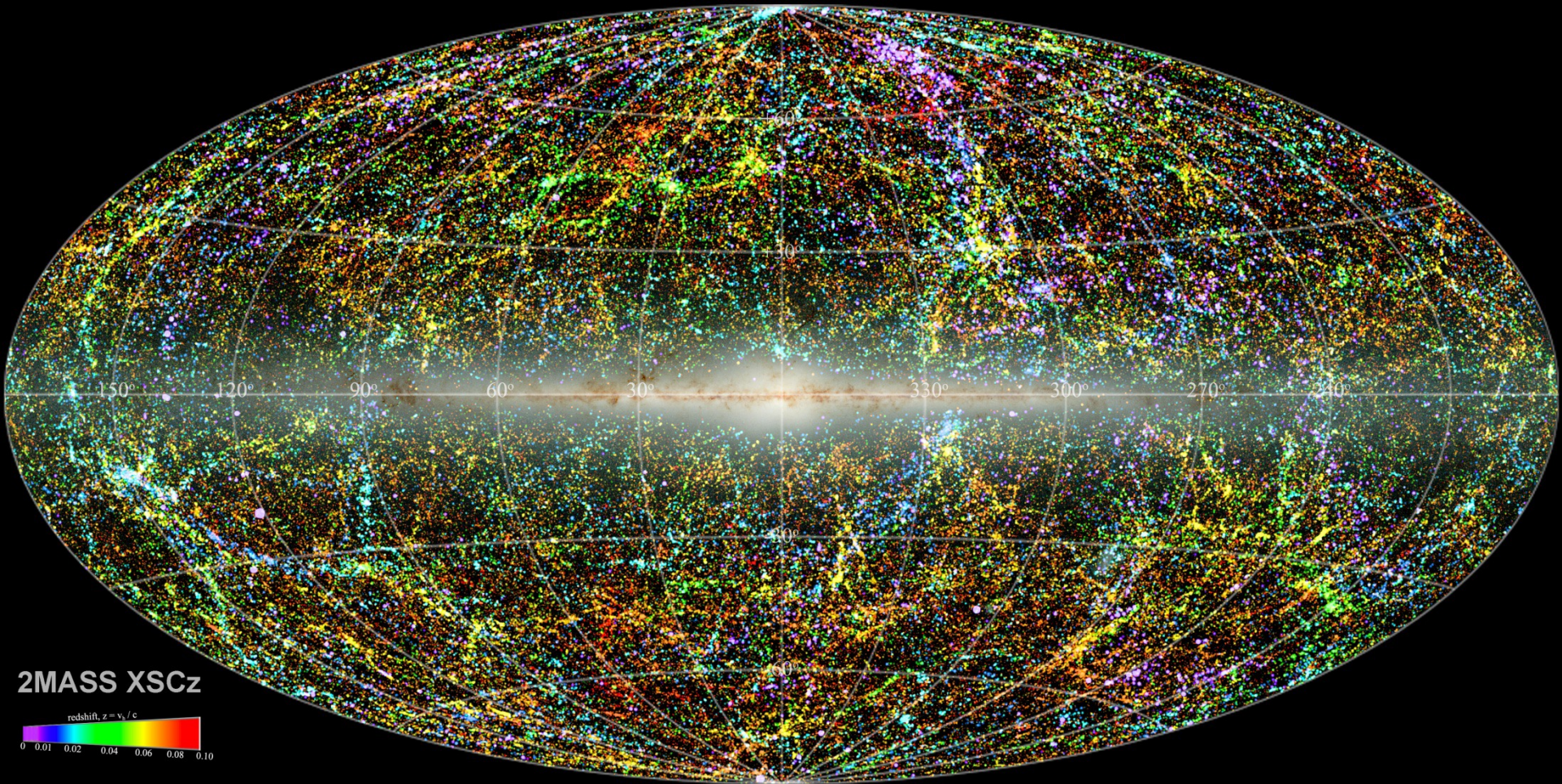


Ici la projection mollweide



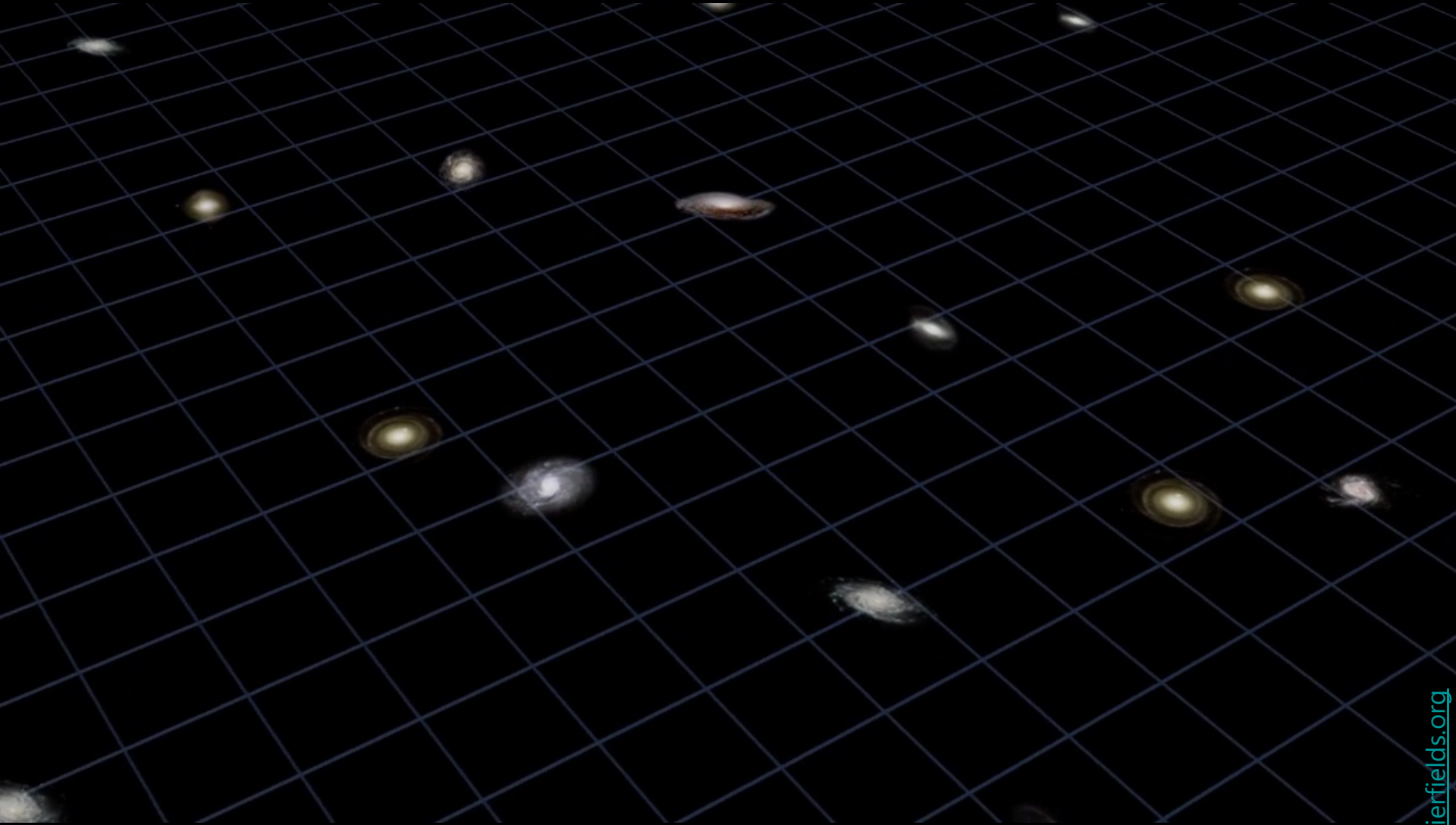


Le ciel des galaxies "proches"



La plus proche, M31, est quand même à ~2,5 Million d'années-lumière !

Notre Univers est en expansion...



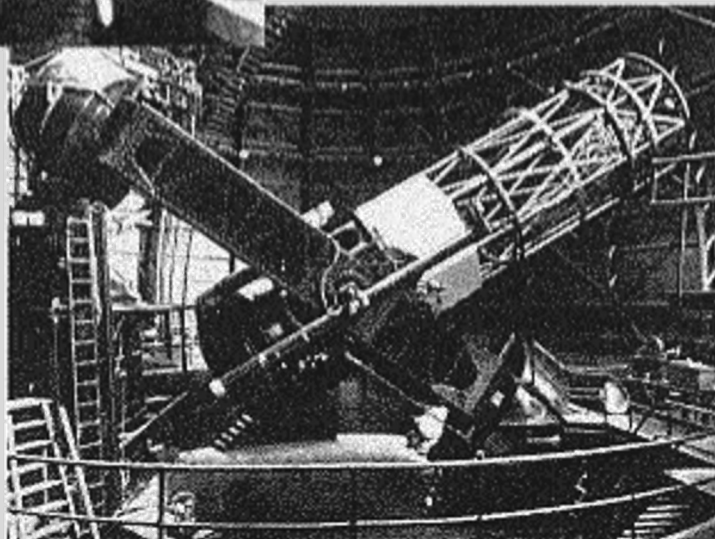
*La lumière émise dans le passé est décalée vers le rouge.
(proportionnellement à l'éloignement)*

L'expansion de l'espace...

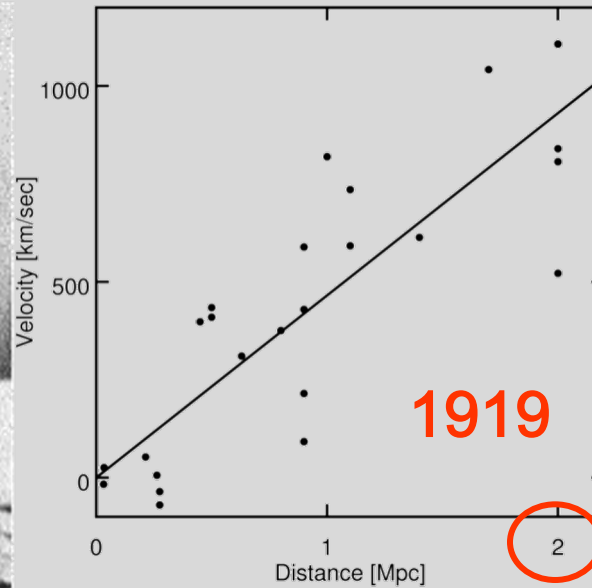


Edwin Hubble

(à la suite de
Vesto Slipher)
Et de Georges
Lemaître

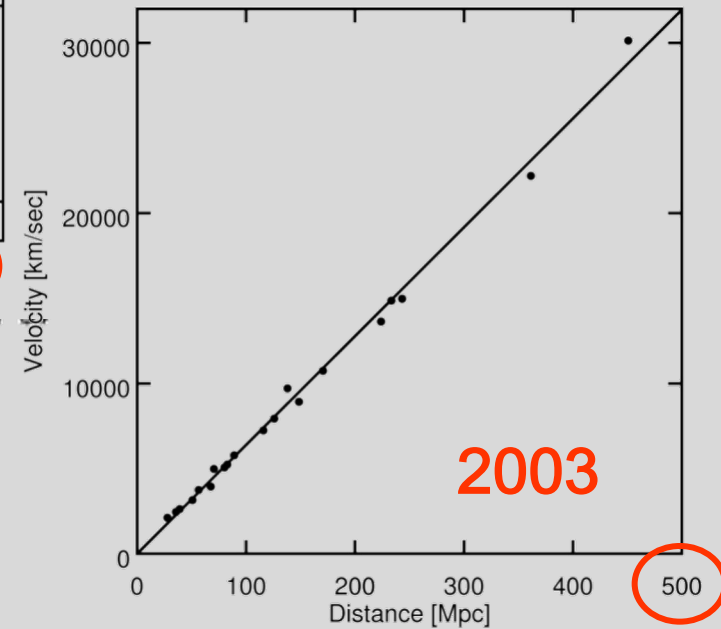


Mt. Wilson
100 Inch
Telescope



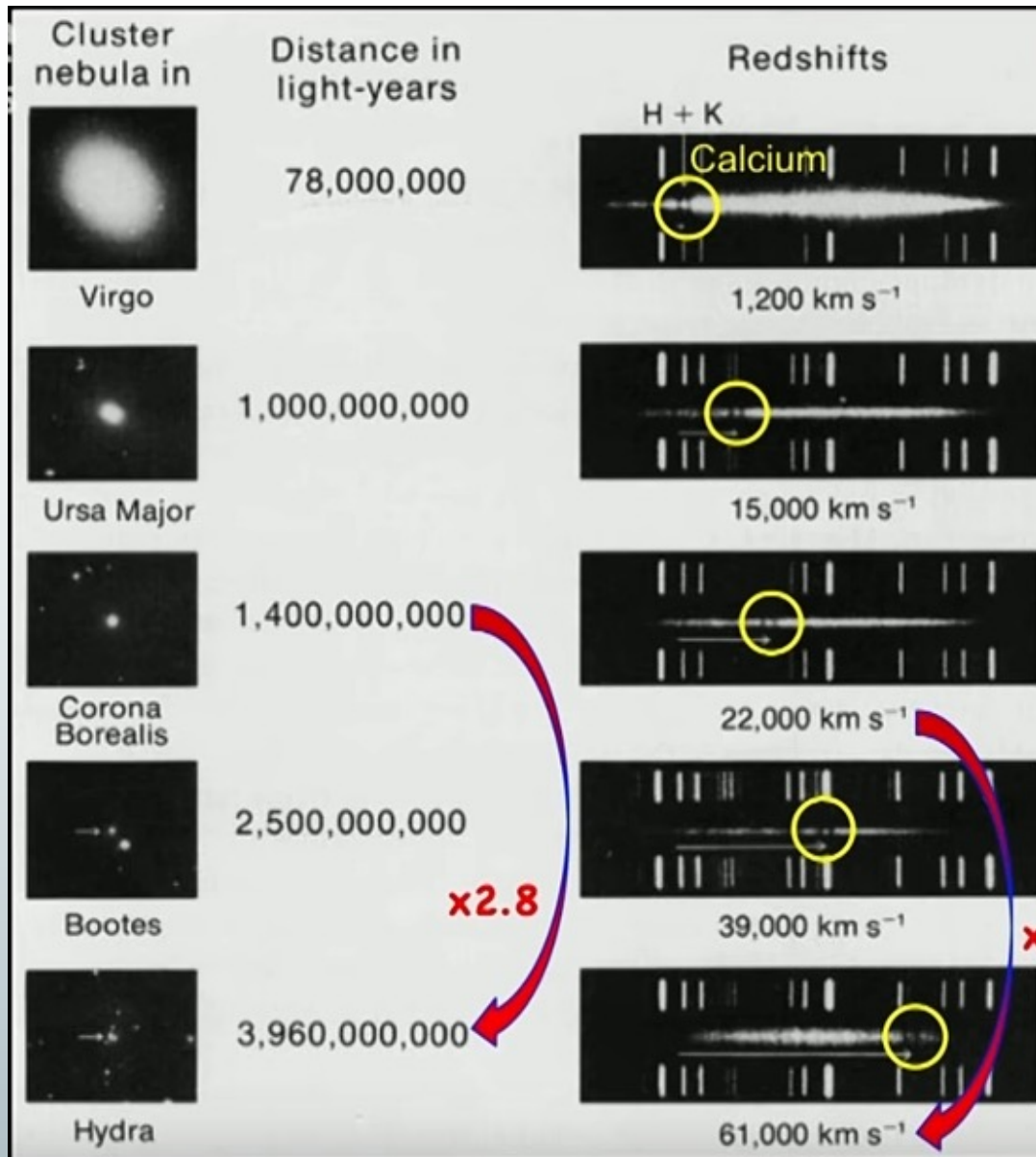
$$v = Hr$$

$$(v \ll c)$$



...permet de mesurer la distance d'objets lointains ($z = \Delta\lambda/\lambda = v/c$)

En pratique...

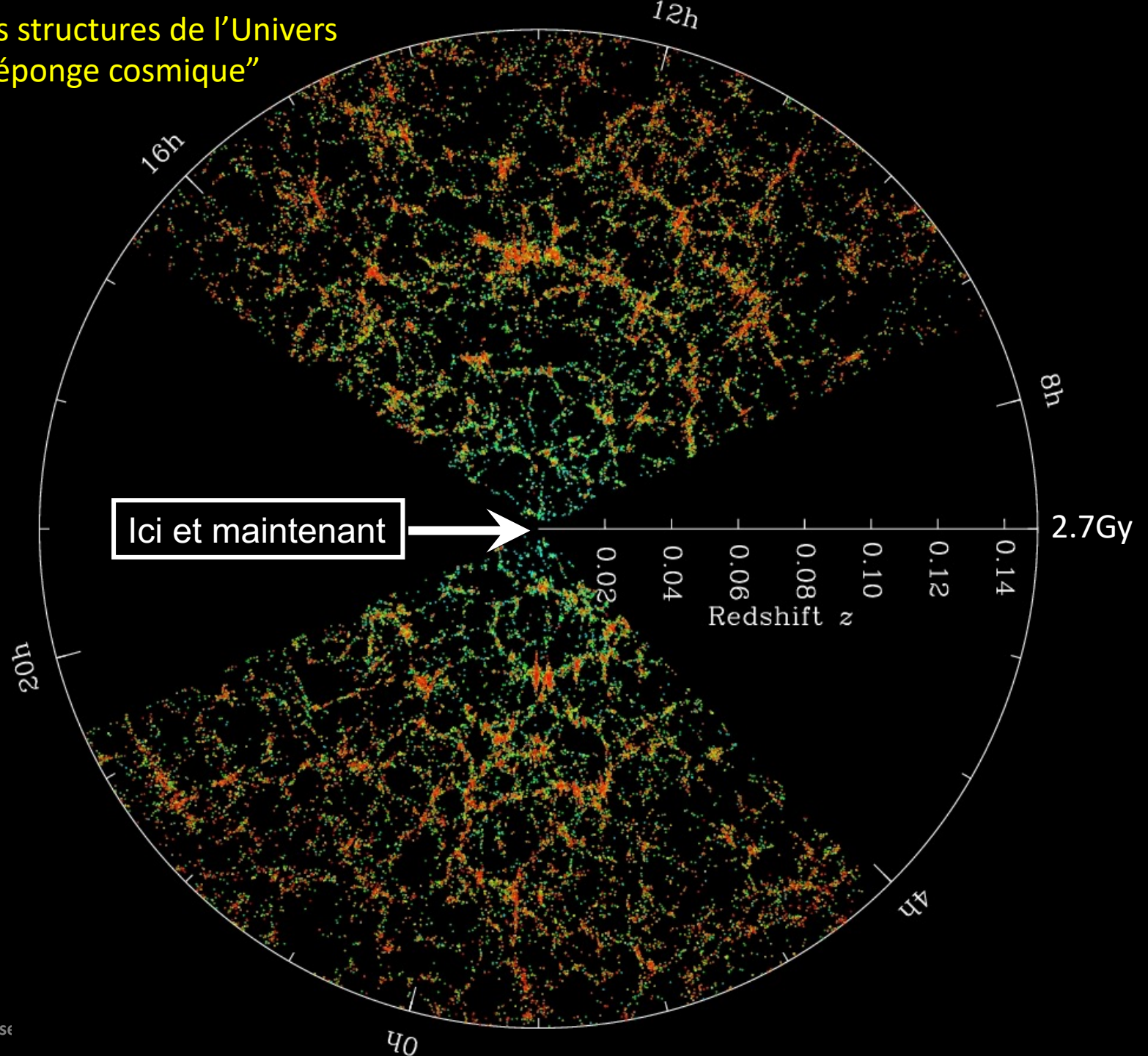


La vitesse apparaît comme proportionnelle à la distance

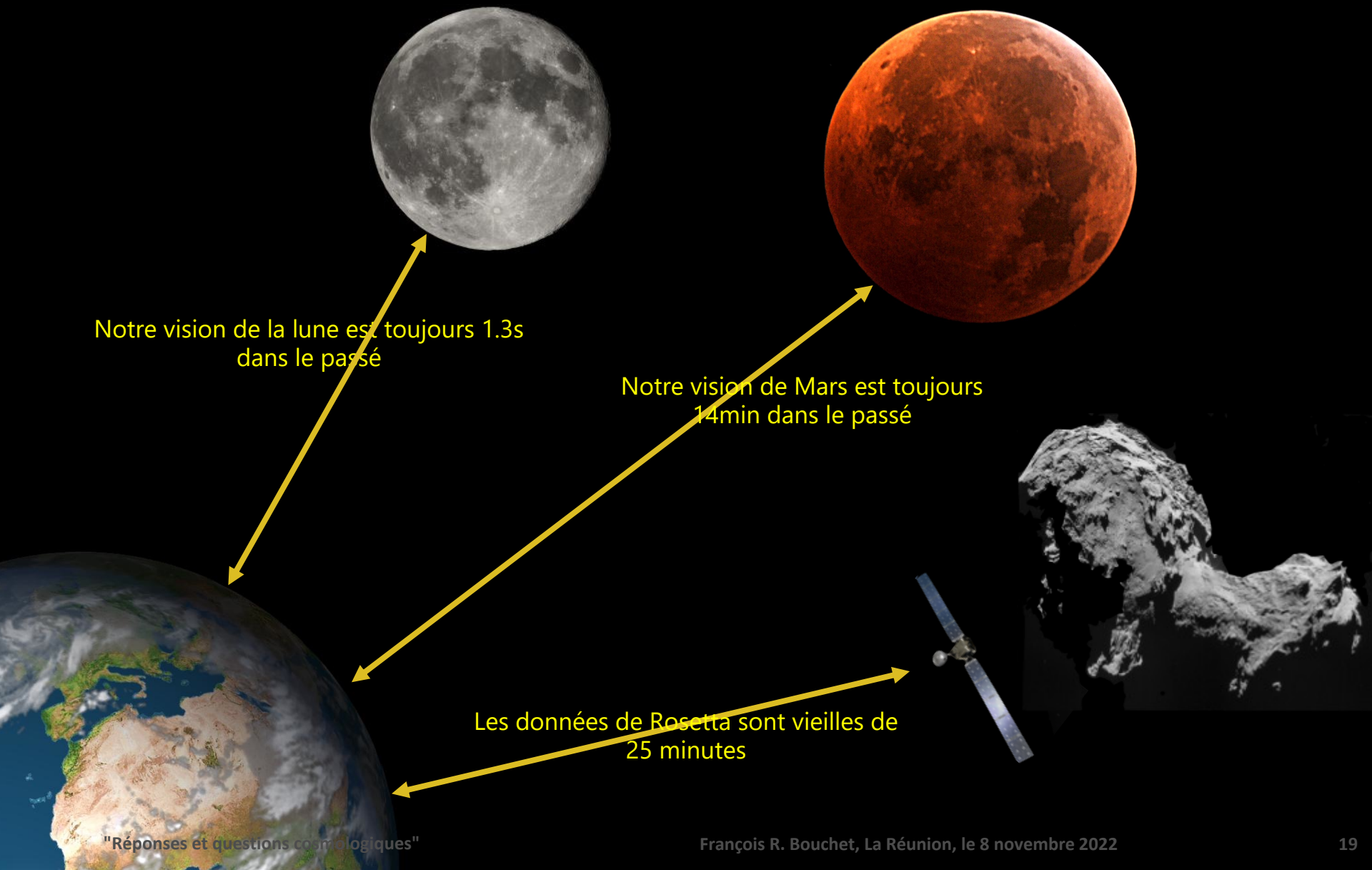
$$V = H r$$

(au moins quand on ne regarde pas trop loin)

Les grandes structures de l'Univers ou "l'éponge cosmique"



Voir loin c'est voir dans le passé

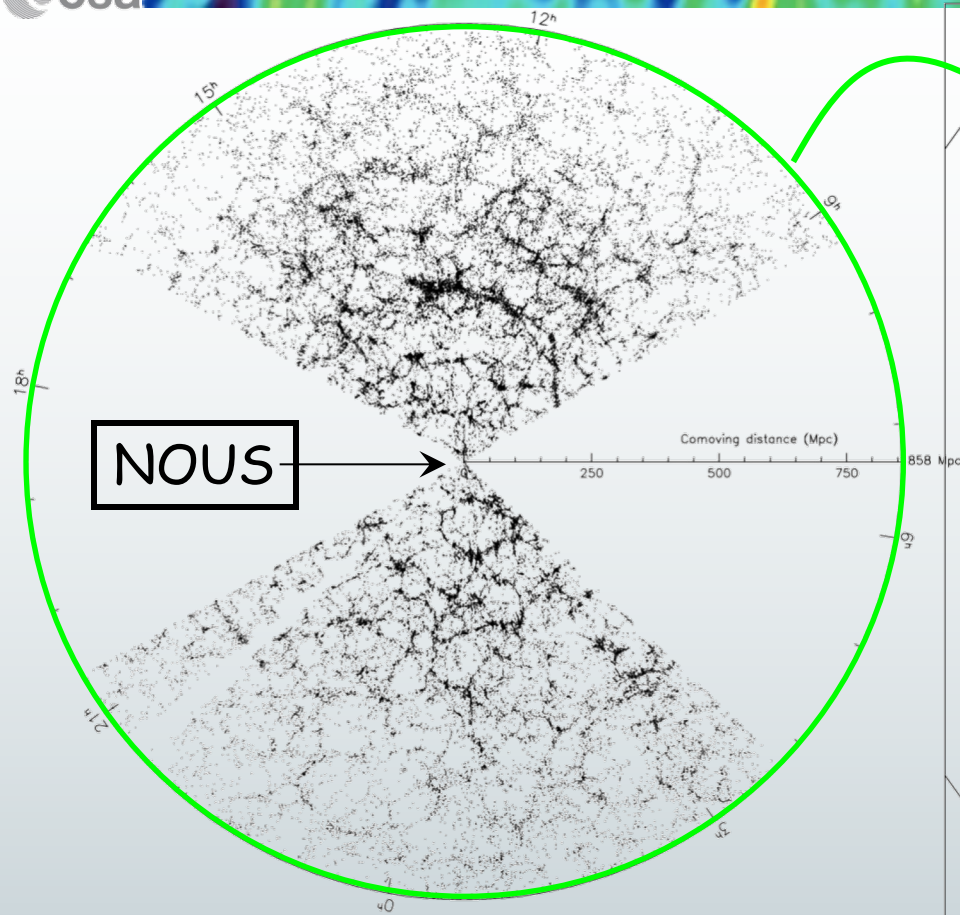


Notre vision de la lune est toujours 1.3s dans le passé

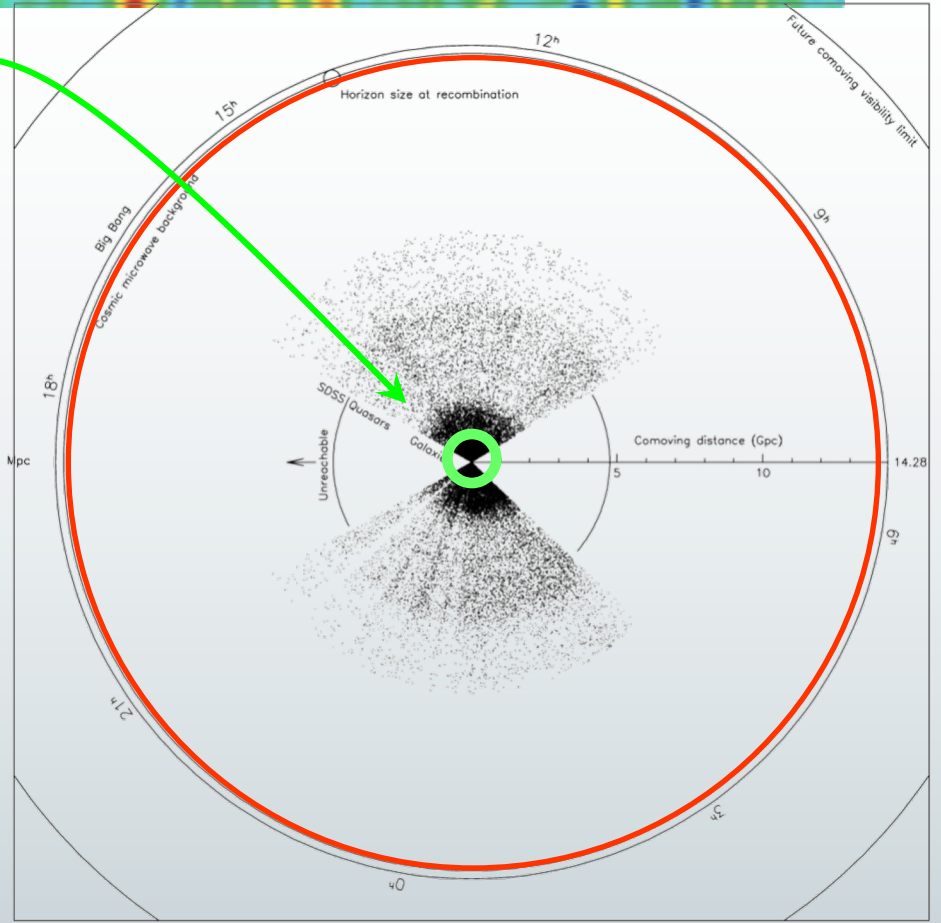
Notre vision de Mars est toujours 14min dans le passé

Les données de Rosetta sont vieilles de 25 minutes

Voir très loin, c'est voir le passé lointain !



Chaque point est une galaxie comme la Notre. La plus proche, M31, est à ~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.



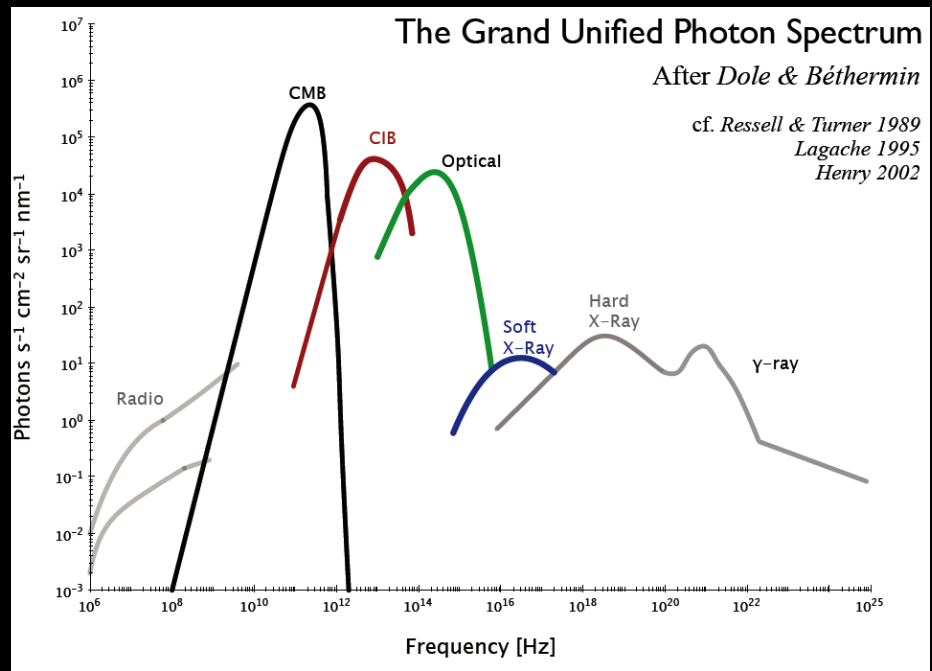
Nous sommes baignés par la lumière du big bang. À cause de l'expansion, elle est décalée vers le rouge dans les micro-ondes et les ondes radios.

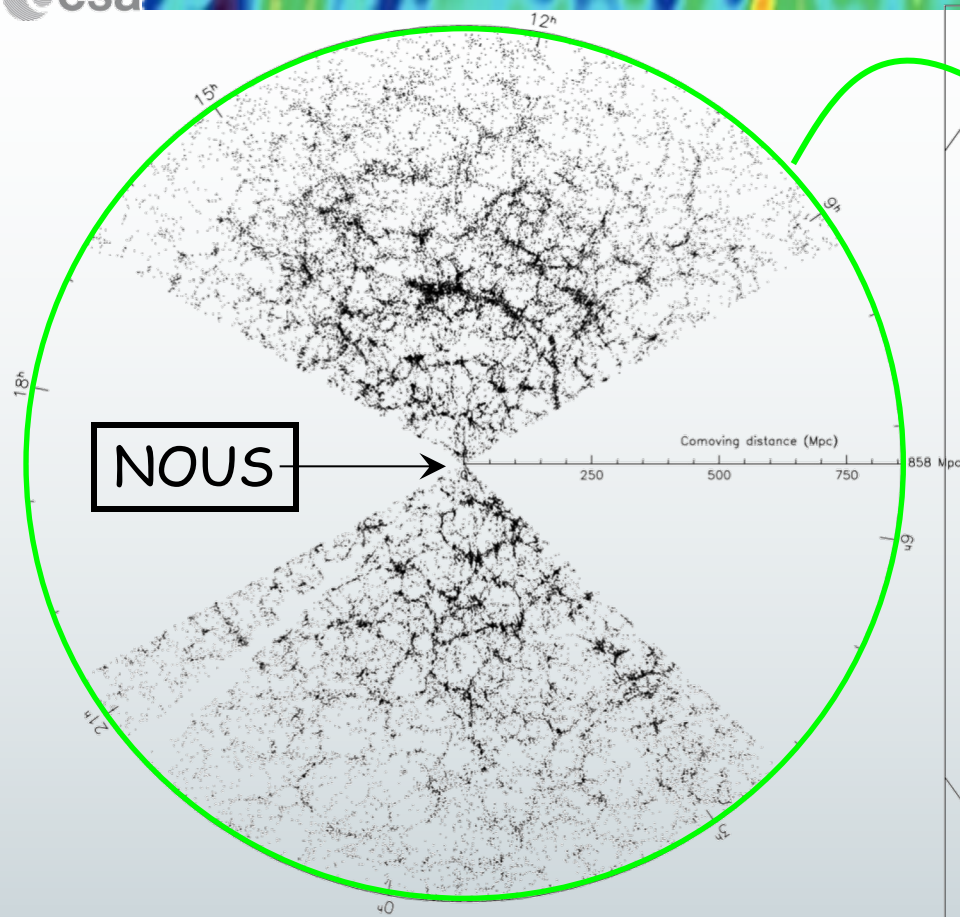
On peut voir ce rayonnement sur un poste de télévision mal réglé !!!

Les photons du rayonnement fossile sont les plus nombreux.

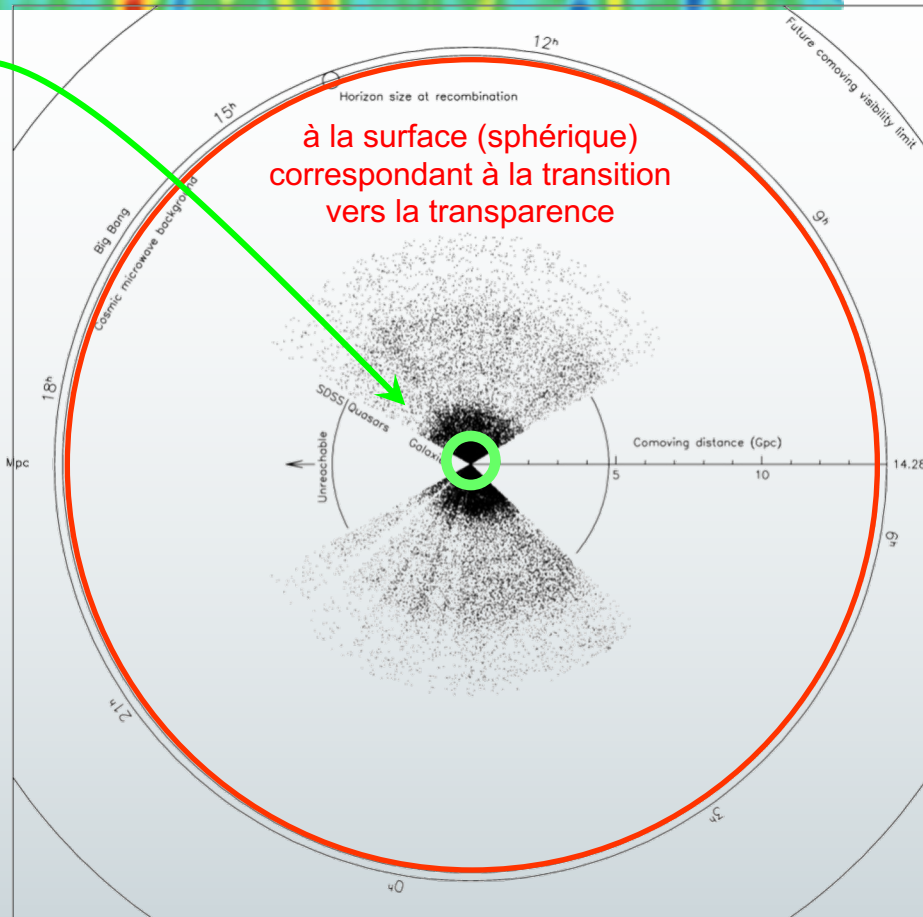
Il est donc facile de voir le big bang.

Pas besoin d'un telescope géant, il suffit de bien s'y prendre !



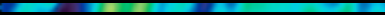


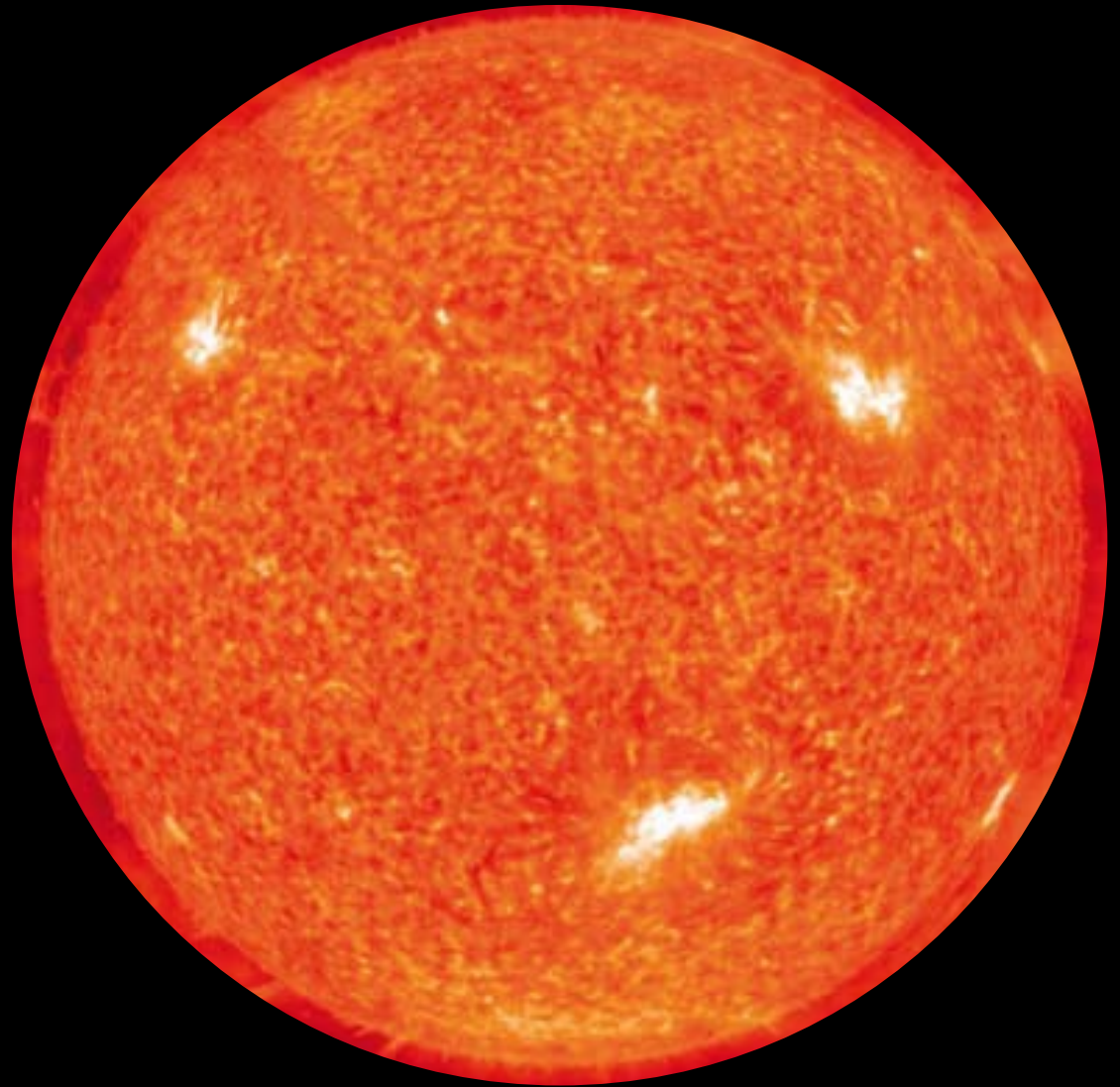
Chaque point est une galaxie comme la Notre. La plus proche, M31, est à $\sim 2,5$ Mal. Il faut 2,7 milliards d'années à la lumière d'une galaxie sur le cercle vert pour qu'elle nous parvienne.



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.

Une autre surface de transition vers la transparence.

-  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





La génération des grumeaux primordiaux...

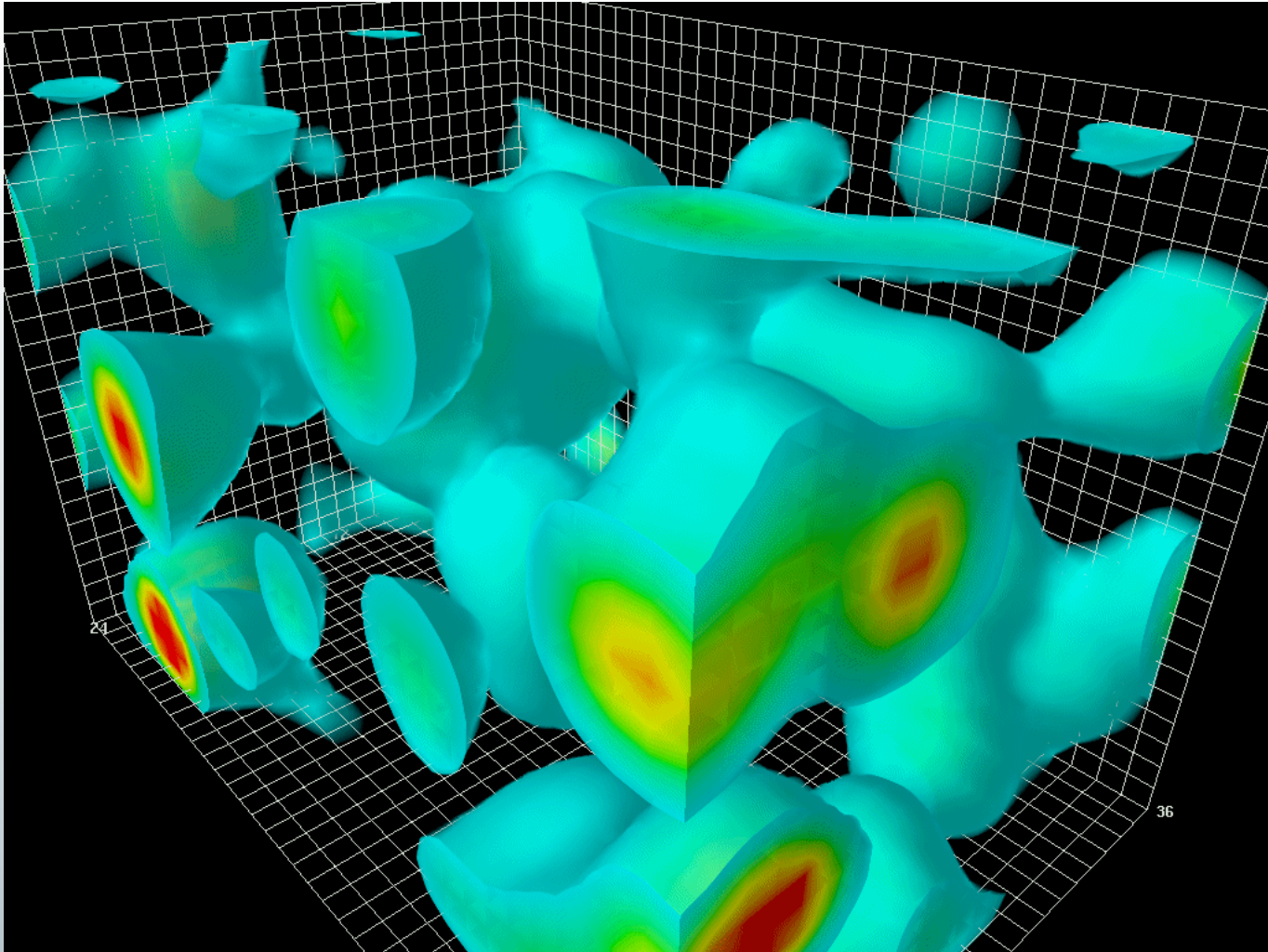


- L'idée de l'existence d'une phase d'inflation a été introduite dans les années 70 (initialement pour résoudre des problèmes de physique des particules considérée dans un contexte cosmologique).
- Imaginez un Univers vide. Une phase d'expansion exponentielle (d'inflation) peut néanmoins être produite par l'effet gravitationnel de l'énergie du vide (quantique); à la fin de la phase d'inflation, l'énergie du vide est convertie en matière et rayonnement.
- Au cours de cette phase d'expansion, les fluctuations quantiques du vide, irrépessibles, sont dilatées gravitationnellement à des échelles cosmologique. Une partie de ces fluctuations va initier la croissance de la complexité.
- Le vide est donc probablement l'origine ultime du contenu de l'Univers et de sa structuration...
- Ce mécanisme conduit à nombre de prédictions, et en particulier que notre horizon cosmique (la surface correspondant à la transition vers la transparence) soit grumeleuse, et que son apparence révèle les caractéristiques des grumeaux primordiaux et celles du milieu dans lequel il se sont développés.



Le vide n'est pas le néant!

Le monde microscopique est régi par la mécanique quantique.
Le vide (quantique) est le siège de fluctuations que l'on peut simuler.



Quoique fugaces ces fluctuations de densité d'énergie contribuent à **l'énergie du vide**

Planck era

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

INFLATION

fraction of a second

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

CMB last scattering

380,000 years

first stars

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

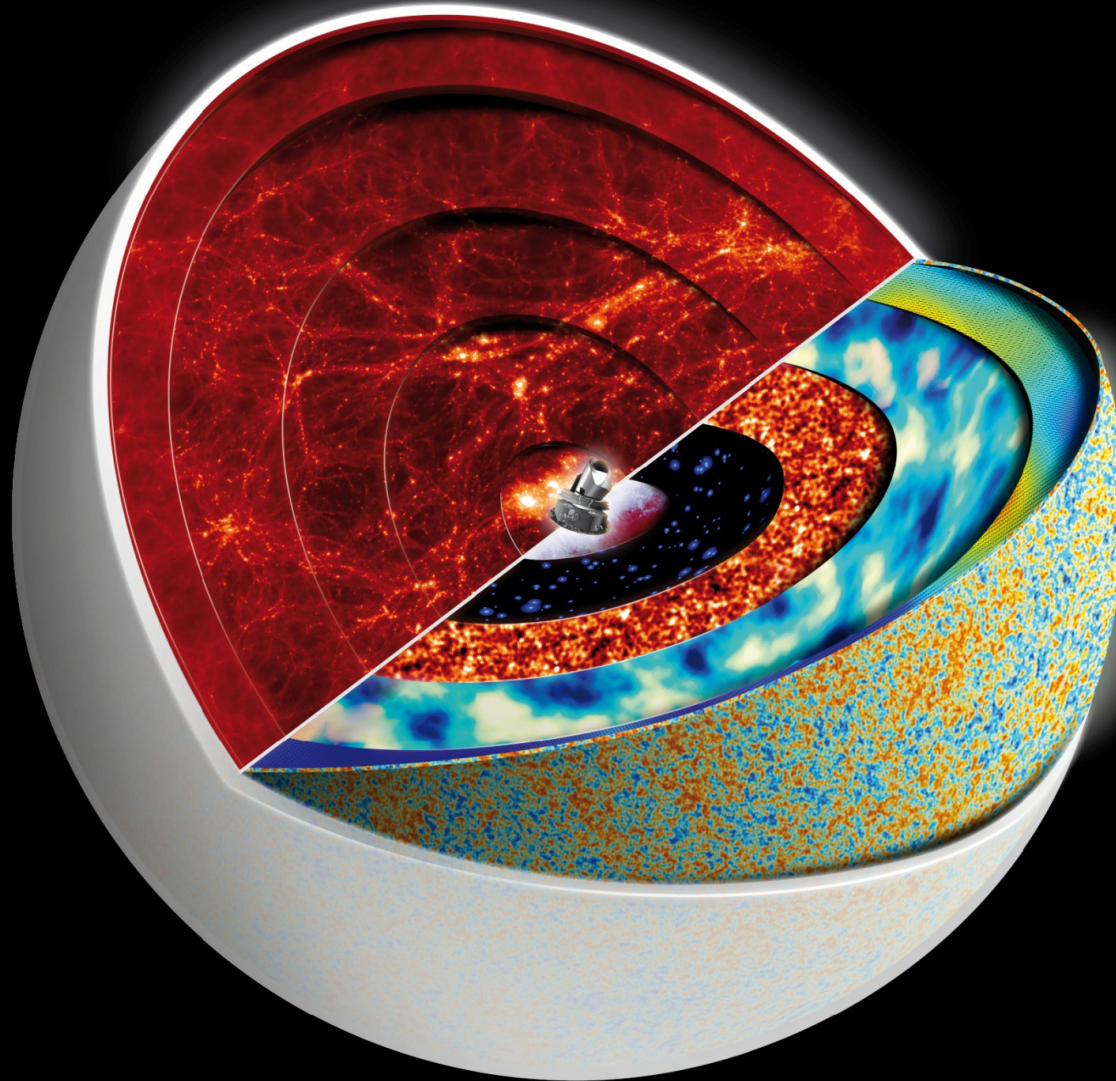
present day

~ 200 million years

13.7 billion years

Cosmogénèse

L'Univers visible est un onion 😊



De la mousse quantique à l'éponge cosmique...



PLANCK

Une mission scientifique de l'Agence spatiale Européenne

Sélectionnée sur concours en 1996

Pour mesurer la carte définitive des anisotropies de
température cosmiques

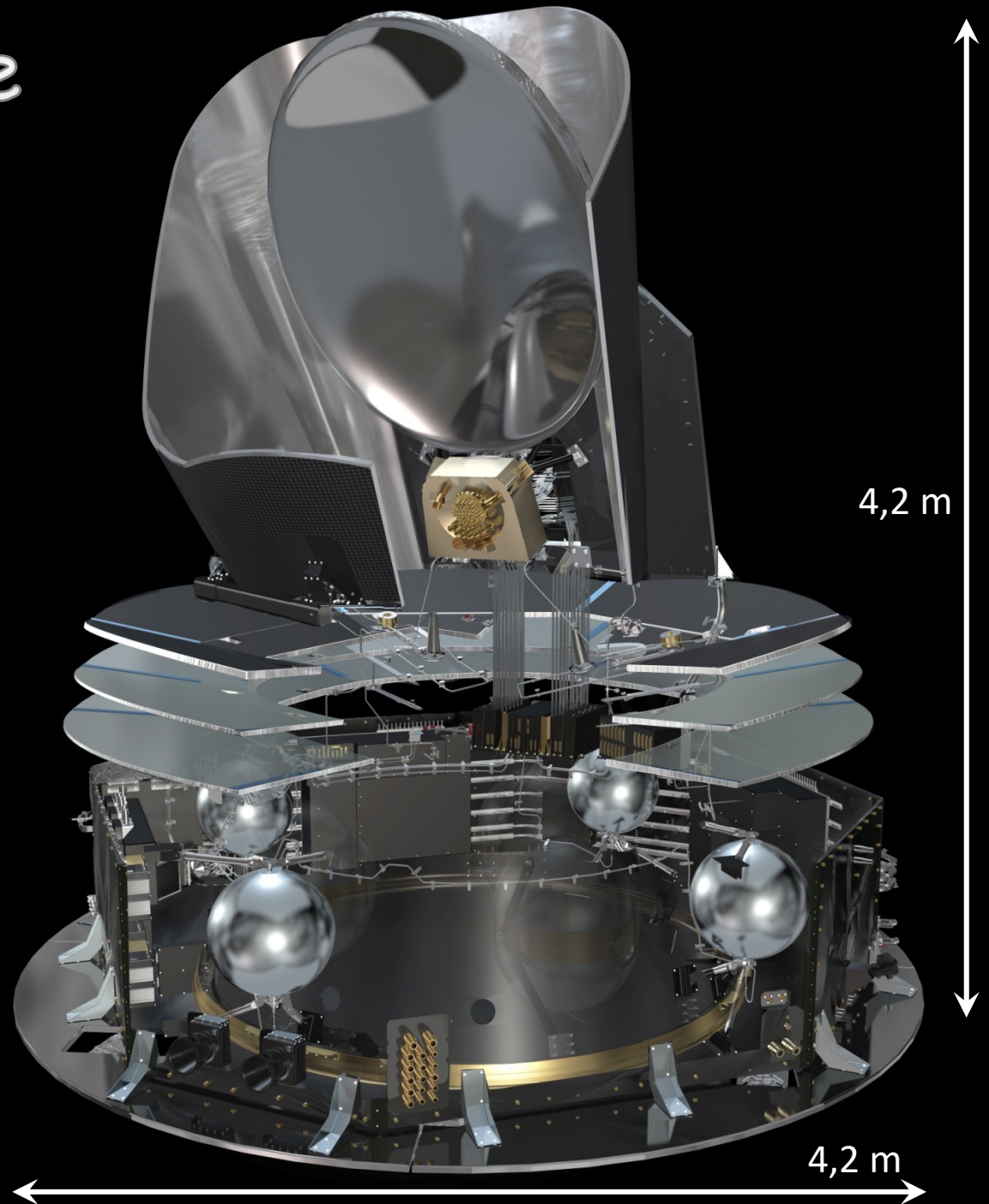
En repoussant les limites des technologies établies

Planck en coupe

1912 Kg
1600 W consommation
2 instruments - HFI & LFI
15 mois de relevé nominal
(≥ 2 mesures en tout point)

50 000 composants
électroniques
36 000 l ^4He
12 000 l ^3He
11 400 documents
20 ans entre le 1er projet et les
premiers résultats (2013)

6c/an par Européen
16 pays
400 chercheurs / 1000





planck



DTU Space
National Space Institute



Science & Technology
Facilities Council



National Research Council of Italy



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.



UK SPACE
AGENCY



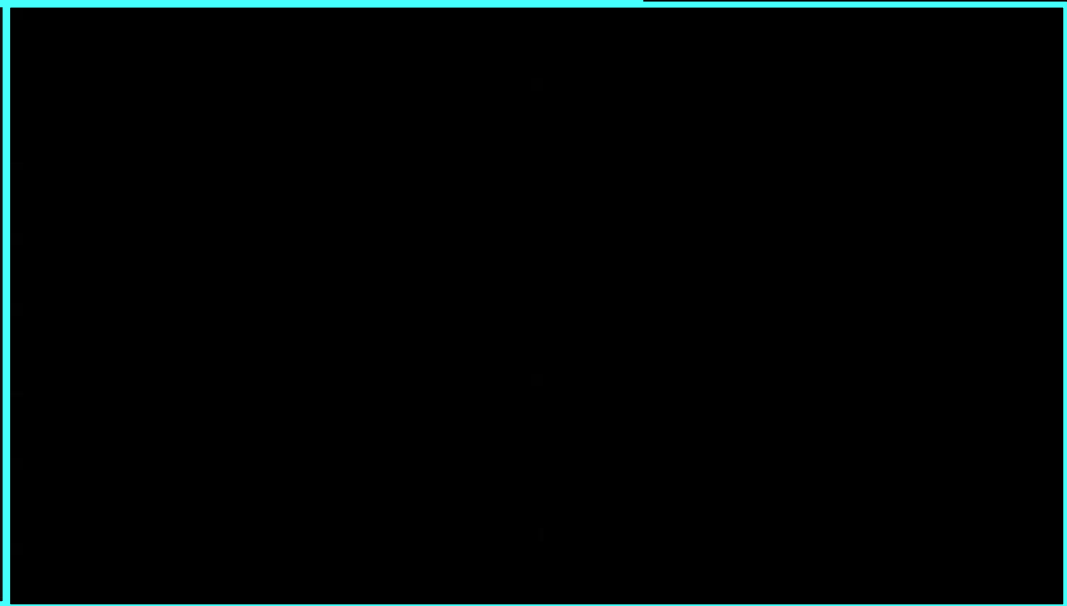
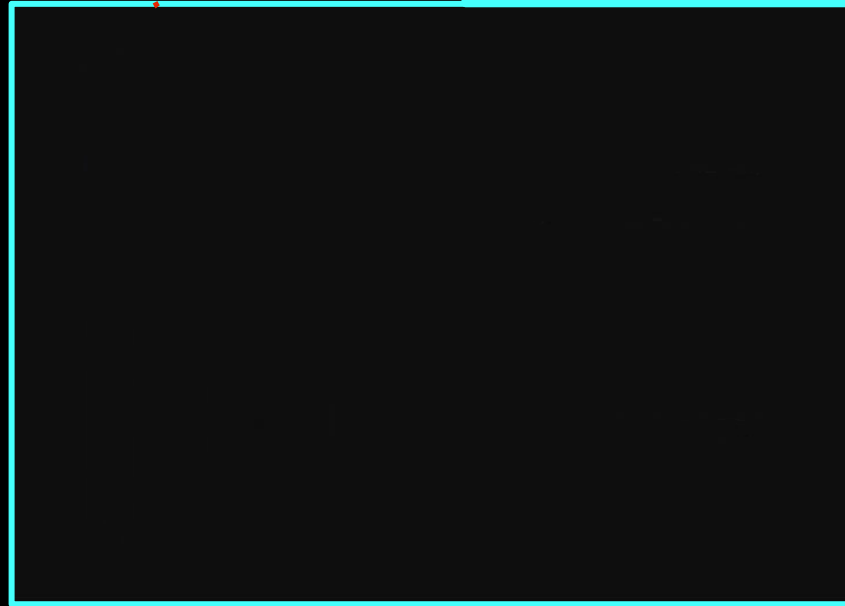
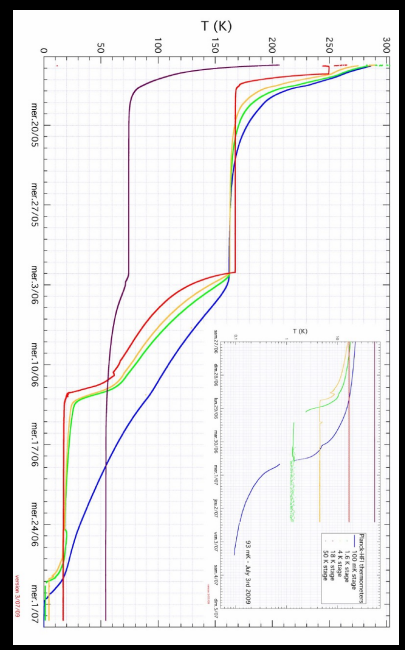
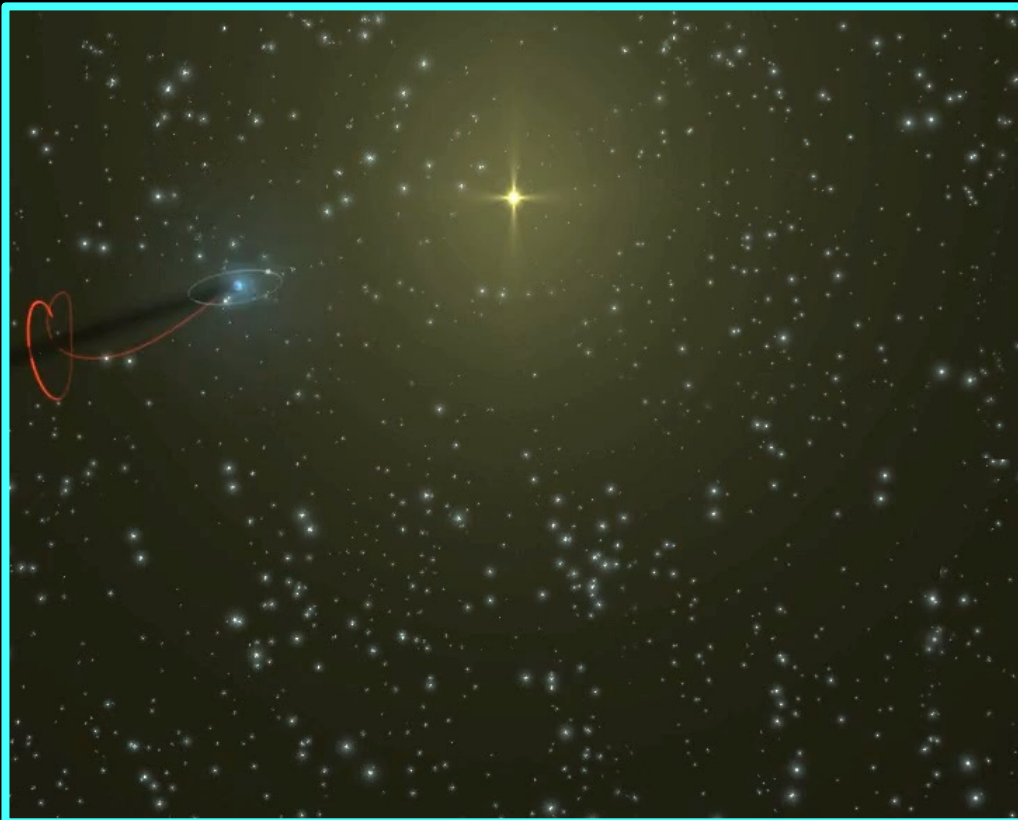
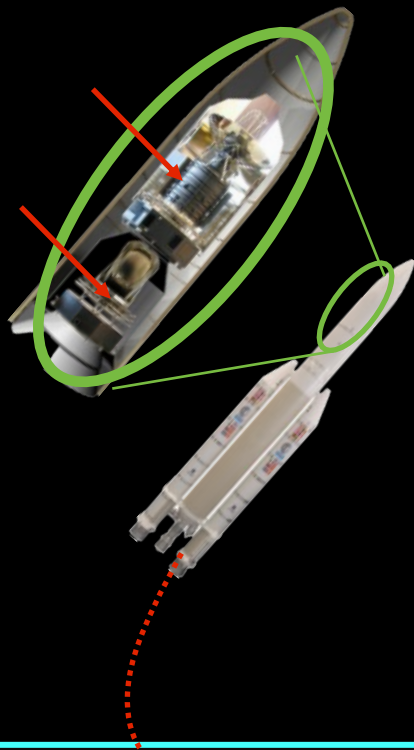


DUSTING IT OFF...

AFTER 16 YEARS
OF HOPES & WORK



Ariane 5 ECA Launch • HERSCHEL – PLANCK - *May 14, 2009*



La dernière commande

Darmstadt, 23 octobre 2013

TIME (Z)	EVENT	INITIALS
	SPAWN ON CONSOLE.	bw
10.09	AOB NVO	bw
10.42	RESET SCC.	bw
10.54	CONVERSION TEST.	bw
10.59	FIX QAND.	bw
11.00	(MMA → OK) PCT SMC2	bw
11.01	PCT SMC2	bw
11.02	CEL A (EMPTY)	bw
11.03	CEL B (EMPTY)	bw
11.03	DEL CEL A+B	bw
11.05	HEALTH CHECKS + MISCE DUMPS.	bw
11.06	STAGE 2 Dump Complete.	bw
11.16	ECC CHAIN 2 TO MOD (CONTINUED: 11.20.)	bw
11.17	MOD END SEND.	bw
11.20	ECC CHAIN 2 TO MOD. (CONTINUED: 11.26.)	bw
11.22	RAMMING SOLVED	bw
11.30	DEM22170.	bw
11.33	✓ VCC TRANSFERRED	bw
11.38	EOL-LAST-DAY-BCR-BDR.	bw
11.39	RESET SCC.	bw
11.48	EOL-LAST-DAY-LAST-COMMANDS RAMMING SUSPENDED	bw
12.04	EOL-LAST-DAY-LAST-COMMANDS	bw
12.11	TX DFF Command	bw

ent to speak to, followed by
 imunicate on. If for
 in the SOM loop the Project
 it Rep on the SOM loop".
 or "talk" and reply "Project

RAMMING

A la Cave de l'IAP...

+ CC/CINECA/
Darwin/NERSC...

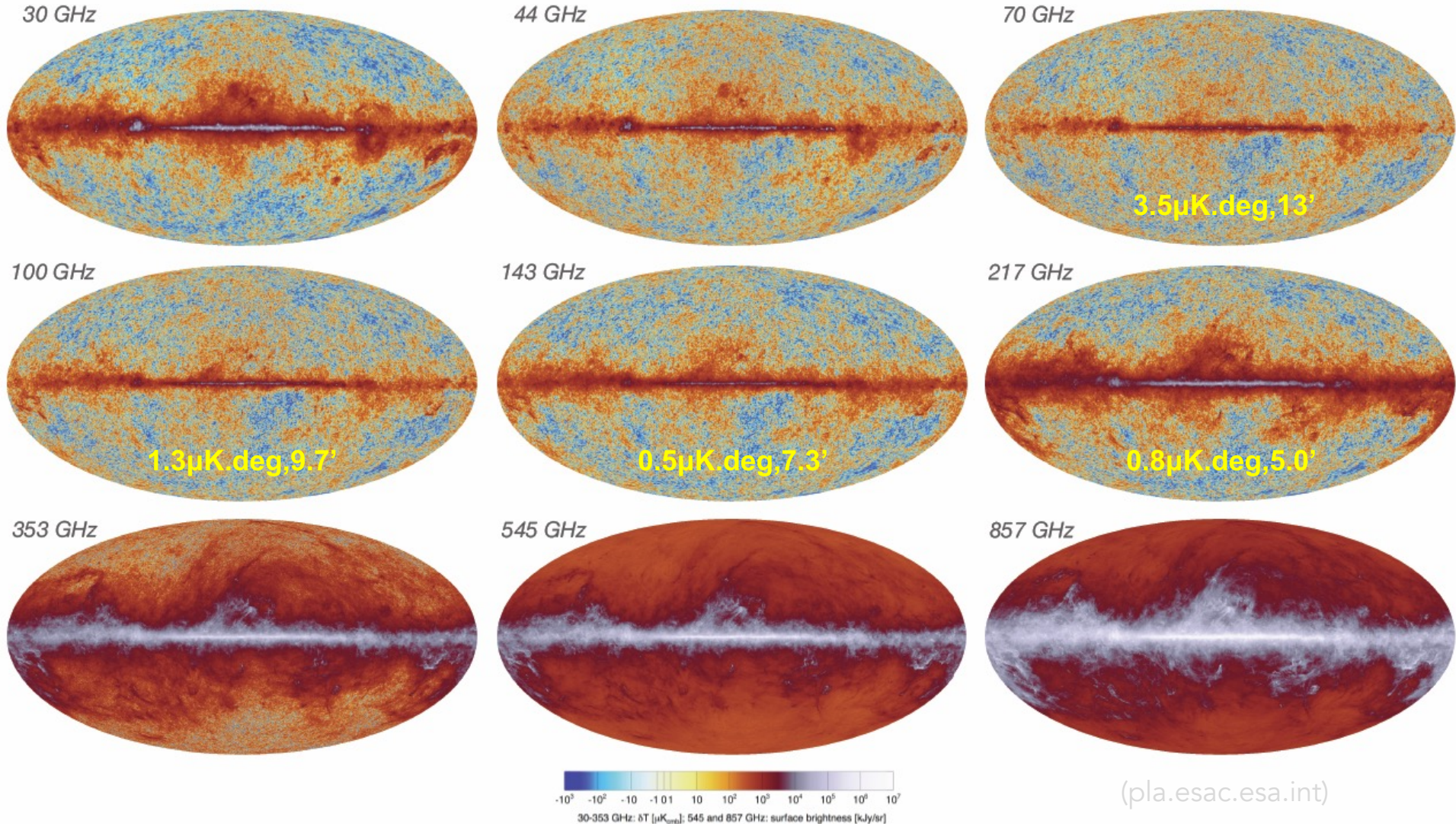
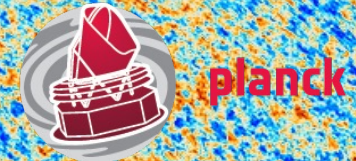


Pour traiter ~
1000 milliards
d'échantillons
temporels

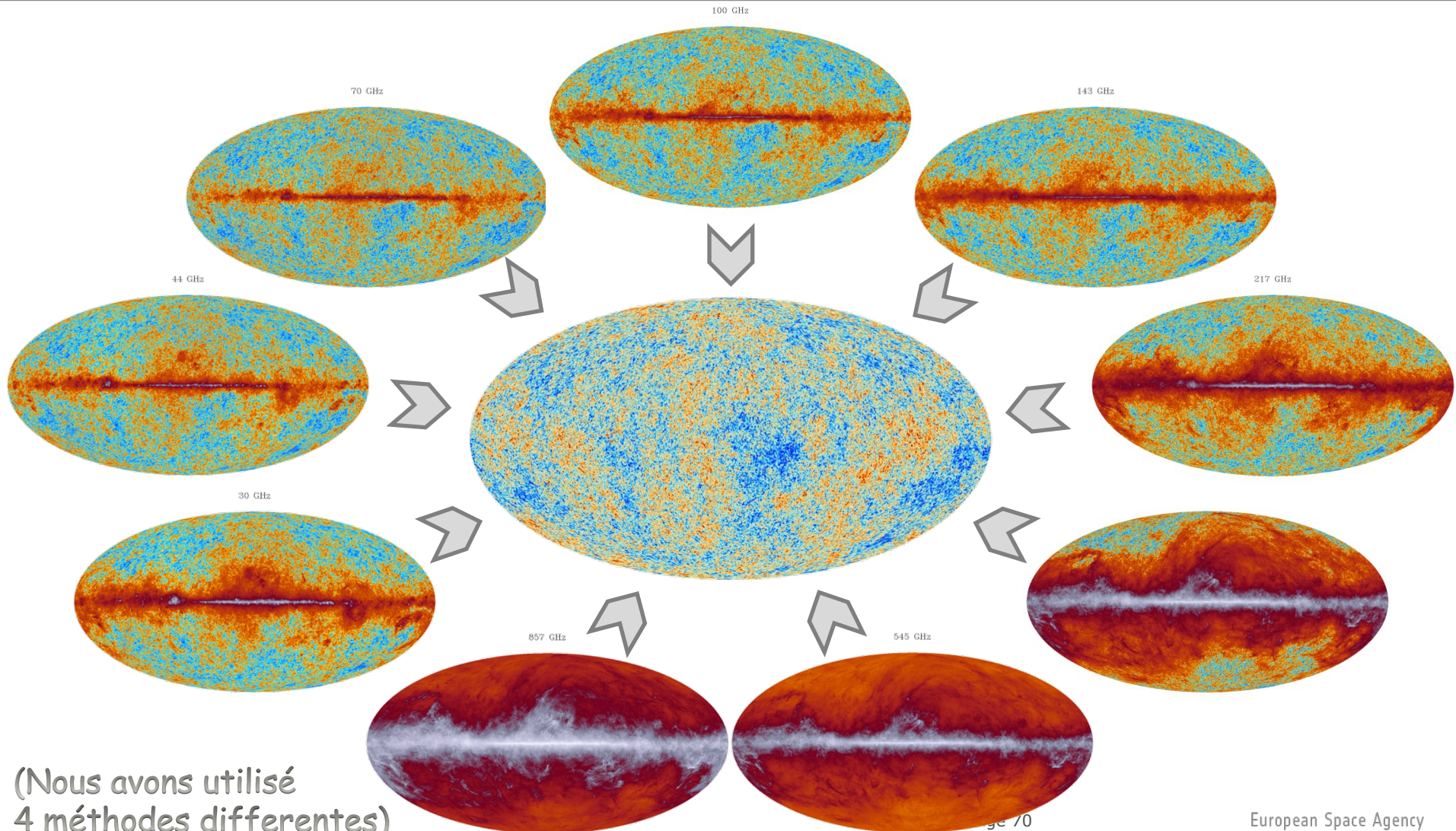
Institut d'astrophysique de Paris



Planck 2018 Intensity maps



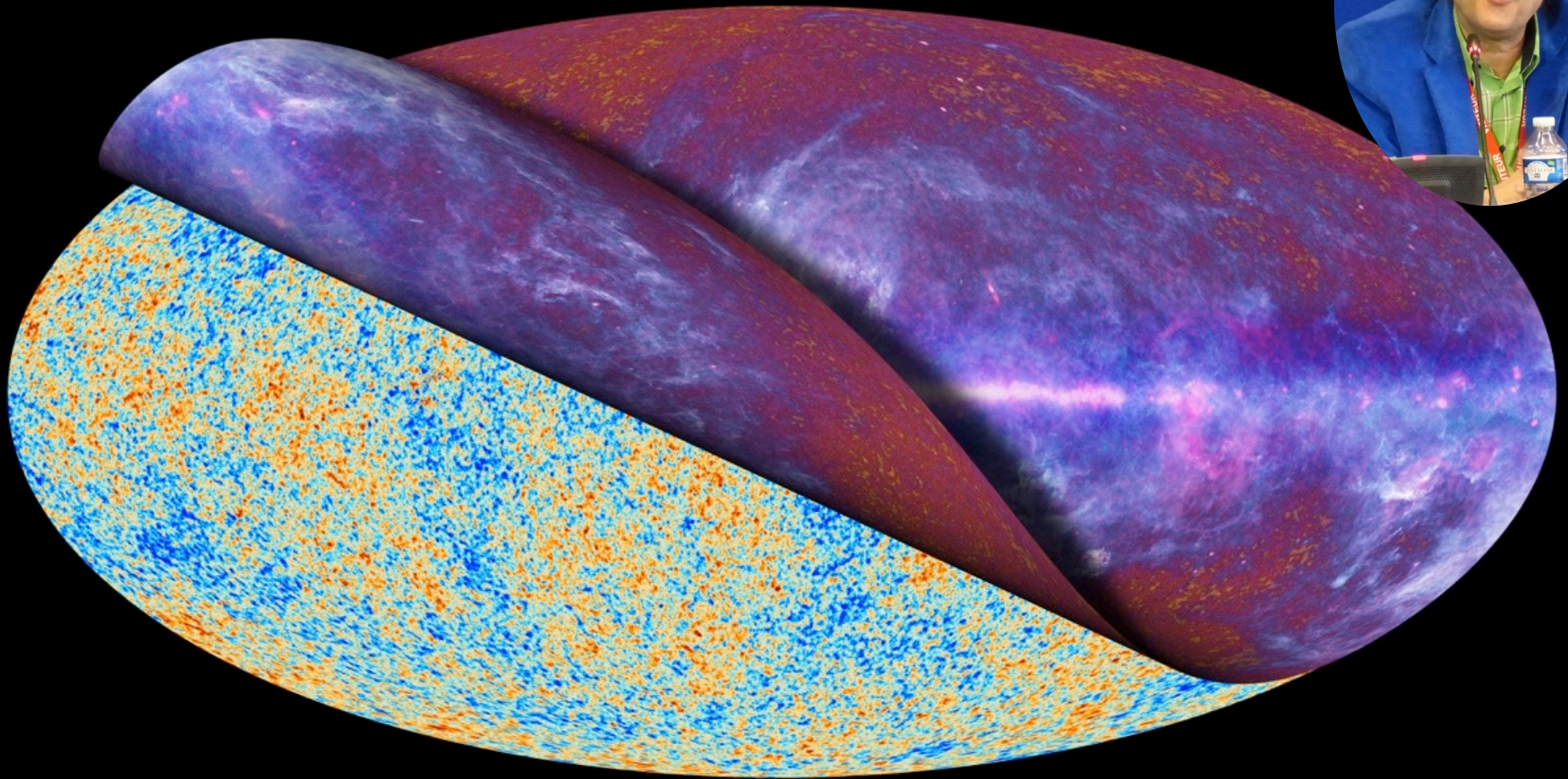
L'enlèvement des voiles du fond



(Nous avons utilisé
4 méthodes différentes)

"Réponses et questions cosmologiques"

Paris, 21 Mars 2013



Planck unveils the Cosmic Microwave Background

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

Le Royaume-Uni fait cavalier seul en matière fiscale et décide de 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

LIRE P. 13 | LA THÉOLOGIQUE ALAIN FRACHON P. 21

LE MONDE DES LIVRES
Spécial Salon du livre de Paris

► Barcelone ville vivante, Roumanie à l'honneur

► Quelle littérature enseignée au collège et au lycée? Regards d'auteurs et d'enseignants

► Le livre numérique peine à décoller

SUPPLÉMENT DÉBATS P.38 ET P.34

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

Arctique et atonie L'austérité budgétaire a-t-elle un effet de confiance, et celle-ci en retour, ou au contraire, est-ce l'effet de confiance qui précède l'austérité? C'est ce que se demande David Cameron en 2010, lorsqu'il prend la tête du gouvernement britannique. L'objectif est simple: rendre le Royaume-Uni plus attractif que les autres pays de la zone euro.

«Cela prendra du temps», a dit le chancelier de l'échiquier, George Osborne, en annonçant le budget de 2010. Mais le chancelier a tenu sa promesse. Le budget de 2010 a été un succès. Le Royaume-Uni a évité la récession, et a même connu une croissance de 2,1% en 2010. Le budget de 2011 a été un succès. Le Royaume-Uni a évité la récession, et a même connu une croissance de 2,1% en 2011. Le budget de 2012 a été un succès. Le Royaume-Uni a évité la récession, et a même connu une croissance de 2,1% en 2012. Le budget de 2013 a été un succès. Le Royaume-Uni a évité la récession, et a même connu une croissance de 2,1% en 2013.

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

Des images inédites du satellite européen Planck dévoilent l'enfance du monde. Ni étoiles ni galaxies, mais des particules microscopiques, des électrons et des protons. **LIRE PAGES 2**

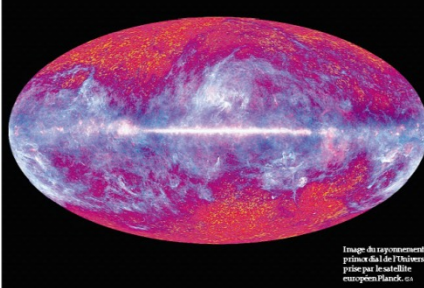


Image du rayonnement primordial de l'univers prise par le satellite Planck.

physics world

TOP 10 BREAKTHROUGH 2013

L'ÉVÈNEMENT

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 ses premières images de l'univers primordial, 380 000 ans après le Big Bang. Ces images, qui montrent les fluctuations de température du rayonnement cosmologique, offrent une vue inédite de l'univers jeune. Elles confirment les prédictions de la théorie du Big Bang et permettent de mieux comprendre l'évolution de l'univers.

Les images de Planck sont la plus précise jamais obtenue de l'univers primordial. Elles ont été prises pendant 14 mois de mission, de mai 2009 à octobre 2013. Le satellite a parcouru plus de 1,1 milliard de kilomètres et a collecté plus de 1,5 pétaoctets de données.

Les images de Planck sont divisées en deux parties: une partie qui montre les fluctuations de température et une autre qui montre les fluctuations de polarisation. Les fluctuations de température sont les plus importantes, car elles sont directement liées à la formation des galaxies et des amas de galaxies.

Les fluctuations de polarisation sont plus subtiles, mais elles sont également importantes. Elles sont liées à la formation des galaxies et des amas de galaxies, mais elles sont également liées à la formation des trous noirs et des étoiles.

Les images de Planck ont été prises avec une précision sans précédent. Elles ont permis de mesurer la température de l'univers primordial avec une précision de 10⁻⁵ kelvins. Elles ont également permis de mesurer la polarisation de l'univers primordial avec une précision de 10⁻⁶ kelvins.

Les images de Planck ont été prises avec une précision sans précédent. Elles ont permis de mesurer la température de l'univers primordial avec une précision de 10⁻⁵ kelvins. Elles ont également permis de mesurer la polarisation de l'univers primordial avec une précision de 10⁻⁶ kelvins.

EUROPE

La taxe à 75% s'accroît

La taxe à 75% s'accroît. Le gouvernement français a annoncé qu'il augmenterait la taxe à 75% de 10 points de pourcentage, passant de 65% à 75%. Cette mesure est destinée à réduire les déficits publics et à soutenir la croissance économique.

Le ministre de l'Économie, Jean-Marc GAYÉ, a déclaré que cette mesure était nécessaire pour atteindre les objectifs de réduction des déficits publics fixés par l'Union européenne. Il a également déclaré que cette mesure était destinée à soutenir la croissance économique et à créer des emplois.

Cette mesure a été accueillie avec scepticisme par les économistes et les citoyens. Certains estiment que cette mesure va entraîner une baisse de la consommation et une réduction de la croissance économique. D'autres estiment que cette mesure va entraîner une augmentation de la dette publique et une réduction de la confiance des investisseurs.

SCIENCE

Des fientes de pigeon au « visage de Dieu »

Des fientes de pigeon au « visage de Dieu ». Les scientifiques ont découvert que les fientes de pigeon contiennent des structures moléculaires qui ressemblent à celles du visage de Dieu. Cette découverte a été faite en analysant les fientes de pigeon à l'aide d'un microscope électronique.

Les scientifiques ont découvert que les fientes de pigeon contiennent des structures moléculaires qui ressemblent à celles du visage de Dieu. Cette découverte a été faite en analysant les fientes de pigeon à l'aide d'un microscope électronique.

Les scientifiques ont découvert que les fientes de pigeon contiennent des structures moléculaires qui ressemblent à celles du visage de Dieu. Cette découverte a été faite en analysant les fientes de pigeon à l'aide d'un microscope électronique.

LES INDÉGÉRIABLES

Un peu de respect pour les pigeons

Un peu de respect pour les pigeons. Les pigeons sont souvent considérés comme des animaux indésirables, mais ils jouent un rôle important dans l'écosystème. Ils aident à contrôler les populations de rongeurs et de insectes nuisibles.

Les pigeons sont souvent considérés comme des animaux indésirables, mais ils jouent un rôle important dans l'écosystème. Ils aident à contrôler les populations de rongeurs et de insectes nuisibles.

Les pigeons sont souvent considérés comme des animaux indésirables, mais ils jouent un rôle important dans l'écosystème. Ils aident à contrôler les populations de rongeurs et de insectes nuisibles.

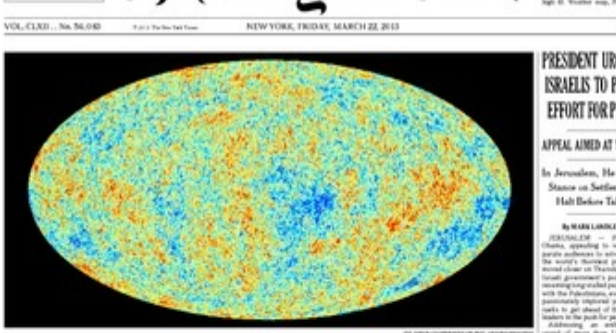
Le Monde.fr

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

Avec l'Internet des objets, le web sort du bocal. L'Internet des objets (IoT) permet de connecter des objets physiques à Internet, ce qui permet de collecter et d'analyser des données en temps réel. Cette technologie a de nombreuses applications, notamment dans les domaines de la santé, de l'industrie et de l'agriculture.

L'Internet des objets (IoT) permet de connecter des objets physiques à Internet, ce qui permet de collecter et d'analyser des données en temps réel. Cette technologie a de nombreuses applications, notamment dans les domaines de la santé, de l'industrie et de l'agriculture.

L'Internet des objets (IoT) permet de connecter des objets physiques à Internet, ce qui permet de collecter et d'analyser des données en temps réel. Cette technologie a de nombreuses applications, notamment dans les domaines de la santé, de l'industrie et de l'agriculture.



The Cosmos, Back in the Day

SAVING A CITY'S ARCHITECTURE

PLAYERS UNITED BIGGER CHECKS ON THE WAY

FLOYD NORRIS THE POLLY OF GIANT BANKS

International Herald Tribune

THE GLOBAL EDITION OF THE NEW YORK TIMES

Kurd leader issues a call for cease-fire with Turkey

Kurd leader issues a call for cease-fire with Turkey. The leader of the Kurdistan Workers' Party (PKK) has called for a cease-fire with Turkey, saying that the current conflict is not in the interests of either side. He has also called for negotiations to be resumed between the two sides.

The leader of the Kurdistan Workers' Party (PKK) has called for a cease-fire with Turkey, saying that the current conflict is not in the interests of either side. He has also called for negotiations to be resumed between the two sides.

The leader of the Kurdistan Workers' Party (PKK) has called for a cease-fire with Turkey, saying that the current conflict is not in the interests of either side. He has also called for negotiations to be resumed between the two sides.

Obama asks Israelis and Palestinians to talk again

Obama asks Israelis and Palestinians to talk again. President Obama has urged Israelis and Palestinians to resume talks, saying that the current conflict is not in the interests of either side. He has also called for negotiations to be resumed between the two sides.

President Obama has urged Israelis and Palestinians to resume talks, saying that the current conflict is not in the interests of either side. He has also called for negotiations to be resumed between the two sides.

President Obama has urged Israelis and Palestinians to resume talks, saying that the current conflict is not in the interests of either side. He has also called for negotiations to be resumed between the two sides.

Once rarity, women are U.S. Senate force

Once rarity, women are U.S. Senate force. Women are now a significant force in the U.S. Senate, with 19 women serving on the 100-member body. This is a significant increase from the 1970s, when there were only a few women in the Senate.

Women are now a significant force in the U.S. Senate, with 19 women serving on the 100-member body. This is a significant increase from the 1970s, when there were only a few women in the Senate.

Women are now a significant force in the U.S. Senate, with 19 women serving on the 100-member body. This is a significant increase from the 1970s, when there were only a few women in the Senate.

Better 'baby picture' of universe emerges

Supercomputer Helps Planck Mission Expose Ancient Light

Space Newsfeed

MICROCOM

SCIENCE

La carte de l'univers

La carte de l'univers. Une équipe de 350 astrophysiciens a publié la carte du cosmos, peu après le Big Bang. Cette carte, qui montre les fluctuations de température du rayonnement cosmologique, offre une vue inédite de l'univers jeune.

Une équipe de 350 astrophysiciens a publié la carte du cosmos, peu après le Big Bang. Cette carte, qui montre les fluctuations de température du rayonnement cosmologique, offre une vue inédite de l'univers jeune.

Une équipe de 350 astrophysiciens a publié la carte du cosmos, peu après le Big Bang. Cette carte, qui montre les fluctuations de température du rayonnement cosmologique, offre une vue inédite de l'univers jeune.

SCIENCE

La mappemonde de l'Univers

La mappemonde de l'Univers. Les scientifiques ont créé une mappemonde de l'univers, qui montre la distribution des galaxies et des amas de galaxies. Cette mappemonde a été créée à l'aide de données collectées par le satellite Planck.

Les scientifiques ont créé une mappemonde de l'univers, qui montre la distribution des galaxies et des amas de galaxies. Cette mappemonde a été créée à l'aide de données collectées par le satellite Planck.

Les scientifiques ont créé une mappemonde de l'univers, qui montre la distribution des galaxies et des amas de galaxies. Cette mappemonde a été créée à l'aide de données collectées par le satellite Planck.

Le Monde.fr

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

Par Rafi Halizian

IBM

La mappemonde de l'Univers

« Réponses et questions aux interrogations »

Le Monde.fr

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

Par Rafi Halizian

IBM

Le Monde.fr

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

Par Rafi Halizian

IBM

Entrevue papale du 12 mai 2017

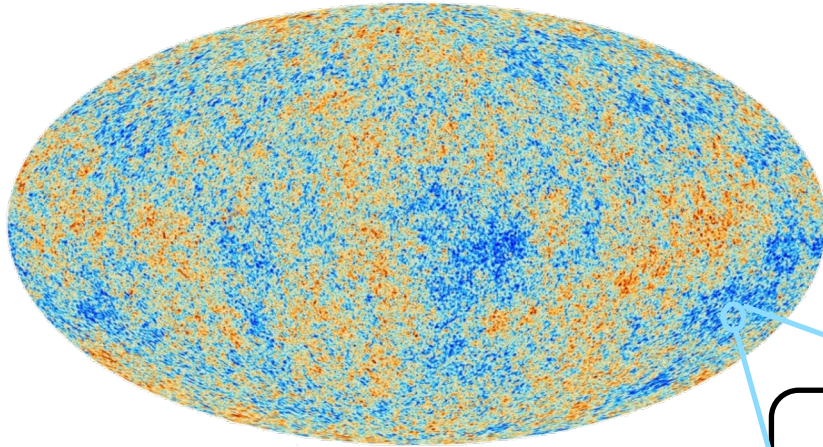


Lemaitre Conference @ Castel Gandolfo

Ce qu'en dit la théorie...

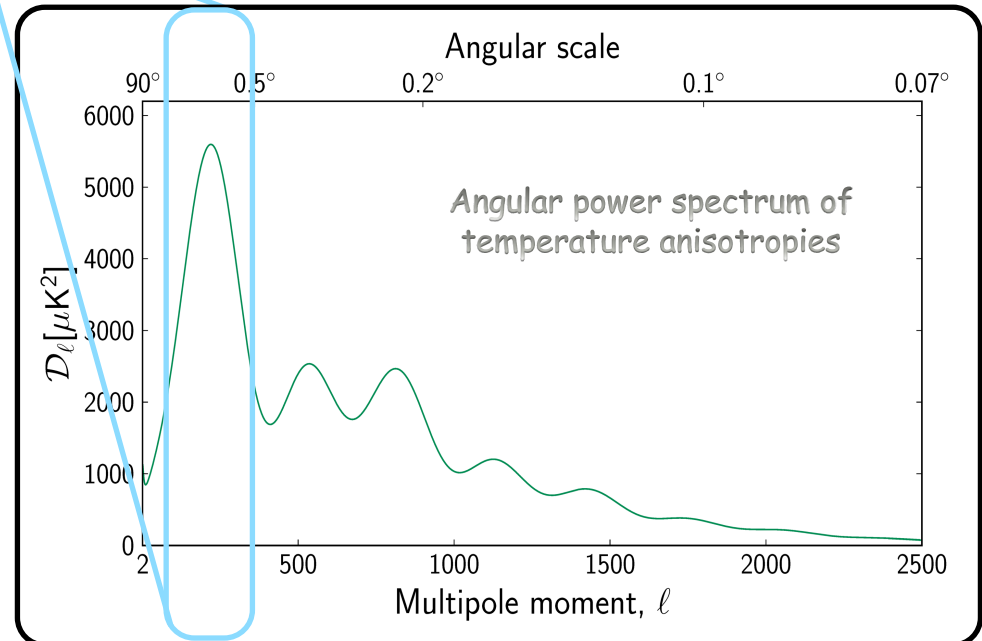


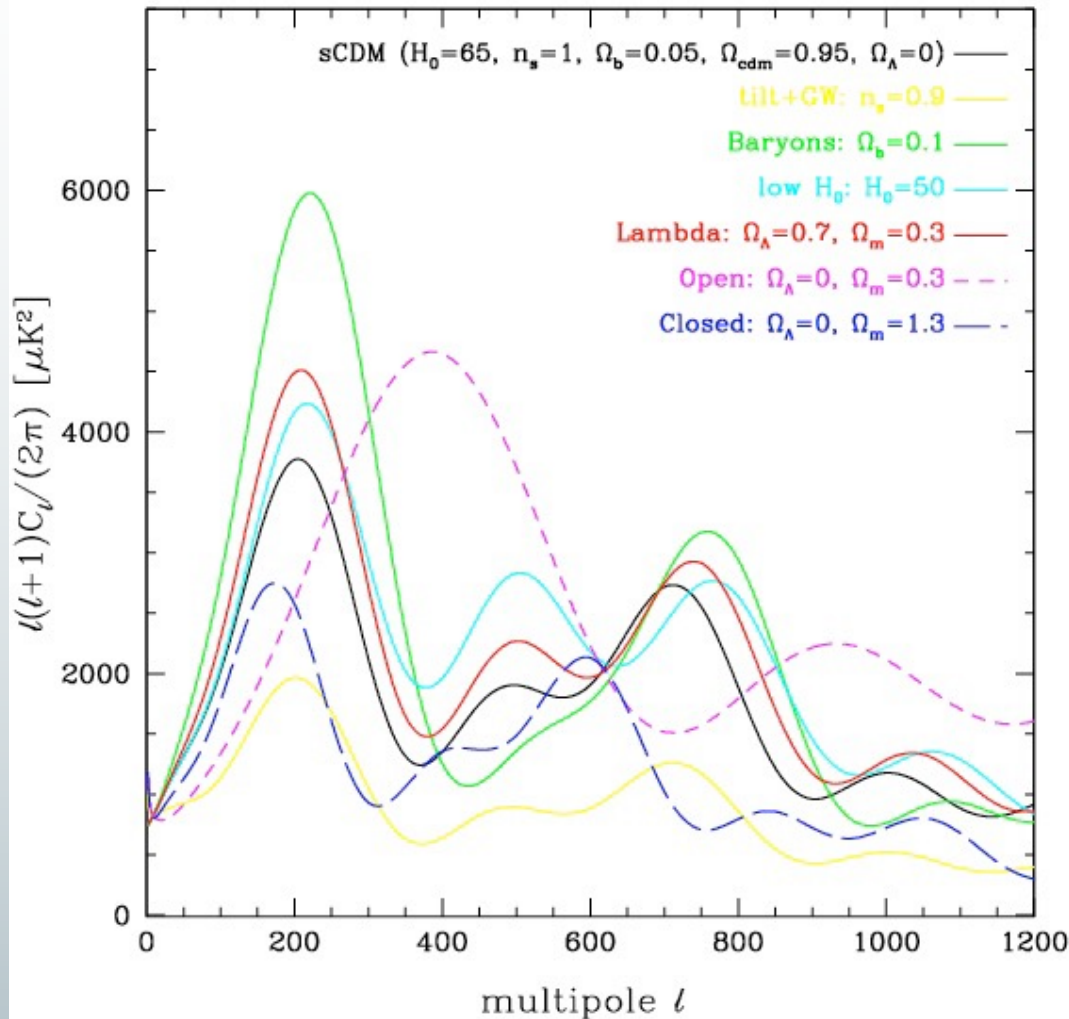
(bien avant les observations...)



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

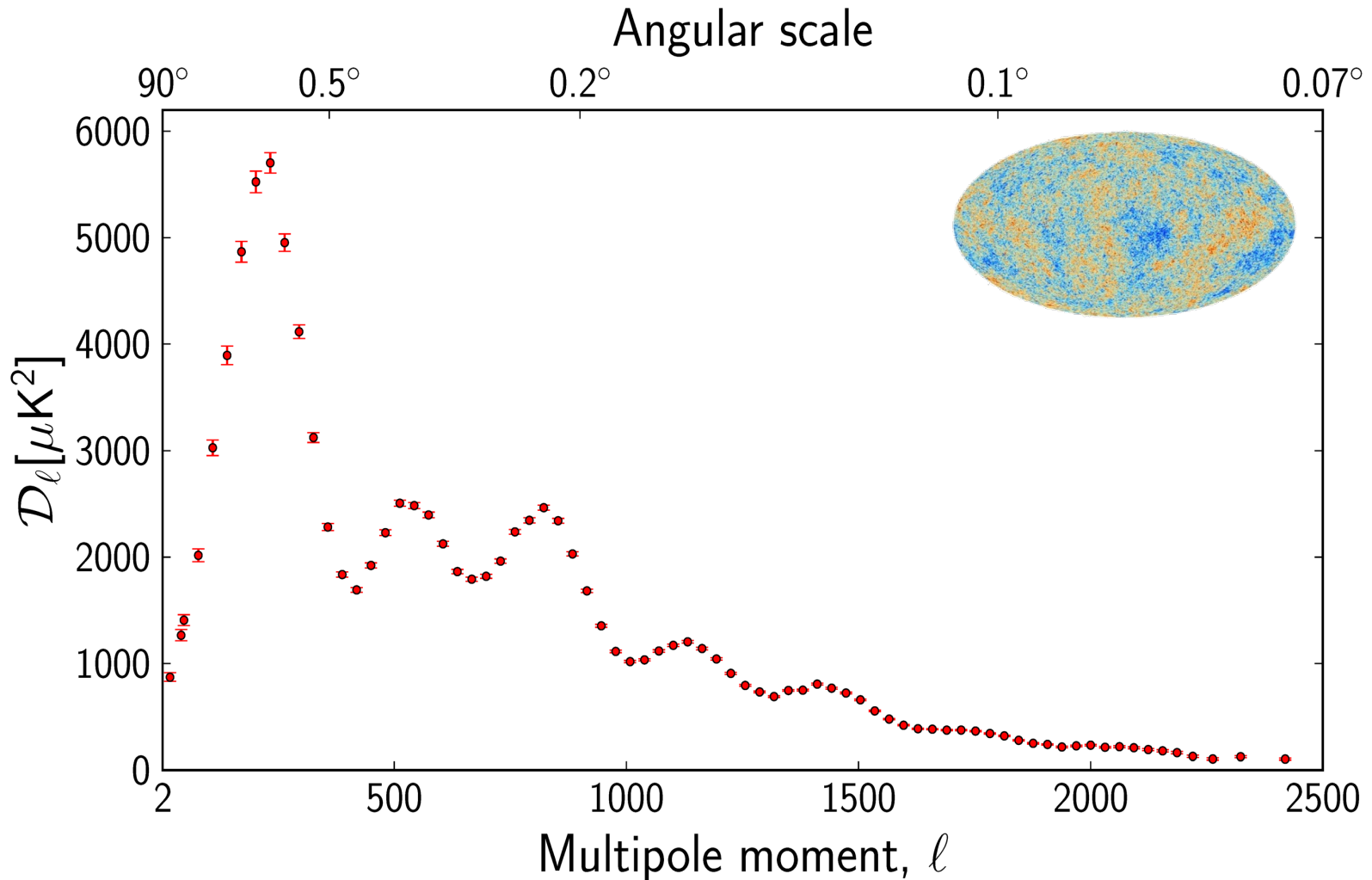
Mais on peut prédire ses propriétés statistiques !
(comme par exemple la hauteur typique des vagues en fonction de leur distance crête à crête)

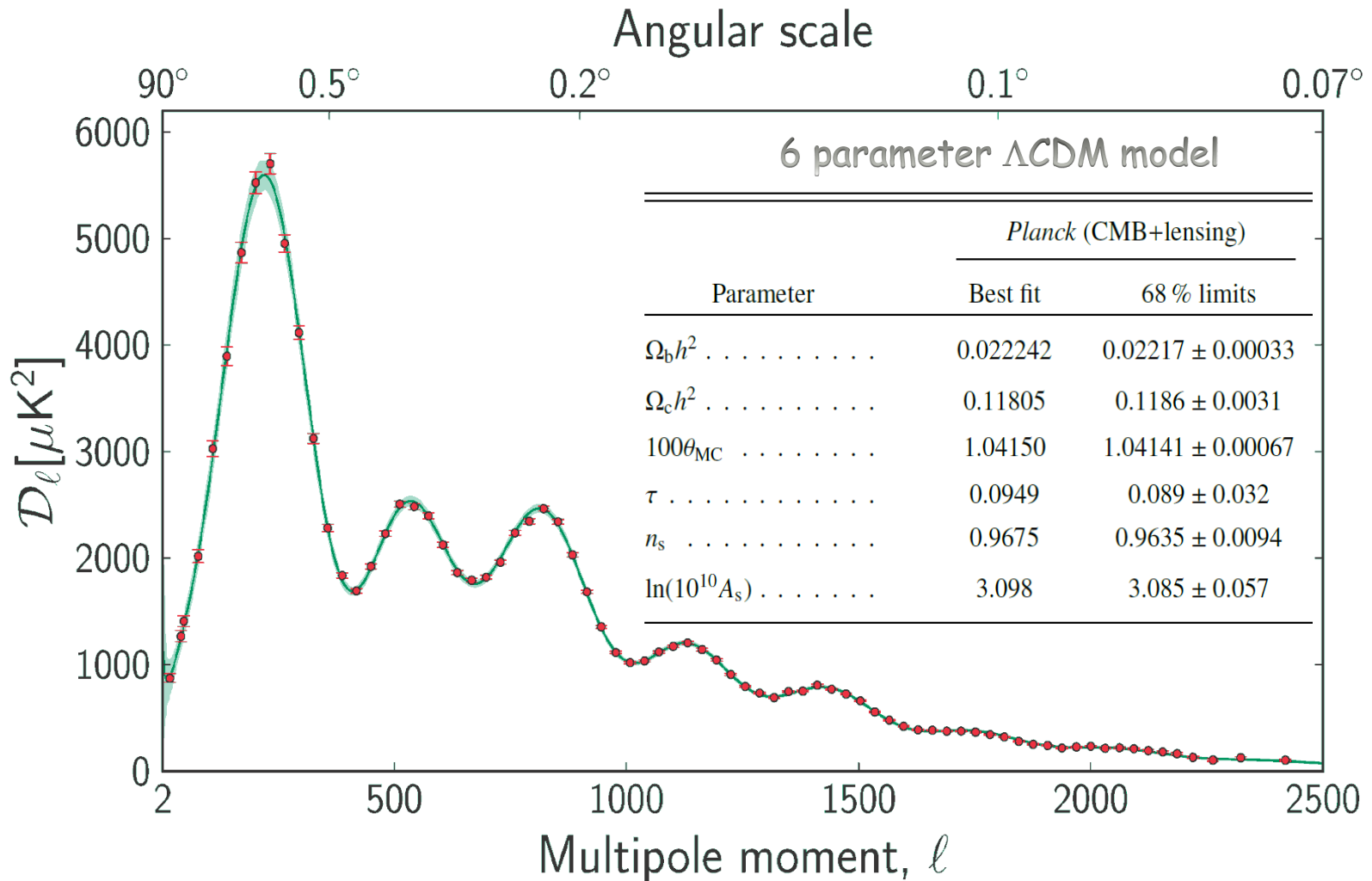




Peebles, Yu, Sachs & Wolf, Sunyaev, Zeldovich, Silk, Vittorio, Wilson, Mukhanov, Chibisov, Bardeen, Linde, Bond, Efstathiou, Bouchet, Bennett, Gott, Kaiser, Stebbins, Allen, Shellard, Seljack, Zaldariaga, Kamionkowski, Hu, ...

Le spectre de Puissance des anisotropies de température mesuré par Planck





- ~ 900 milliards d'échantillons dans ~100 flots temporels
- 9 cartes de ~50 million de pixels chacune (23 avec Polar.)
- 1 carte du cmb de ~50 million pixels (+celles P)
- 2 million de modes harmoniques ($2l+1$ m-modes par l)
- Ajustés avec seulement 6 paramètres!
- *Sans nécessité d'un 7^{eme}...*

COMPOSITION De L'UNIVERS

TEMPS

aujourd'hui

Inflation
(pendant le Big-Bang)

AVANT PLANCK

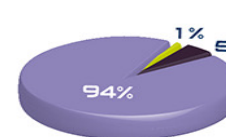
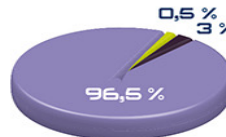
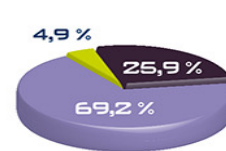
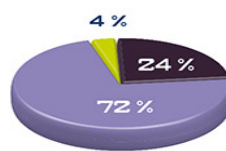
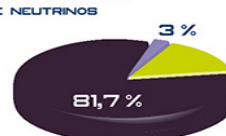
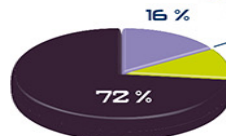
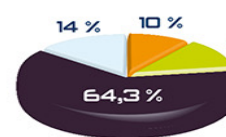
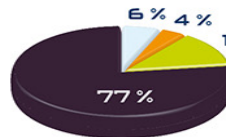
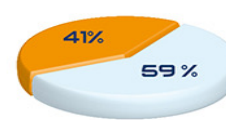
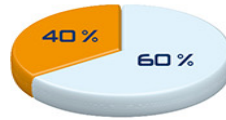
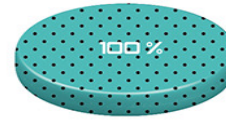
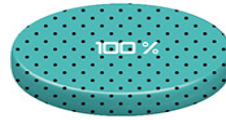
AVEC PLANCK

3 minutes
après le Big-Bang

400 000 ans
après le Big-Bang

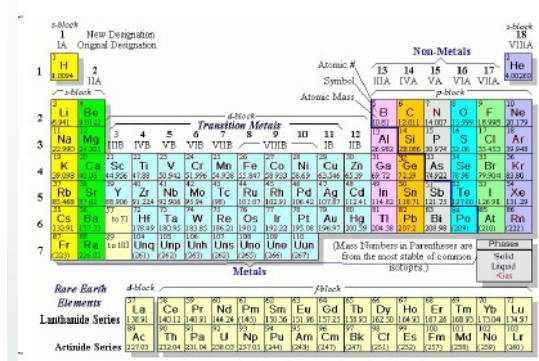
2 milliards d'années
après le Big-Bang

Dans 10 milliards d'années



■ Inflaton
 ■ Rayonnement
 ■ Neutrinos
 ■ Matière ordinaire
 ■ Matière sombre
 ■ Energie sombre

Nous
(et tous les éléments)
ne sommes qu'une toute
petite minorité de
l'Univers, ~5%...

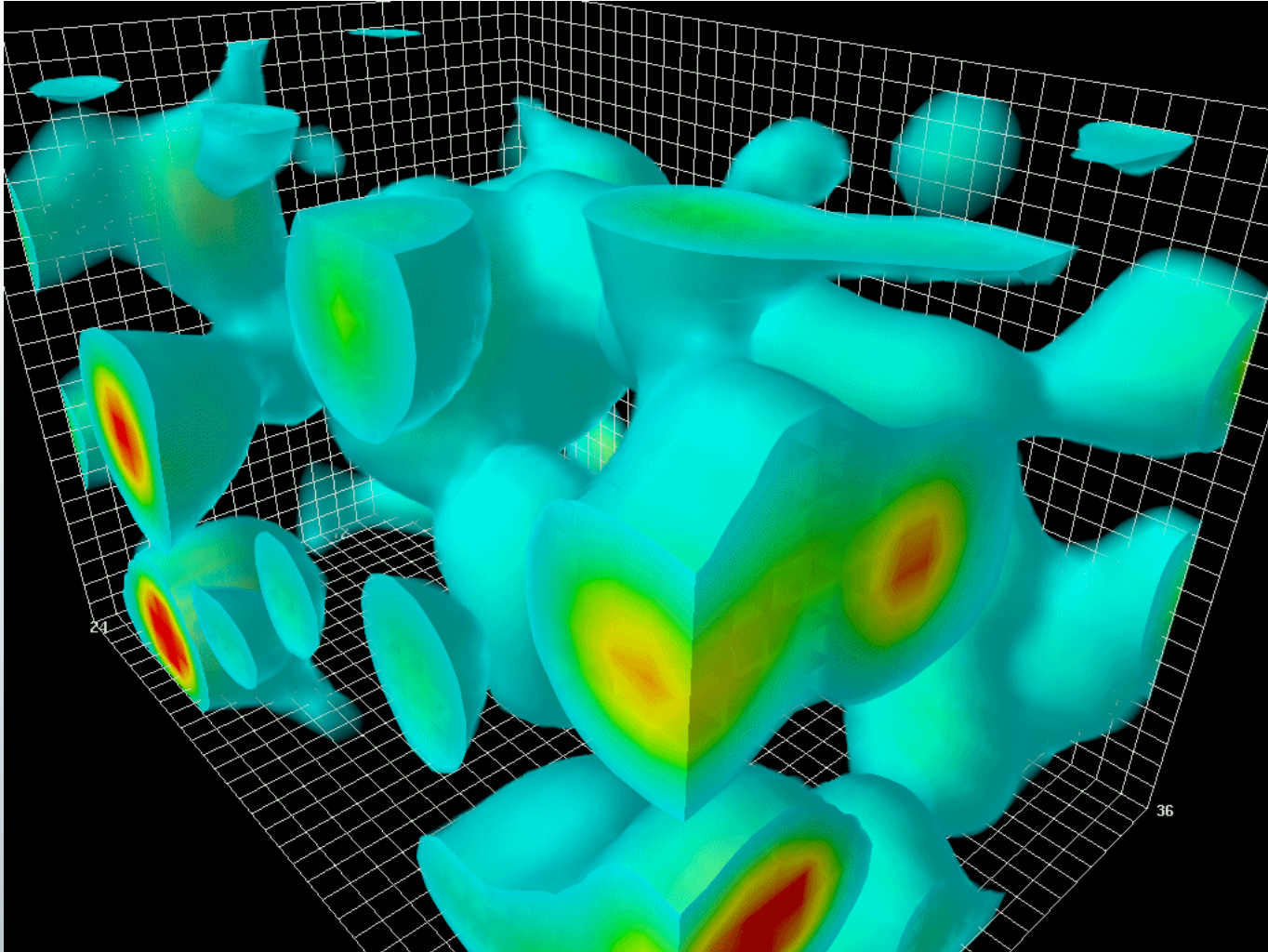


*Et on ne sait pas grand chose sur les 95% restants...
(Mais c'est quand même mieux que de ne se douter de rien)*

En route vers le grand froid?

Enfants du vide...

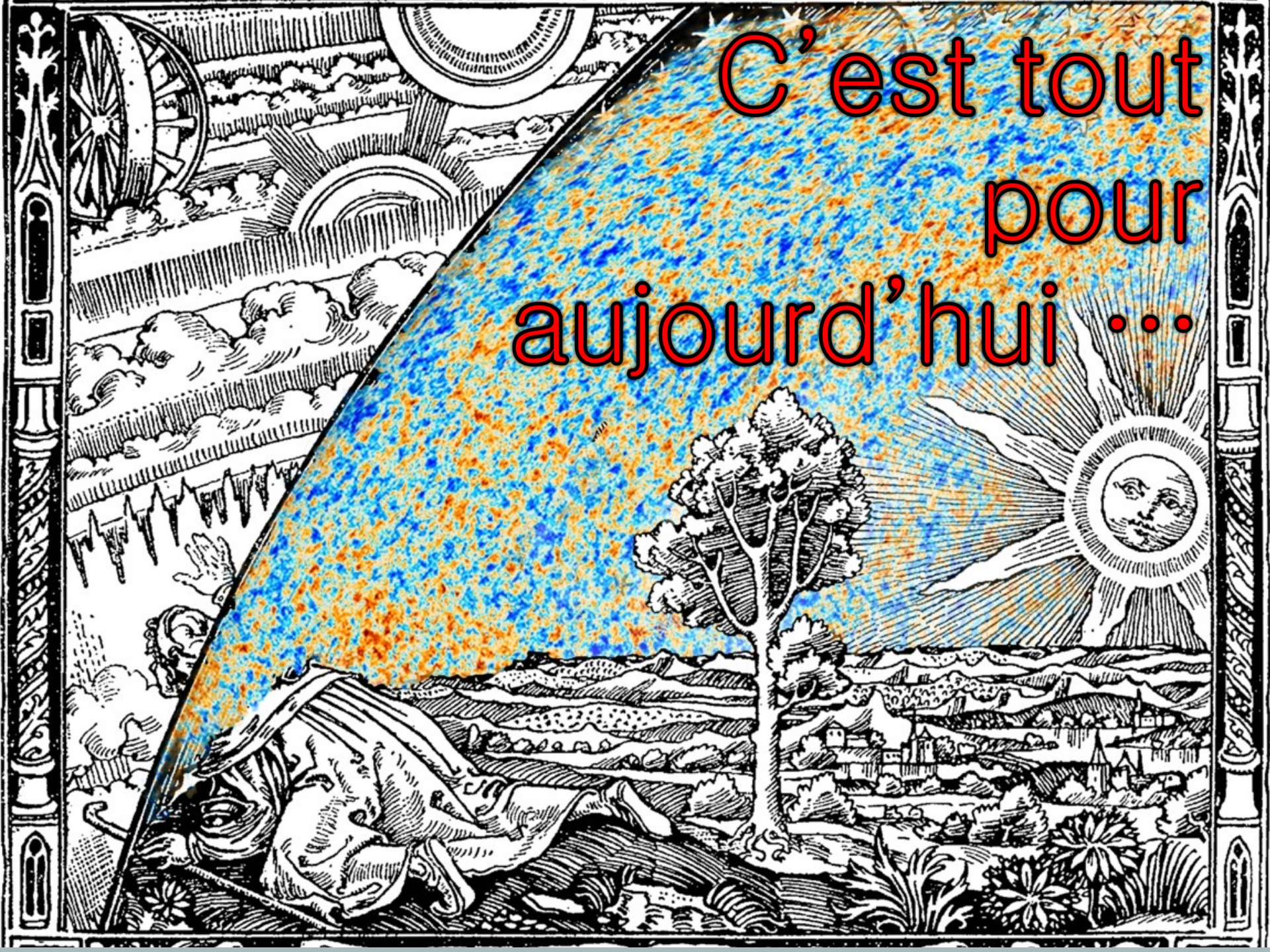
Le vide (quantique) primordial est le siège de fluctuations irrépressibles



Simulation QCD du Prof. Derek Leinweber

Ces fluctuations de densité d'énergie du vide vont initier la marche vers la complexité

C'est tout
pour
aujourd'hui ...



Mais la
quête
continue !

