



Cosmologie observationnelle avec le satellite PLANCK: Réionisation et impact des erreurs systématiques

Lilian SANSELME
LPSC Grenoble

Partie I : La Réionisation

Une étape de l'histoire de l'Univers : la Réionisation
L'impact de la Réionisation sur le CMB

Partie II : Le satellite Planck et l'instrument HFI

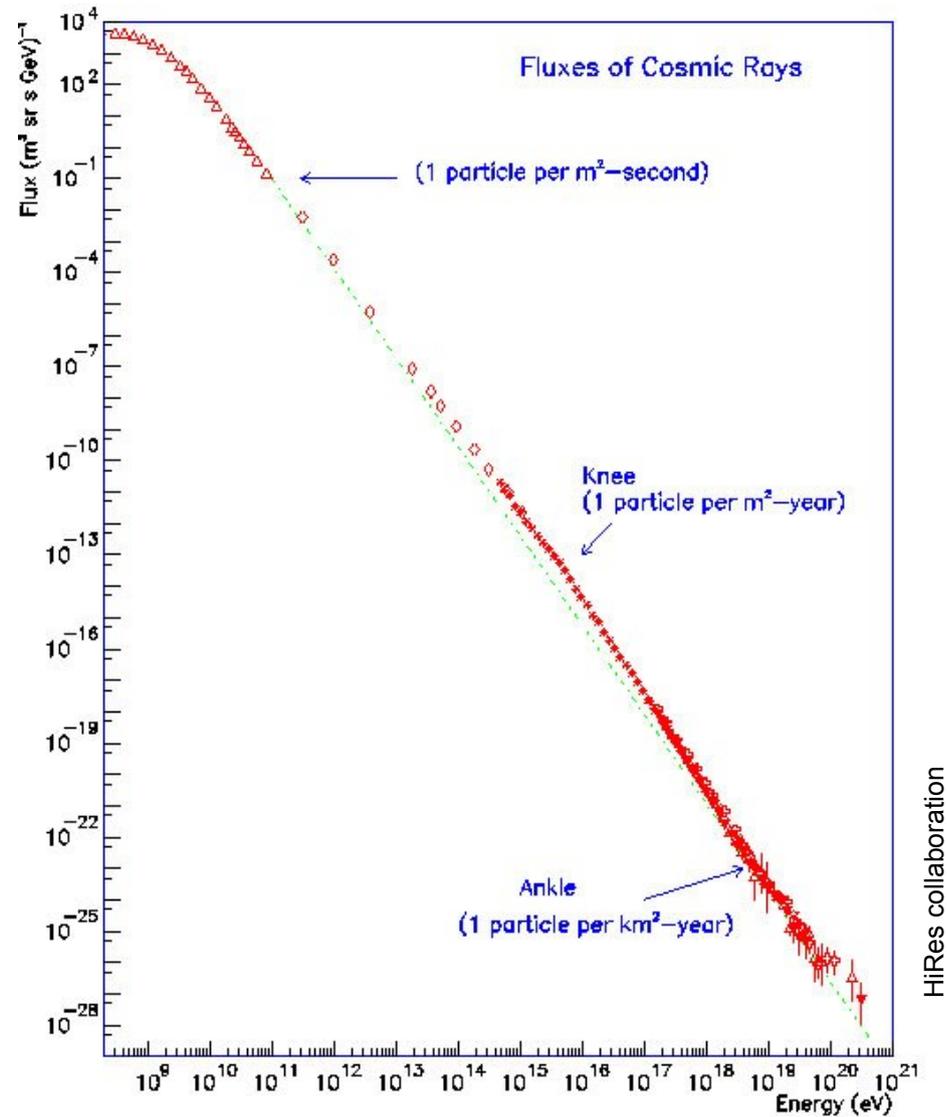
Le satellite Planck
L'instrument Planck-HFI

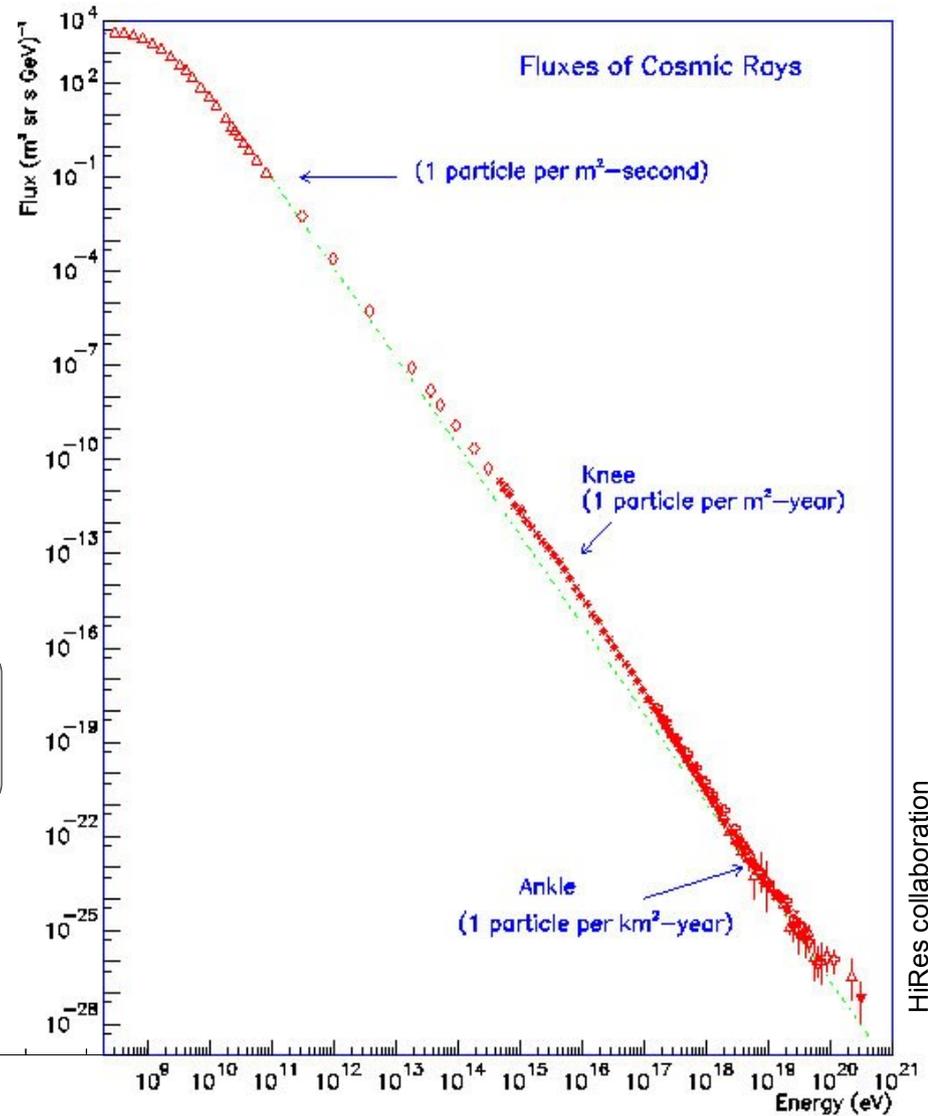
Partie III : Des données brutes aux données corrigées

La chaîne d'analyse de Planck
Des données brutes aux données corrigées
Un estimateur de bruit

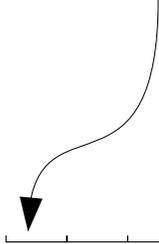
Conclusion







Google  **3 kelvin * Boltzmann constant = 0.258520269 millielectron volts**
[Plus d'infos sur la fonction calculatrice](#)



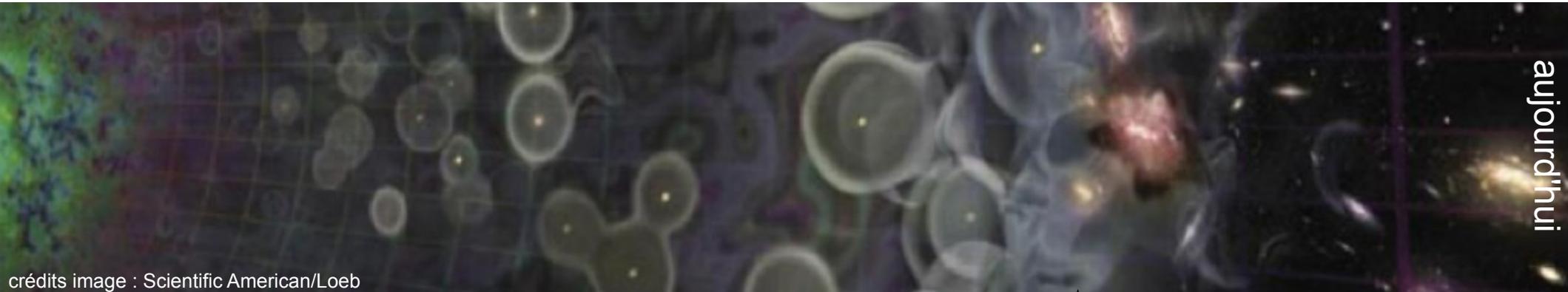


Partie I : La Réionisation

$z = 1100$: recombinaison

$z = 6\sim 10$

$z = 0$



aujourd'hui

Univers neutre

Réionisation

Univers ionisé

- L'univers est devenu neutre lors de la recombinaison...
- ...mais est actuellement complètement ionisé
- Explication(s) :
 - Naissance des premières étoiles :
7 GeV par protons consommés (il en faut 13,6 eV pour ioniser l'hydrogène.)
 - et/ou création des trous noirs géants : processus 10 fois plus "efficace"Convertir 10^{-5} de la masse baryonique est suffisant pour ioniser le milieu intergalactique !
 - [matière noire, et modèles plus exotiques]
- Modèles théoriques compliqués : formation des structures ; formations d'étoiles ; transfert radiatif, ... à la limite astrophysique/cosmologie.

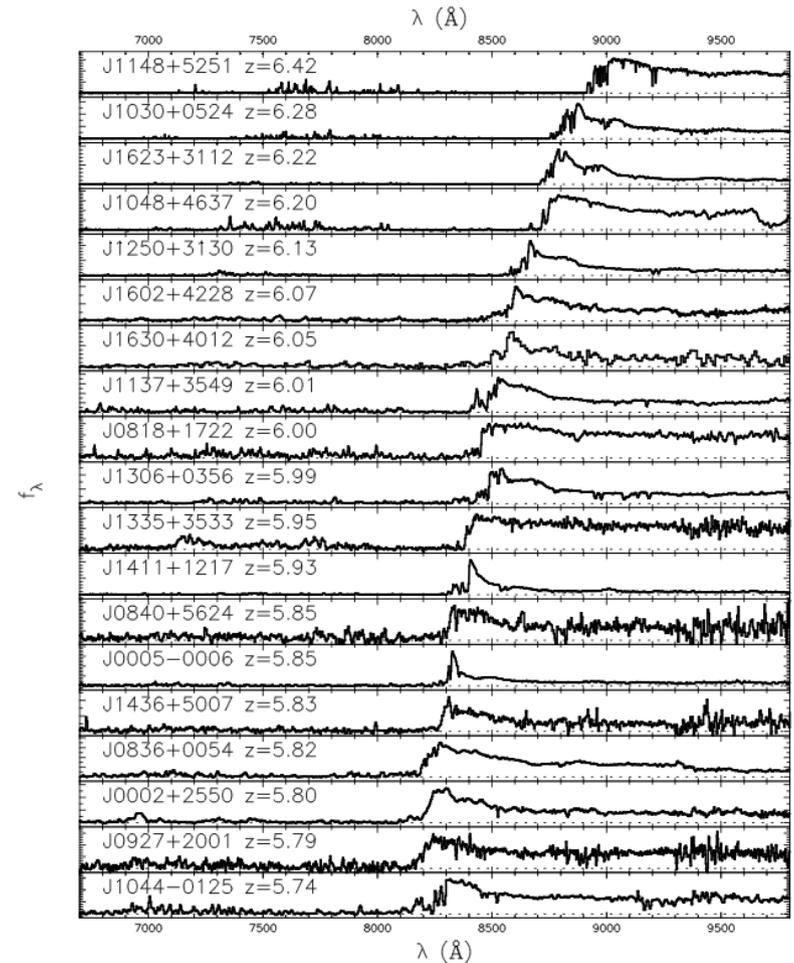
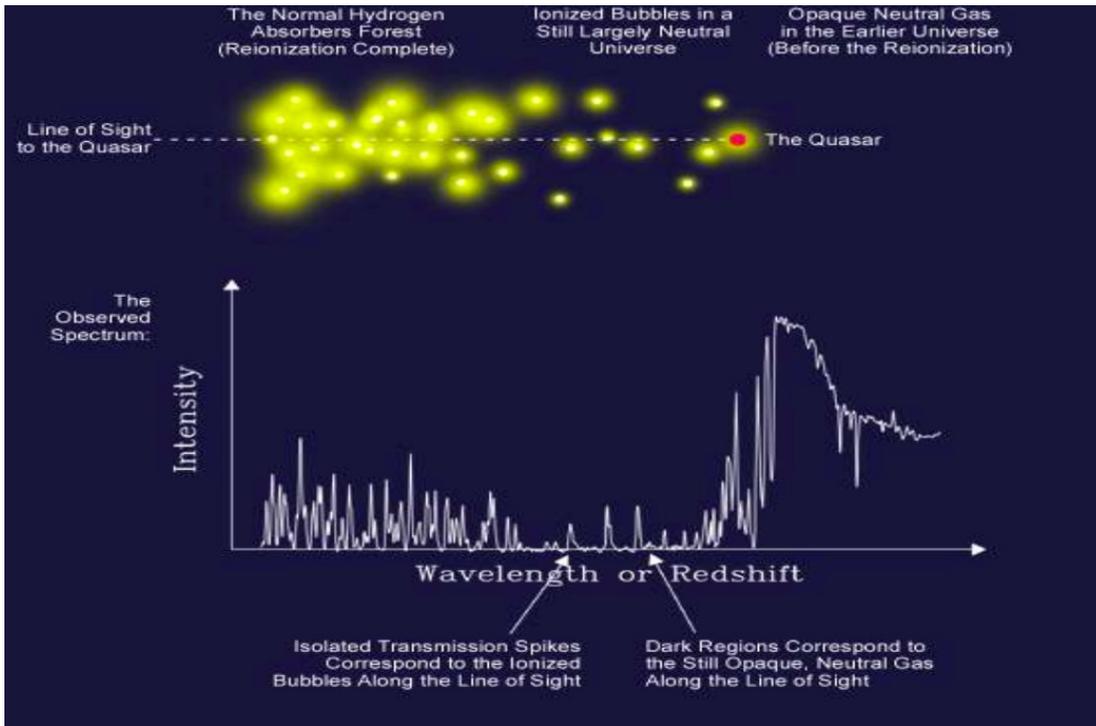
L'effet Gunn-Peterson :

Il prouve que l'Univers est aujourd'hui ionisé :

→ Les quasars de décalage vers le rouge > 6 présentent tous des raies d'absorption caractéristiques de la présence d'hydrogène atomique neutre le long de la ligne de visée.

→ Les quasars proches ne présentent pas ces raies : la matière le long de la ligne de visée est entièrement ionisée.

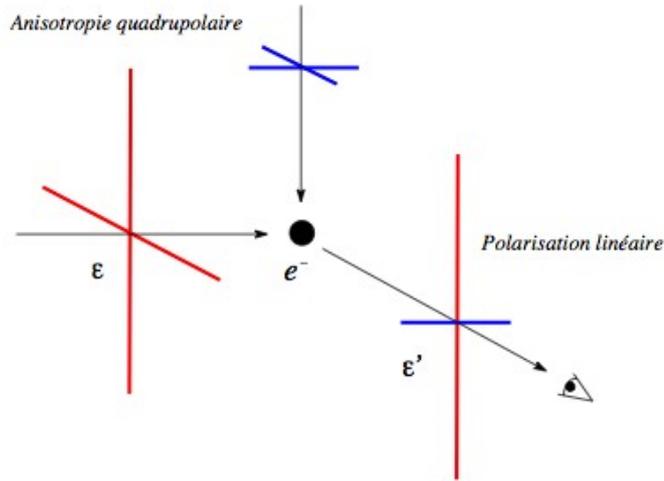
SG Djorgovski and Digital Media Center, Caltech



0512.082v2 Fan & al.

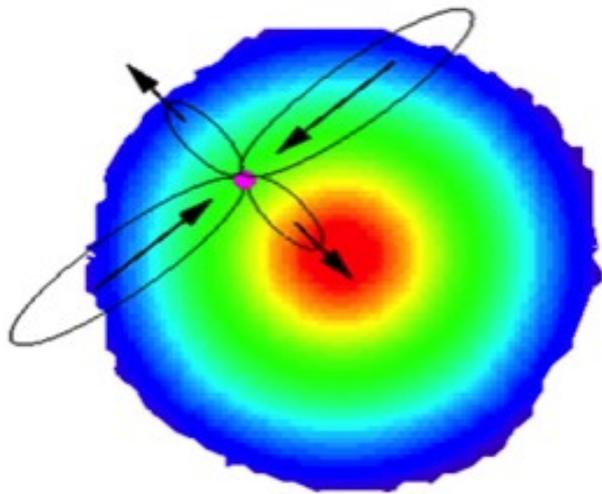
La polarisation du CMB :

La section efficace de la diffusion Thomson dépend de la polarisation : $\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{3\sigma_T}{8\pi} |\epsilon \cdot \epsilon'|^2$

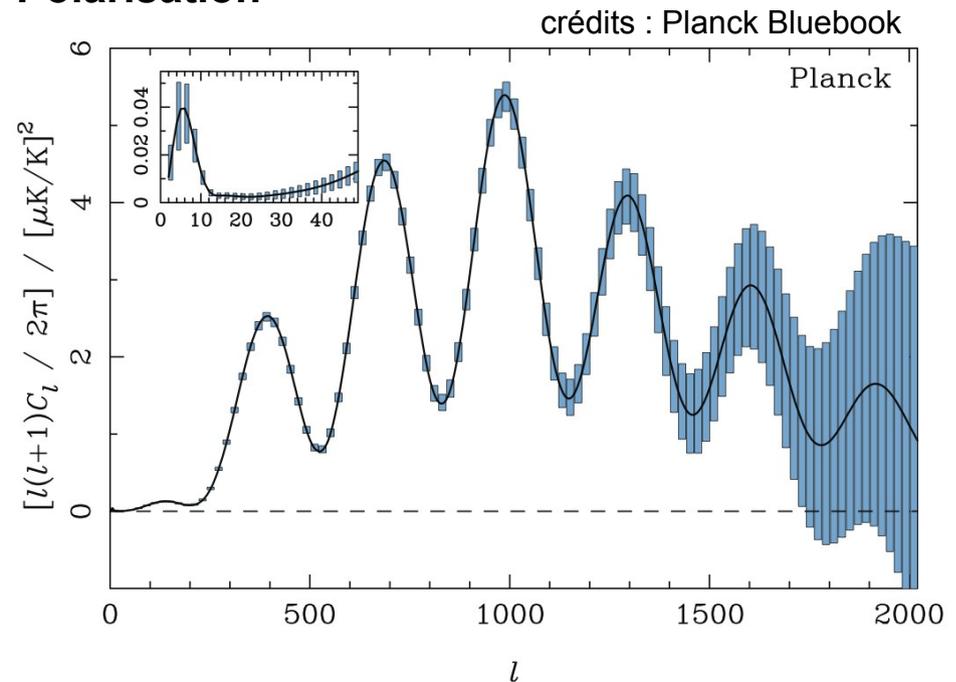


Quand la matière tombe sur une surdensité, ce déplacement est vu comme un quadrupôle par les électrons :
direction de polarisation privilégiée transmise au dernier photon diffusé.

→ **Polarisation**



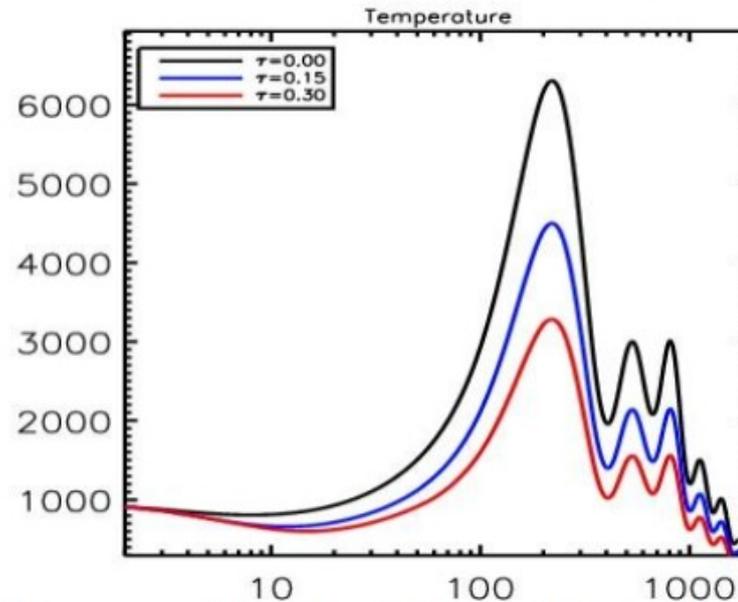
crédits : N. Ponthieu



Spectre de puissance EE avec des cartes pur CMB. Test de l'adiabaticité et de la Réionisation.

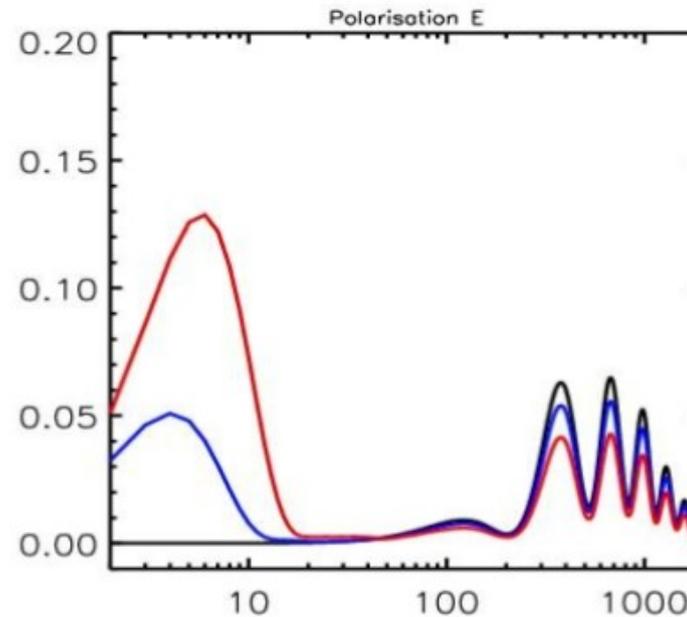
La Réionisation diminue globalement l'amplitude des pics du spectre en température car elle « détourne » une fraction des photons du CMB qui interagissent avec ces électrons libres → **dégénérescence avec d'autres paramètres**

Suppression of TT power @high-l



= 0 (pas de Réionisation)
= 0.15
= 0.30

New peak in EE, BB and TE @low-l



crédits images M. Langer

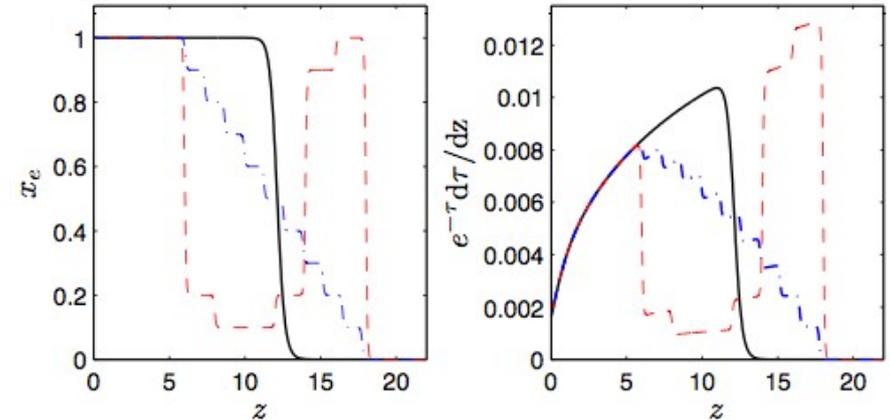
En polarisation, il y a un pic supplémentaire qui s'ajoute : il correspond à la taille de l'horizon sonore au moment de la Réionisation.

- L'épaisseur optique τ est une mesure de la fraction d'énergie redistribuée le long de la ligne de visée depuis la recombinaison.

$$\tau(z) = \sigma_T c \int_{t(z)}^{t_0} n_e(t) dt \propto \int_0^z \frac{(1+z)}{H(z)} x_e(z) dz \text{ où } x_e \text{ est la fraction d'électrons libres.}$$

- WMAP : Mesure de l'épaisseur optique τ dans le cas d'une réionisation instantanée : $x_e(z) = 1$ si $z > z_{réio}$, $x_e(z) = 0$ sinon.

Input du MCMC : histoire de l'ionisation

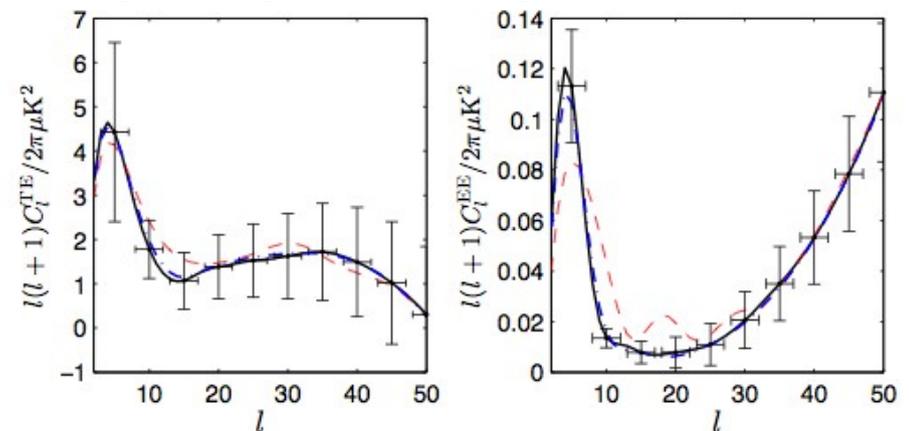


- On peut en principe aller beaucoup plus loin avec le CMB, comme distinguer différents scénarios qui ont la même épaisseur optique.

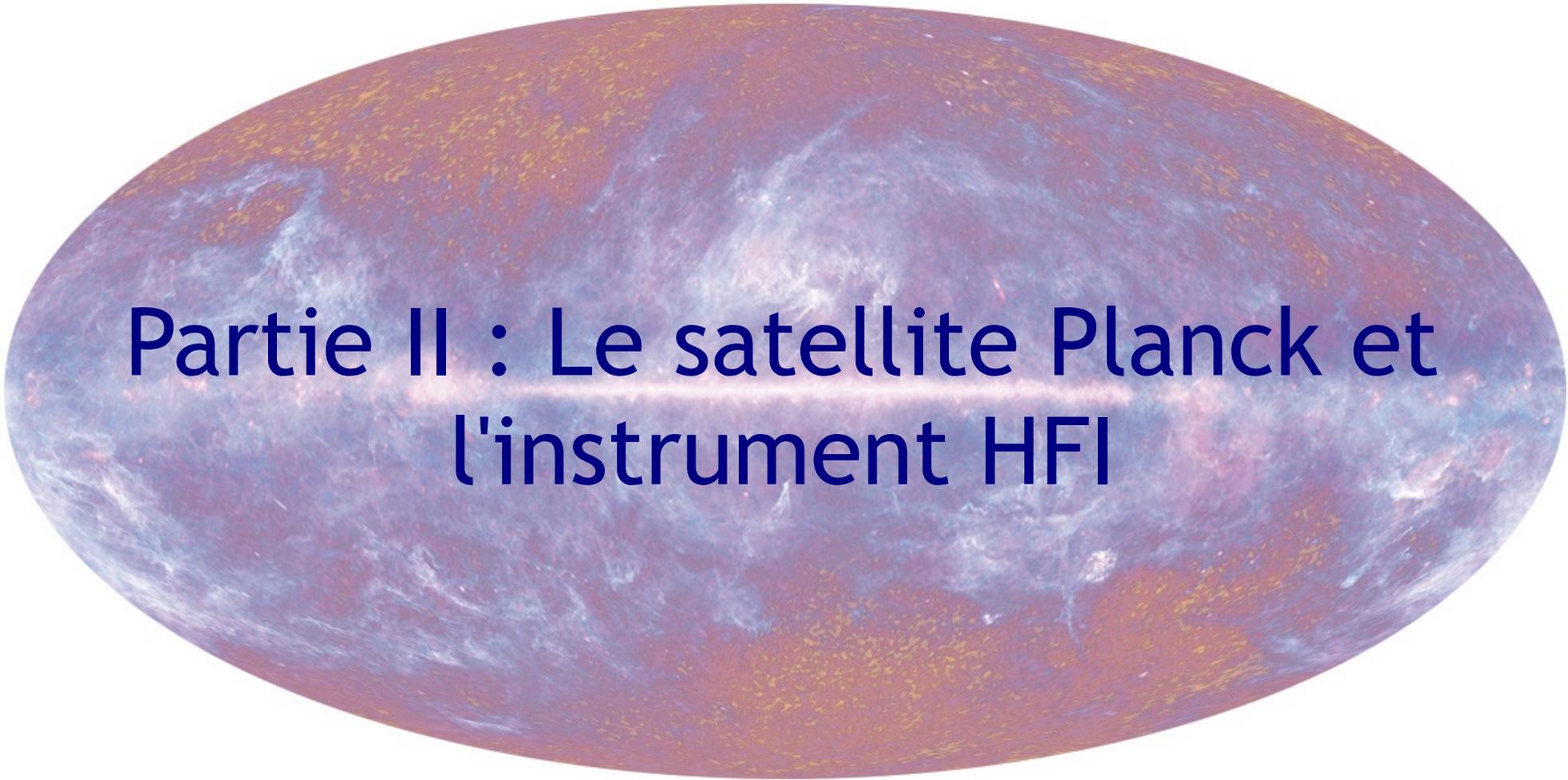
C'est par exemple possible en échantillonnant la fraction d'électrons libres :

$$\text{pour } z_i - \frac{\Delta z}{2} < z < z_i + \frac{\Delta z}{2} \text{ , } x_e(z) = x_i$$

Output : spectres en polarisation



A.M. Lewis, J. Weller and R.A. Battye

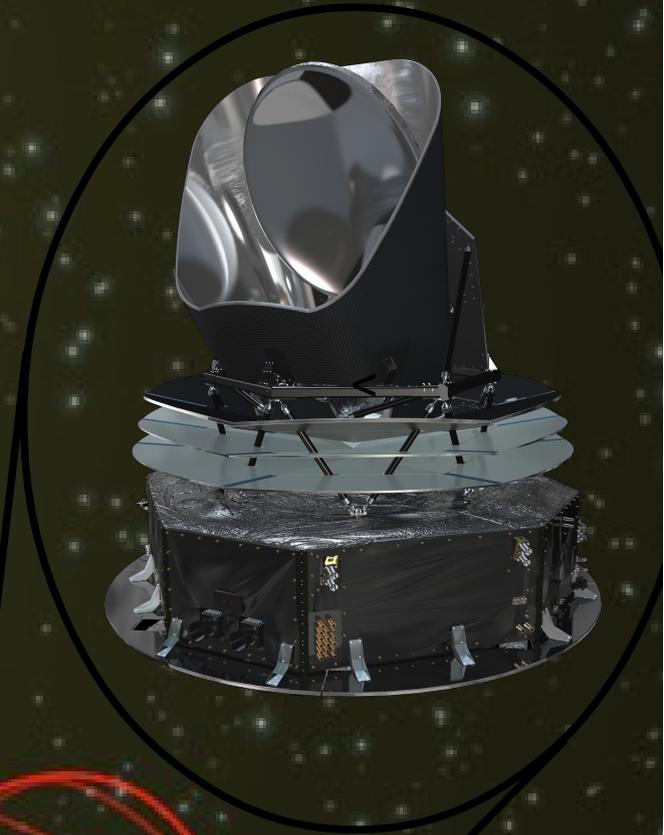


Partie II : Le satellite Planck et l'instrument HFI

Autour du point L2 de Lagrange

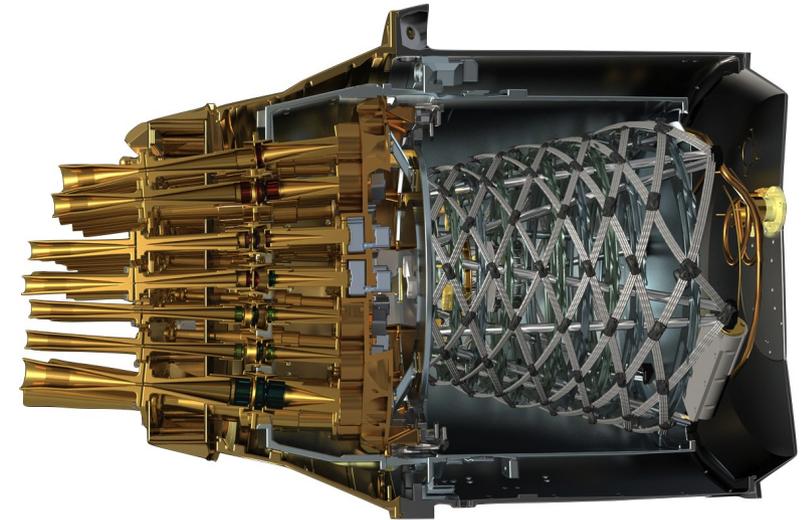


Lancement le 14 mai 2009



Planck voit le ciel à 9 fréquences différentes :

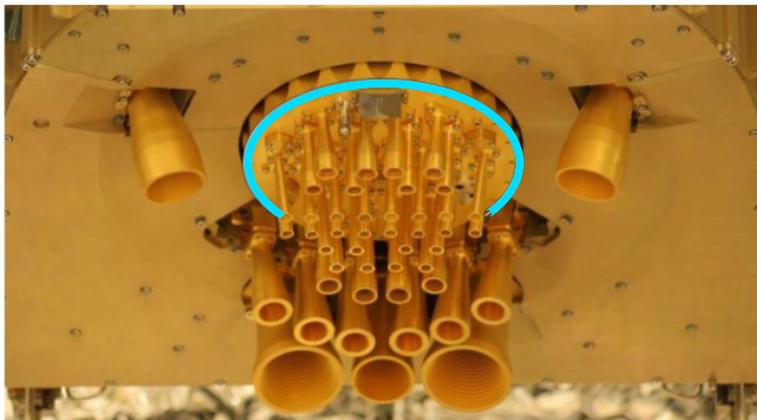
fréquence [GHz]	30	44	70	100	143	217	353	545	857
Résolution angulaire (arcmin)	32.65	27.92	13.01	9.37	7.04	4.68	4.43	3.80	3.67
Nombre de détecteurs	4	6	12	8	11	12	12	3	3



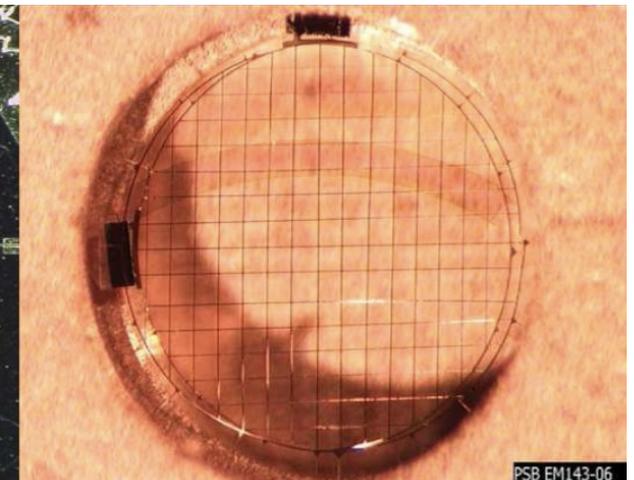
Coupe de l'instrument HFI: cornets, filtres, bolomètres et le système cryogénique à 0.1K

crédits images : JPL / ESA / Luca Valenziano IASF-BO/INAF

Low Frequency Instrument High Frequency Instrument



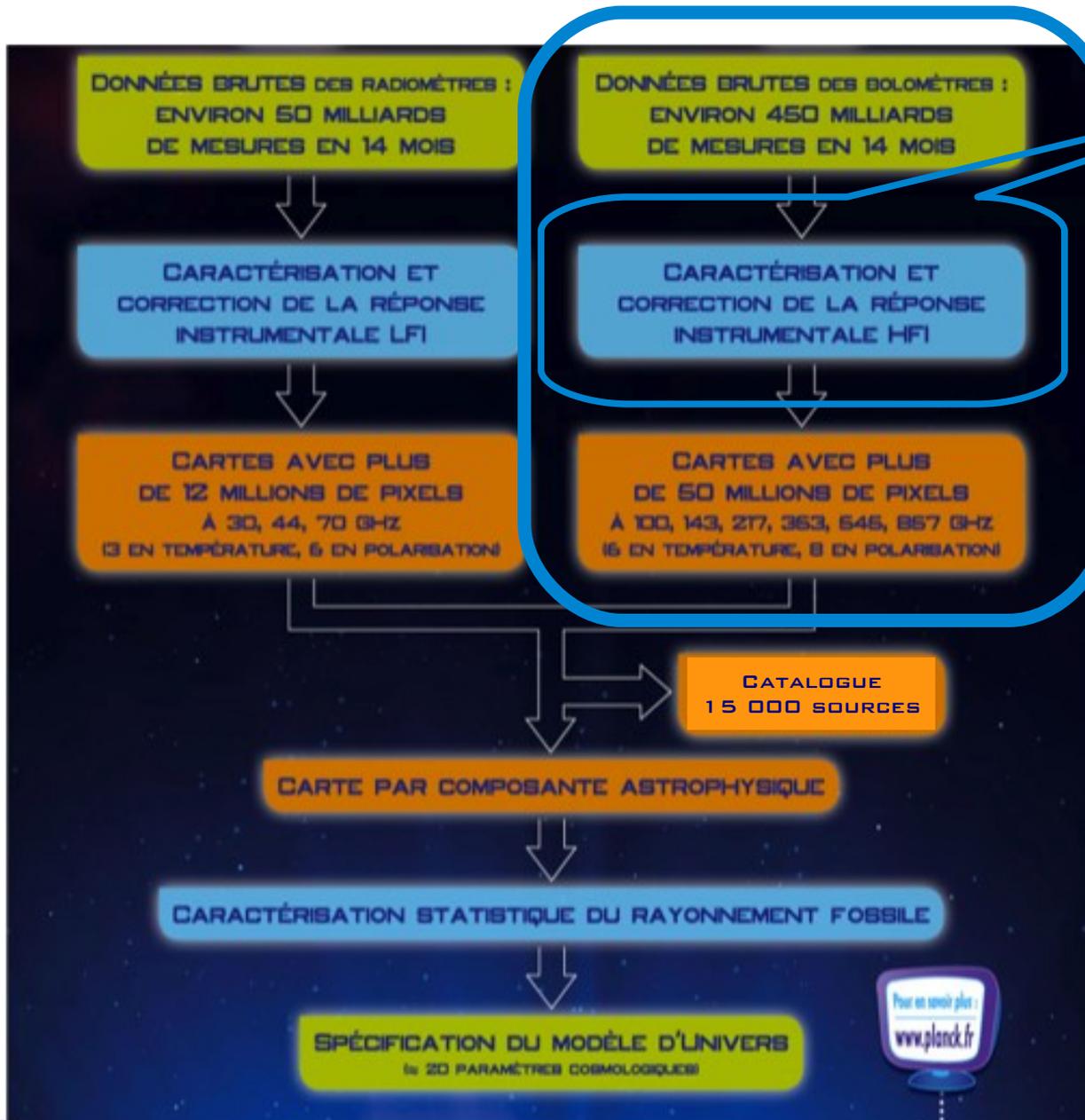
Position de HFI dans le plan focal de Planck



2 types de bolomètres, sensibles ou non à la polarisation



Partie III : Des données brutes aux données corrigées

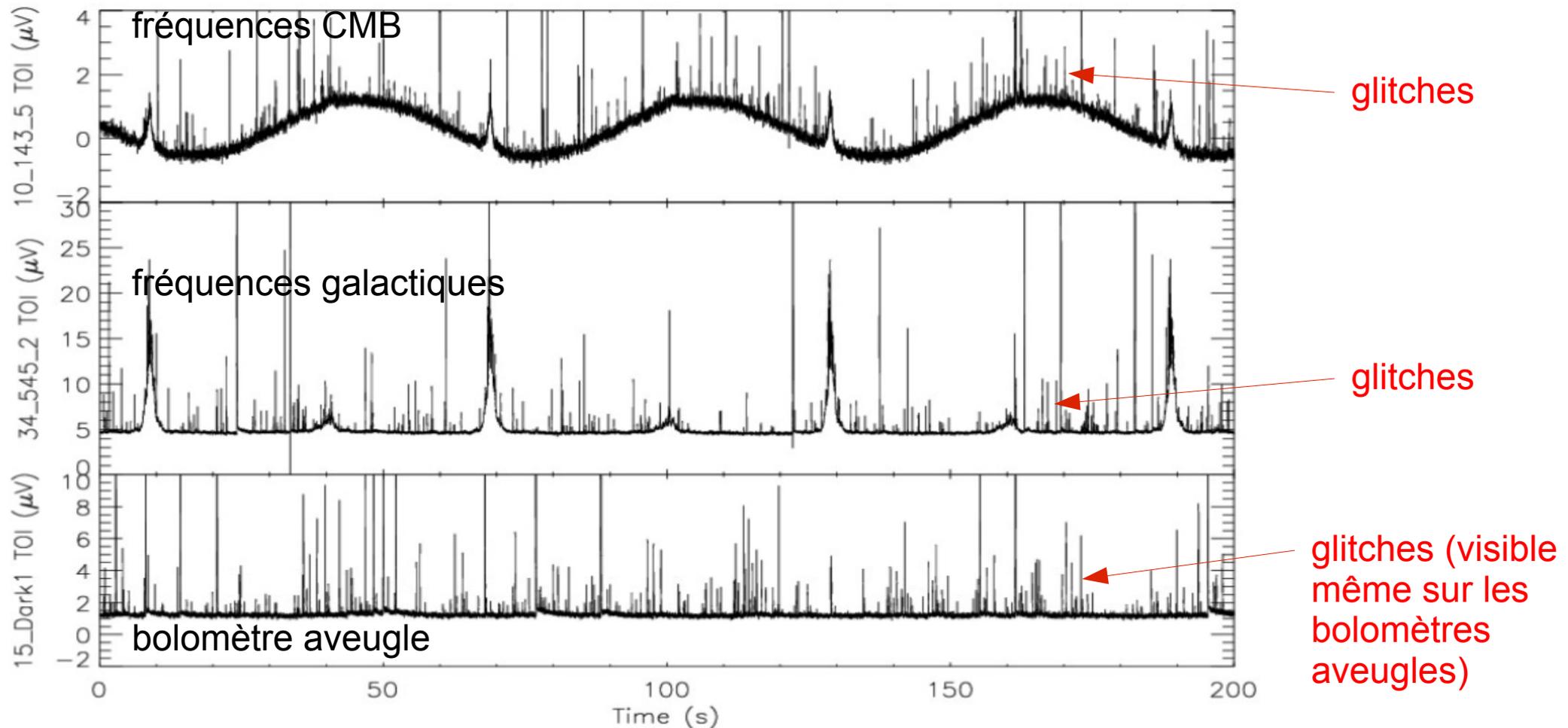


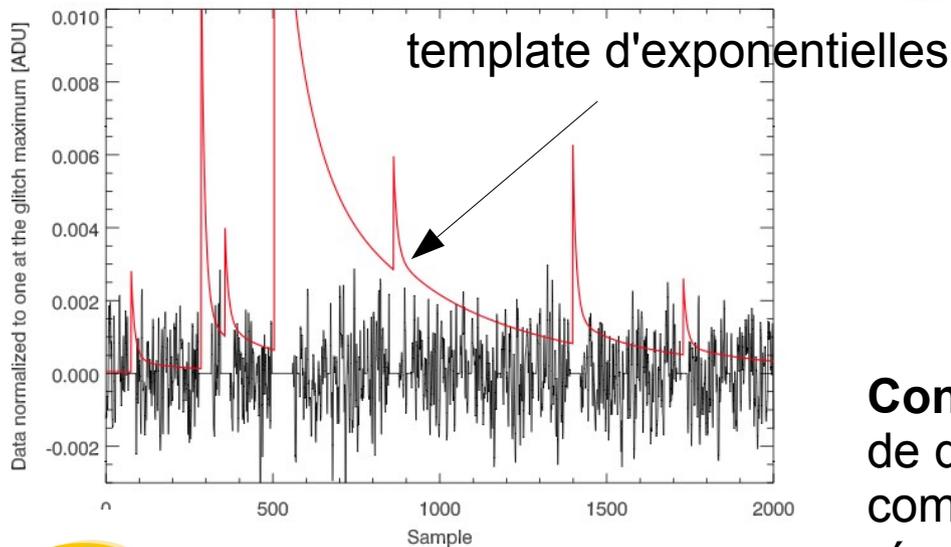
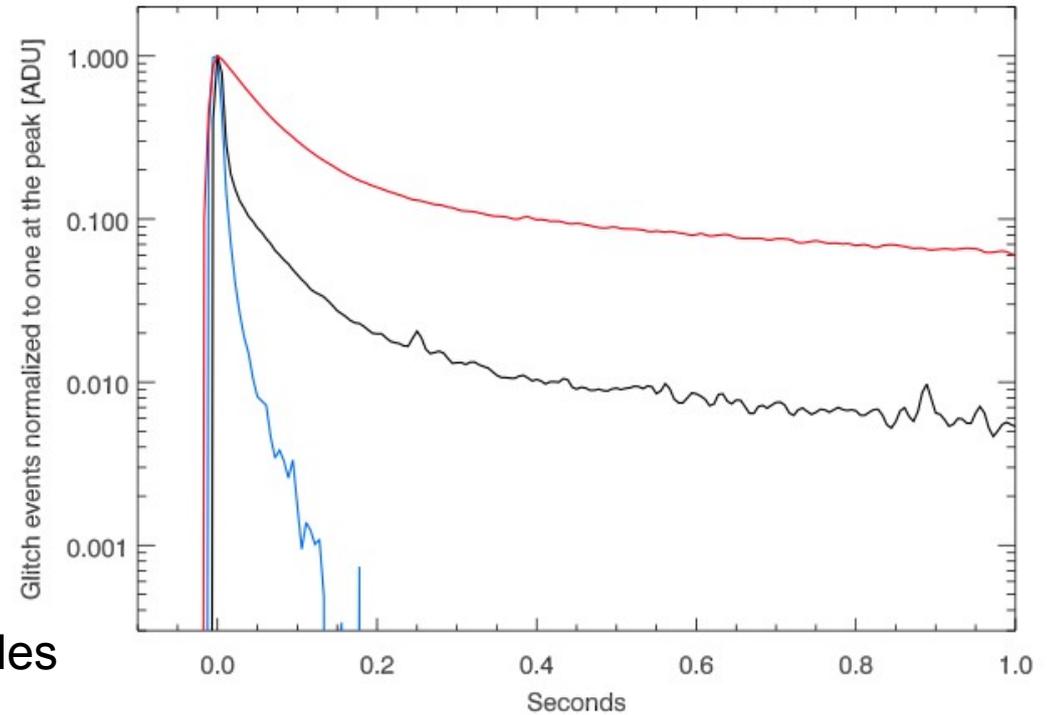
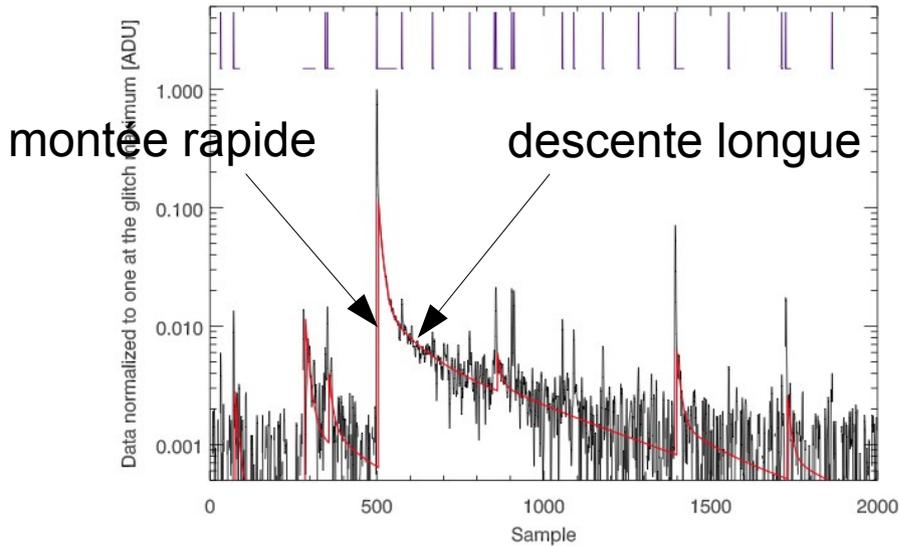
Étude des données ordonnées en temps.

- "deglitching"
- correction de gain
- décorrelation des effets thermiques
- fonction de transfert

HFI

Données brutes (3min20) pour un bolomètre "CMB", un bolomètre "Galactique", et un bolomètre "aveugle" :





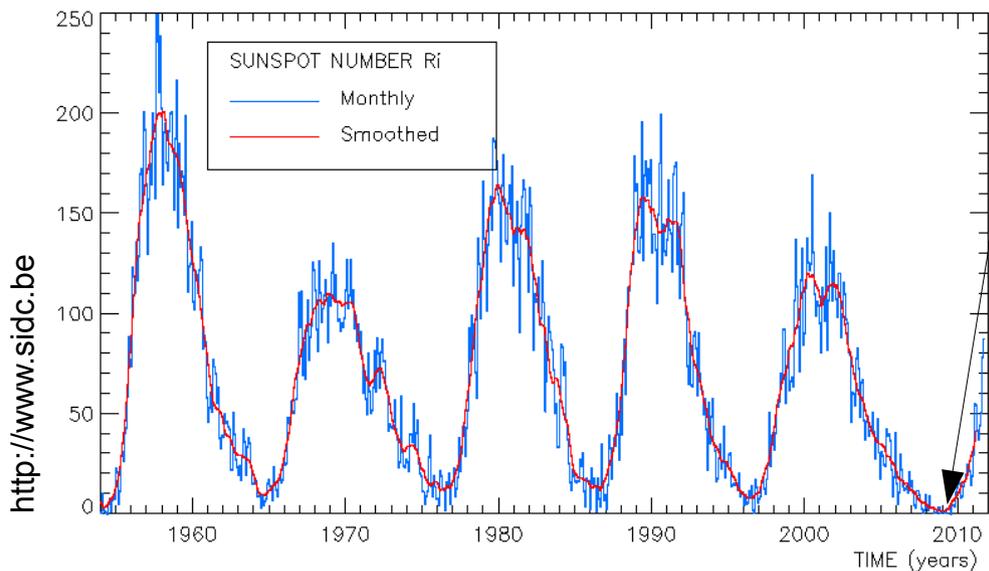
Différentes "familles" de glitches

- courts
- longs
- longs + courts

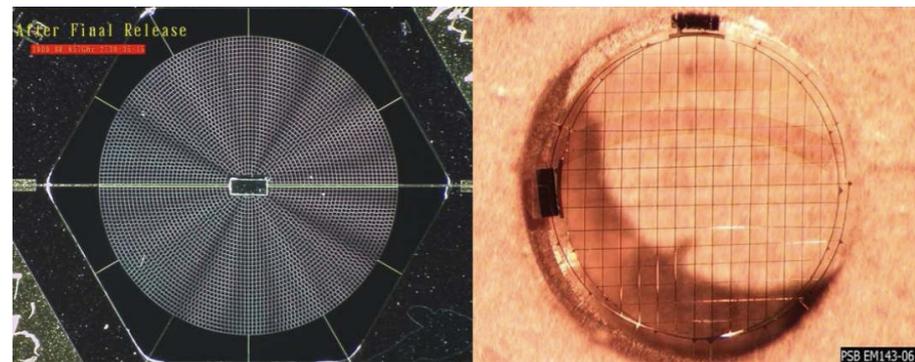
Conclusion : étiquetage et correction sont de qualité suffisante pour ne pas compromettre l'exploitation scientifique des résultats.

Explication : les rayons cosmiques.

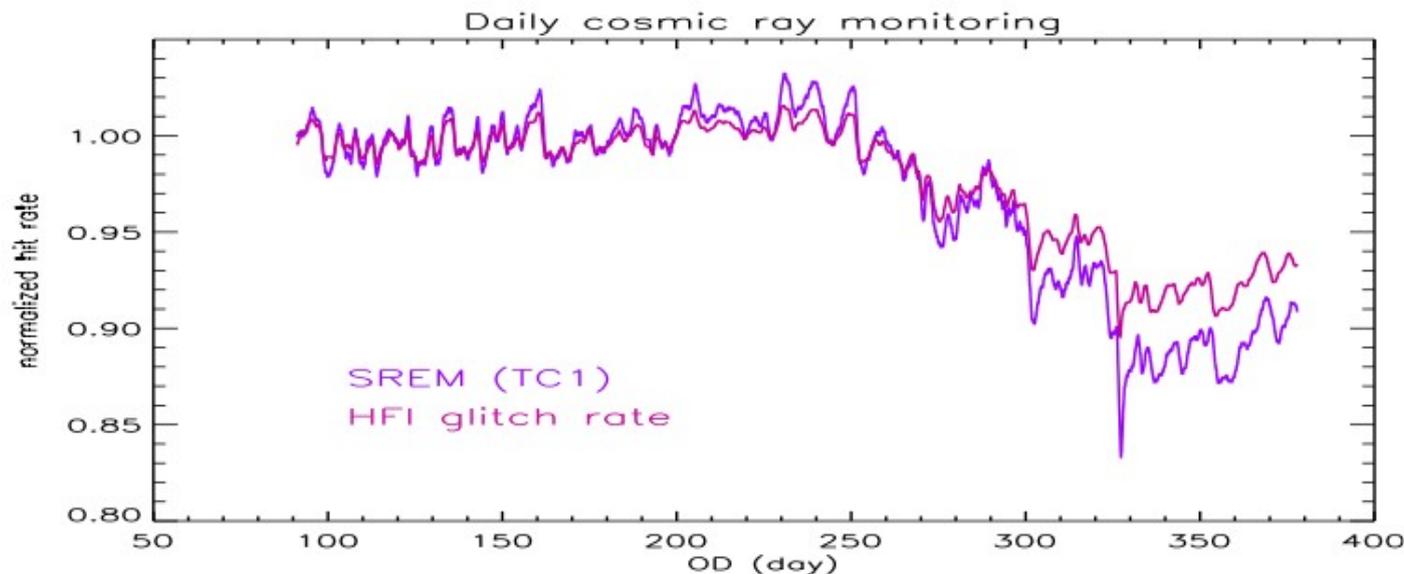
Nombre de taches solaires (corrélé à l'activité du soleil)



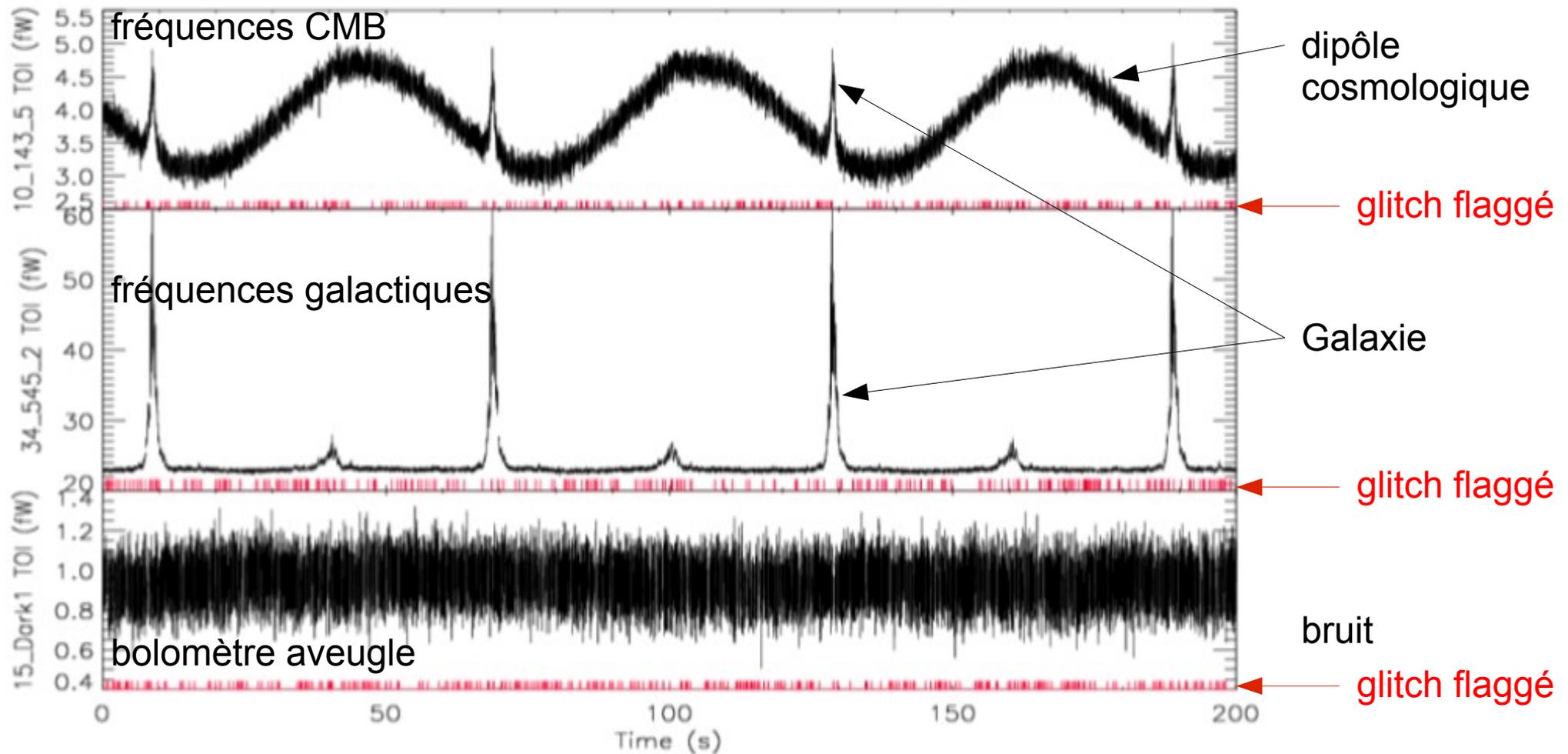
Début de la mission dans le minimum solaire du siècle !



crédits : JPL

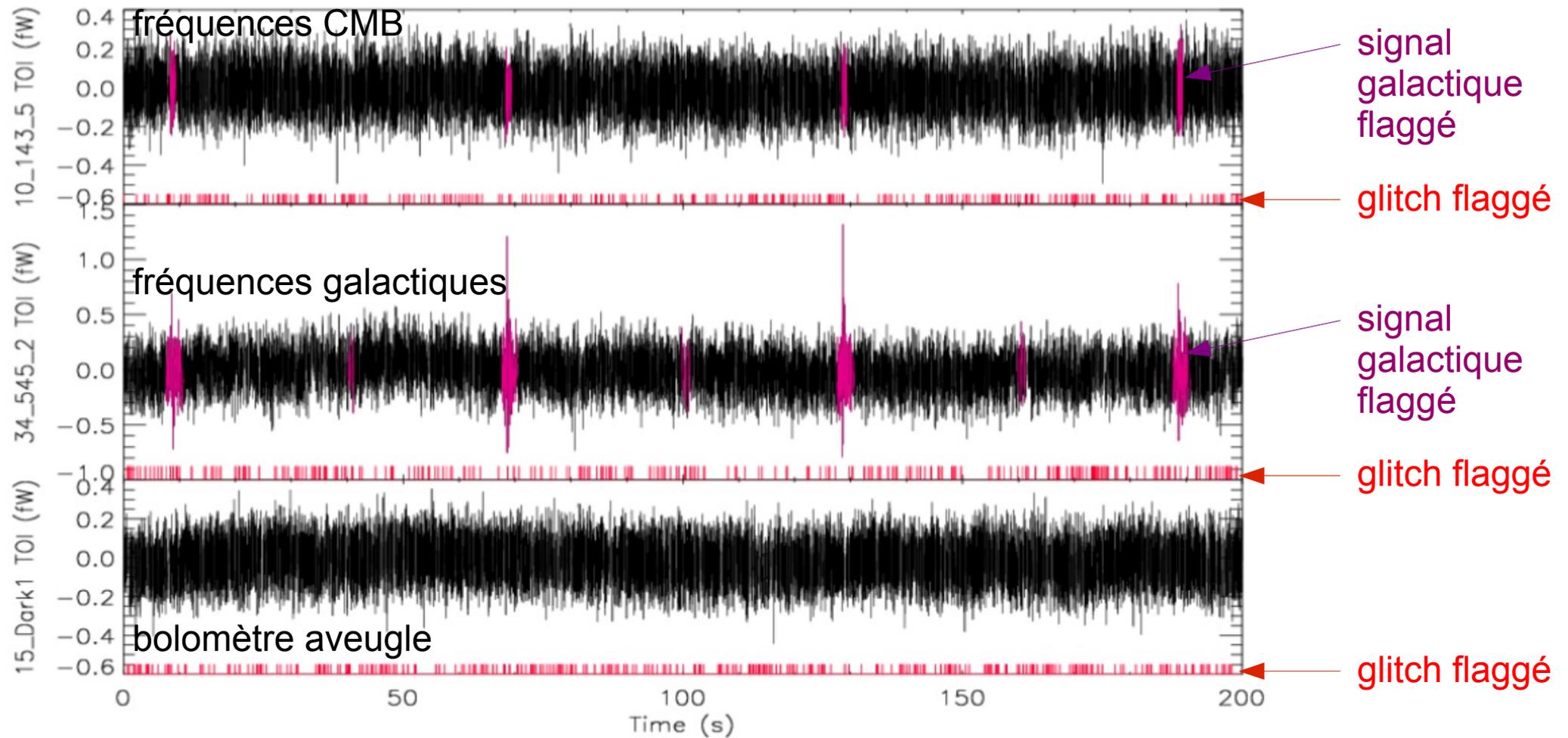


Données corrigées (3min20) pour trois bolomètres :

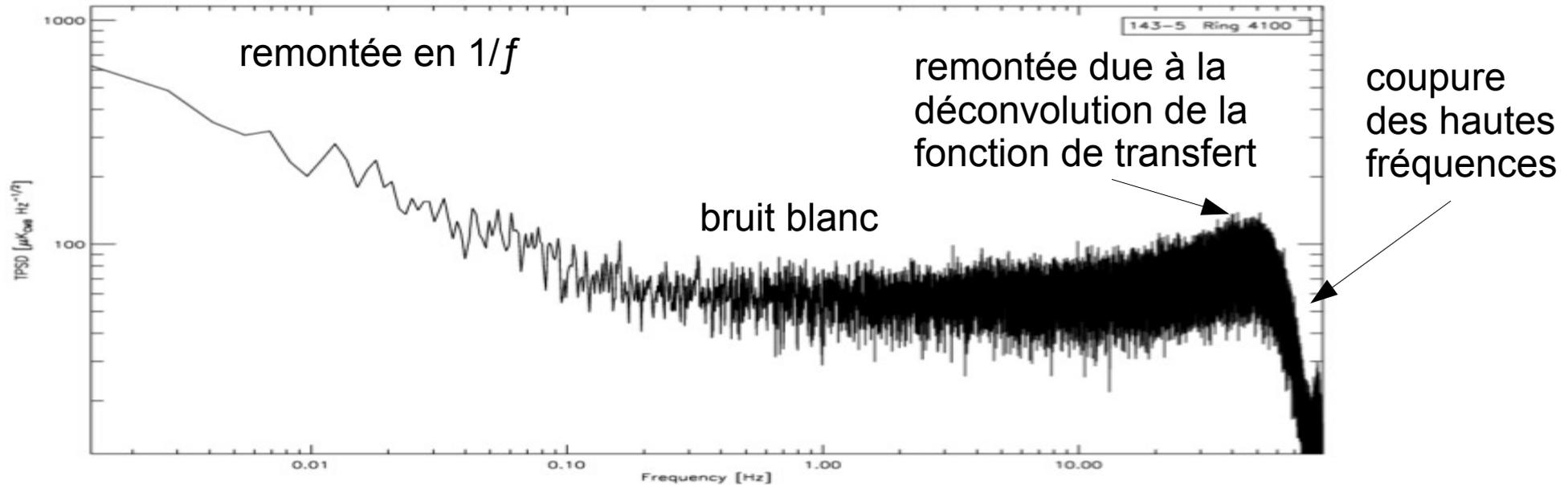


Maîtriser le bruit est indispensable : les amplitudes des anisotropies que l'on veut observer sont de l'ordre de 1/100 du dipôle !

Estimateur du bruit obtenu en utilisant la redondance des données : $d_t = s_t + n_t = A_{tp} T_p + n_t$,
 où d_t est la donnée au temps t , n_t le bruit, et A_{tp} indique dans quelle zone p du ciel le satellite pointe.



- L'analyse des propriétés statistiques de l'estimée du bruit permet de repérer/corriger les défauts restants dans les rings. (écart à la gaussianité)
- Le spectre du bruit fait apparaître différentes zones :



- Il est également possible d'étudier les propriétés du bruit avec des ondelettes. (Arxiv : astro-ph/0511200, J-F. Macias-Pérez & A. Bourrachot)
Elles permettent de décrire simultanément les données en temps et en fréquence.
- On peut analyser les propriétés statistiques du bruit par échelle d'ondelettes.

- La faiblesse du signal nous impose une grande maîtrise du bruit (sensibilité de $2 \cdot 10^{-6} \Delta T/T$).
- Pas encore d'analyse des paramètres cosmologiques, mais déjà des résultats d'excellente qualité (par exemple le CIB).
- L'intérêt de Planck va résider dans la qualité exceptionnelle des données : pas de mission prévue pour le remplacer d'ici (au moins !) 10 ou 15 ans.
Des années de travail pour exploiter pleinement ces mesures astrophysiques et cosmologiques ...

