Quelques aspects du traitement des données Planck HFI: du Ciel aux Cartes

Alain Coulais, LERMA, CNRS et Observatoire de Paris

5 Juin 2012

Vue limitée d'un acteur parmi une large équipe: plus de 50 personnes actives, plusieurs posts chaque jour sur le wiki Planck, on en est à la version majeure 9 du traitement complet.

membre des groupes de travail Planck HFI:

- TTT (Tau Tiger Team) : caractérisation/inversion des fonctions de transfert
- PRAC (Pipeline Running And Checkings)

membre du Planck HFI Core Team

Crédit des figures: A&A, ESA, LFI & HFI Consortia (Planck). La plupart sont issues des articles de la série *Pre Launch Status* et la série *Early Results*.

Portail grand public: http://planck.fr

Numero spécial A&A 536 *Planck Early Results*, Décembre 2011, en accès libre. http://www.aanda.org/index.php?option=com_toc&url=/articles/aa/abs/2011/12/contents/contents.html

La mission Planck

LFI : 30, 44, 70 Ghz
HFI : 100, 143, 217, 353, 545 et 857 GHz, $\frac{\Delta f}{f} \sim 30\%$

- Lancé le 14 Mai 2009 conjointement à Herschell
- Perf. Verif. Phase fin juin – mi juillet 2009
- First Light Survey : Août 2009
- 1er survey: jours 91 – 270
- 2eme survey: jours 270 – 456
- 3ieme survey: jours 456 – 636 (mission nominale: 91 – 563)
- 4ieme survey: jours 640 – 807
- 5ieme survey *partiel*: jours 807 – 974
- Fin officielle de HFI le 14 Janvier 2012 (plus de cryogène ^{3}H/ ^{4}H pour l'étage 100 mK)
- LFI continue d'observer (ne nécessite pas 100 mK)
- Cartes CMB rendues public en Janvier 2013

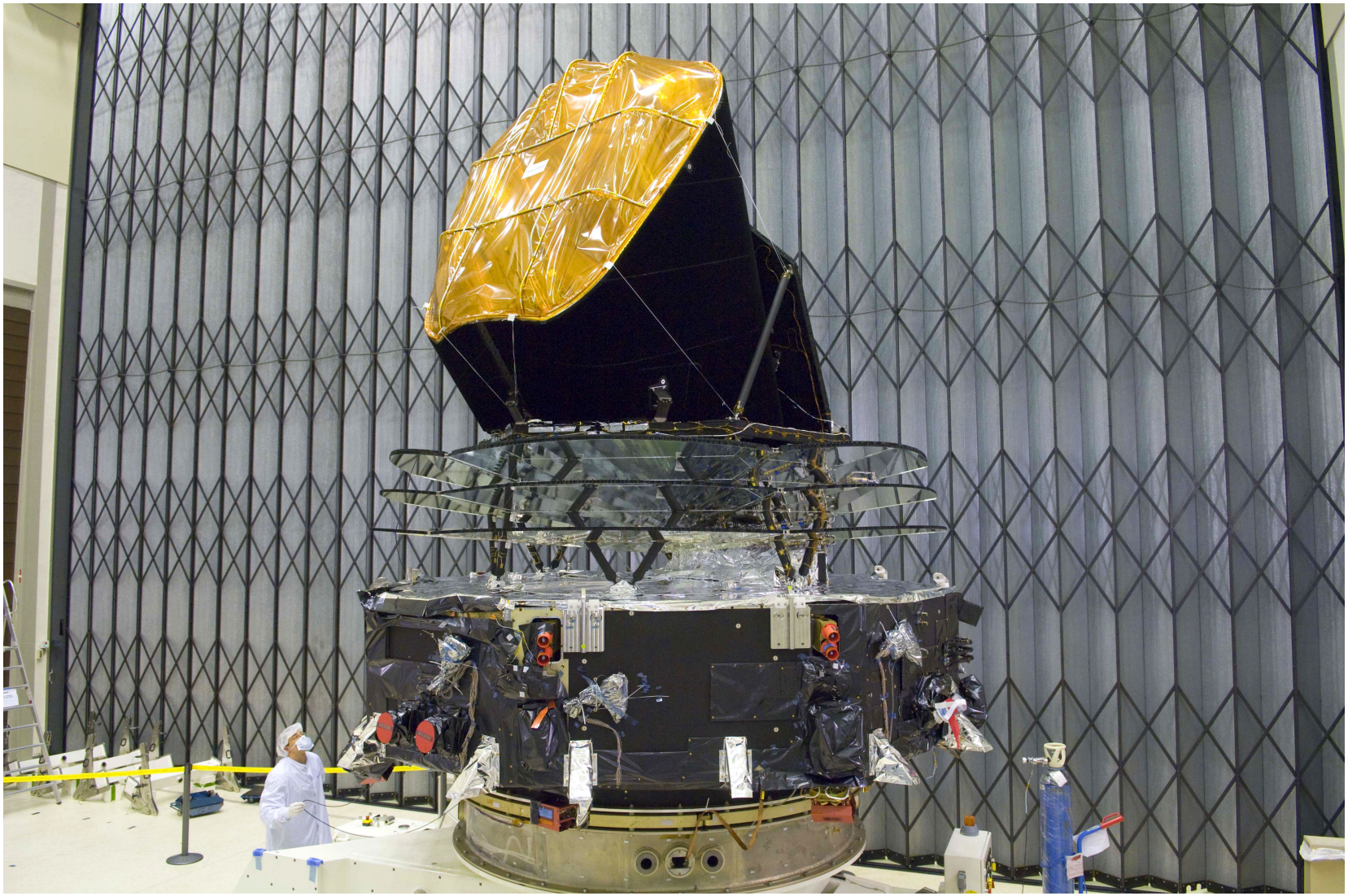
Prolégomènes !!

Fin des observations HFI: 14 janvier 2012, embargo 1 an
Les cartes en intensité seront délivrées en Janvier 2013.

Sauf erreur de ma part ;-), il n'y a aucune donnée exploitable scienfiquement dans cet exposé, et (presque) toutes les figures sont issues de documents déjà publiés, dans les numéro spéciaux de A&A Planck Pre Launch perf. (2009) et Planck First Results (2011), en particulier les papiers Lamarre (Planck Early Result IV) et Bouchet (Planck Early Result VI): Lamarre aa16487-11.pdf, Bouchet aa16462-11.pdf

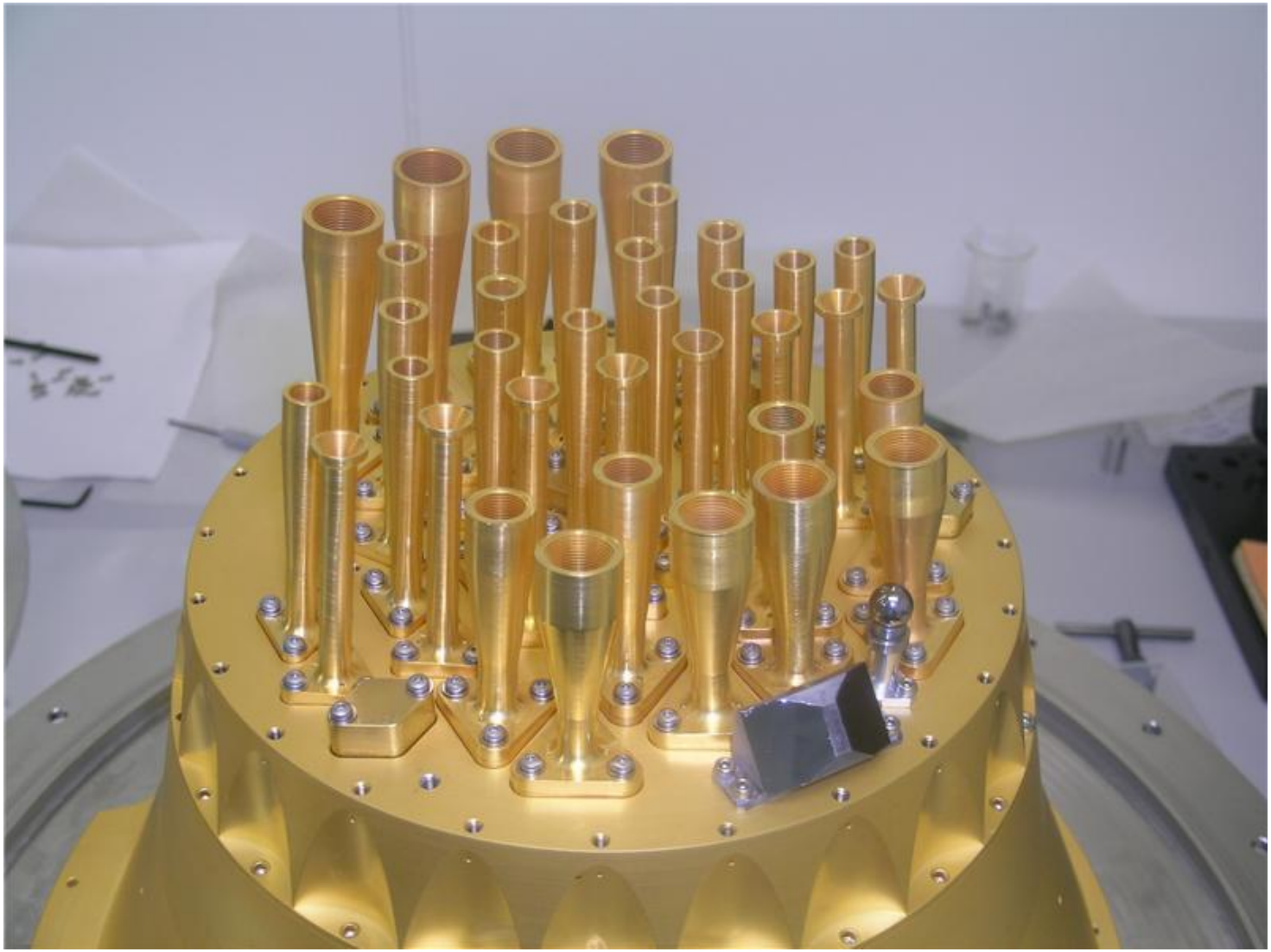
Les codes et paramètres du pipeline pour les cartes de Janvier 2013 ont été décidés au Join Core Team d'Avril 2012 et les calculs sont en cours (il faut généralement compter 1 mois pour aller de bout en bout avec les vérifications).

Le satellite

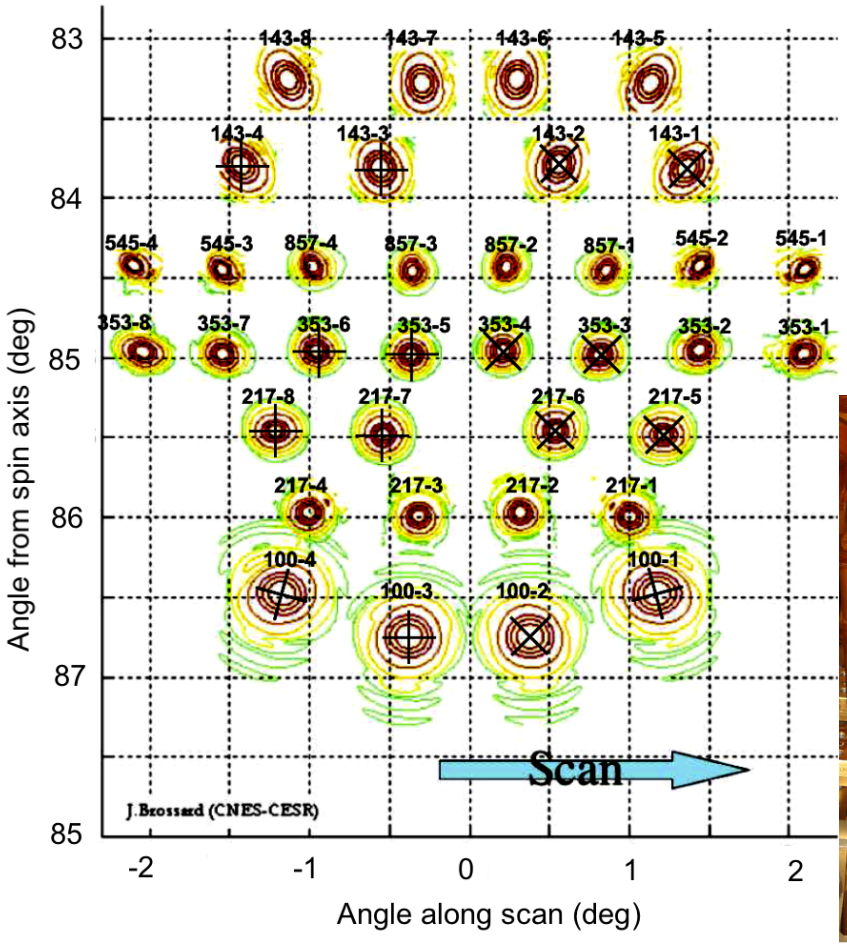


Les cornets HFI

Gros diamètre: 100 et 143 GHz

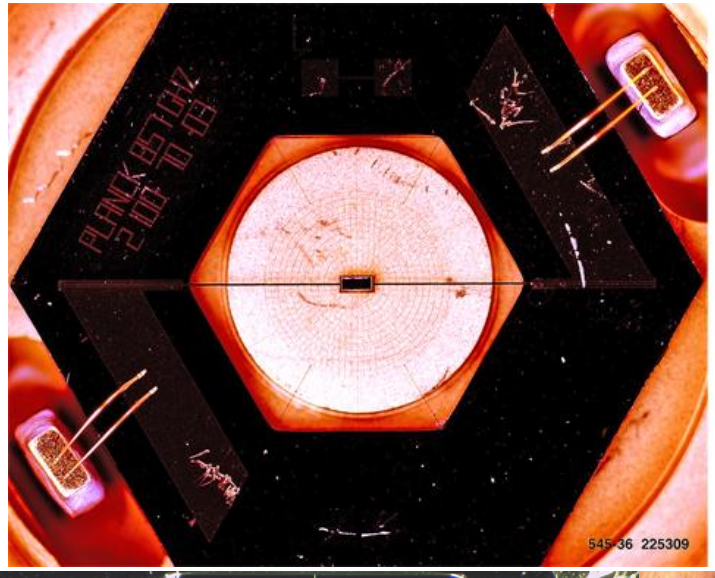


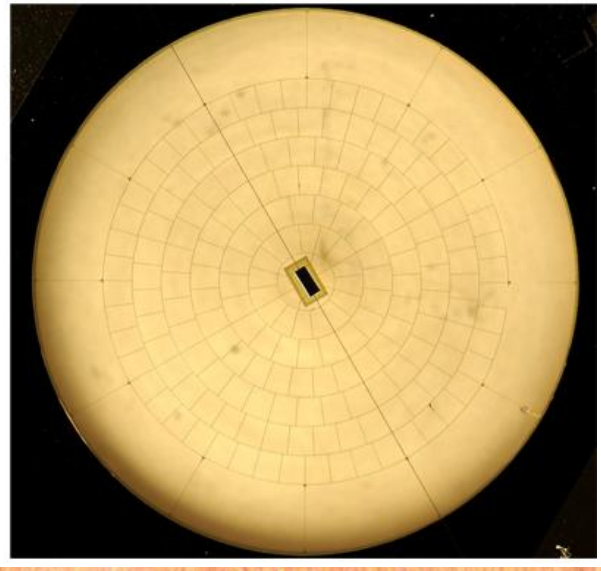
Les cornets versus lobes optiques

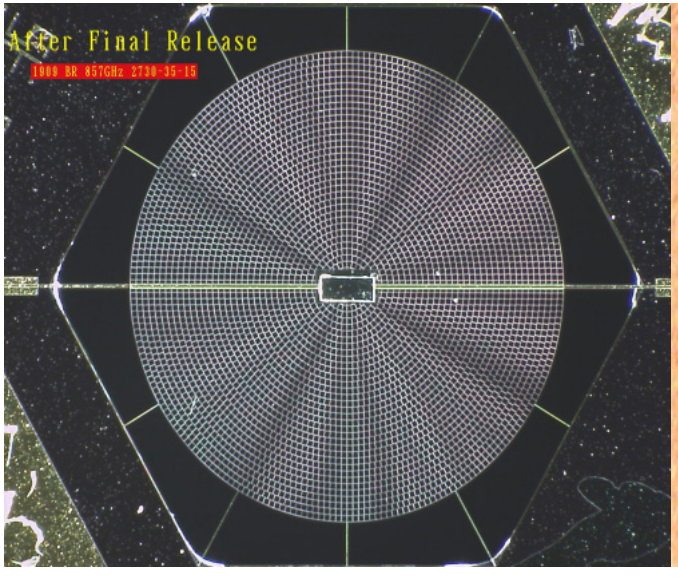


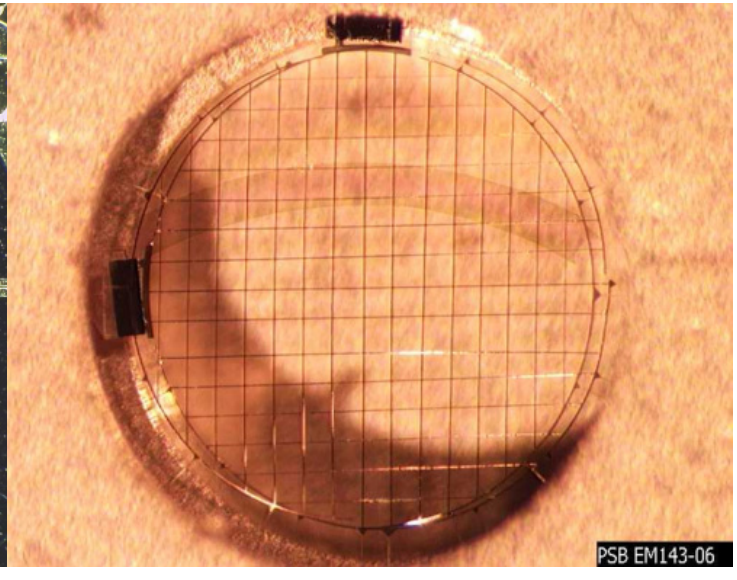


Les bolomètres



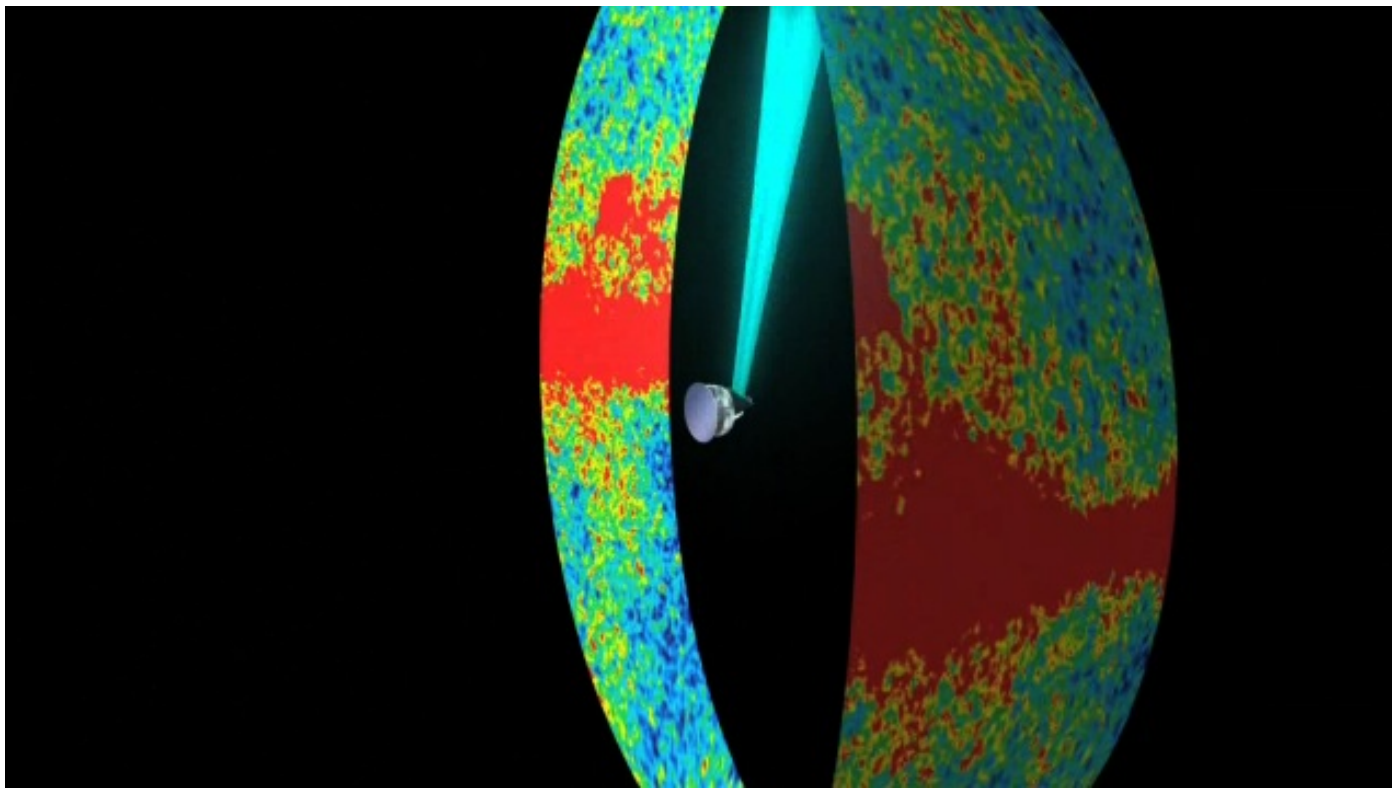






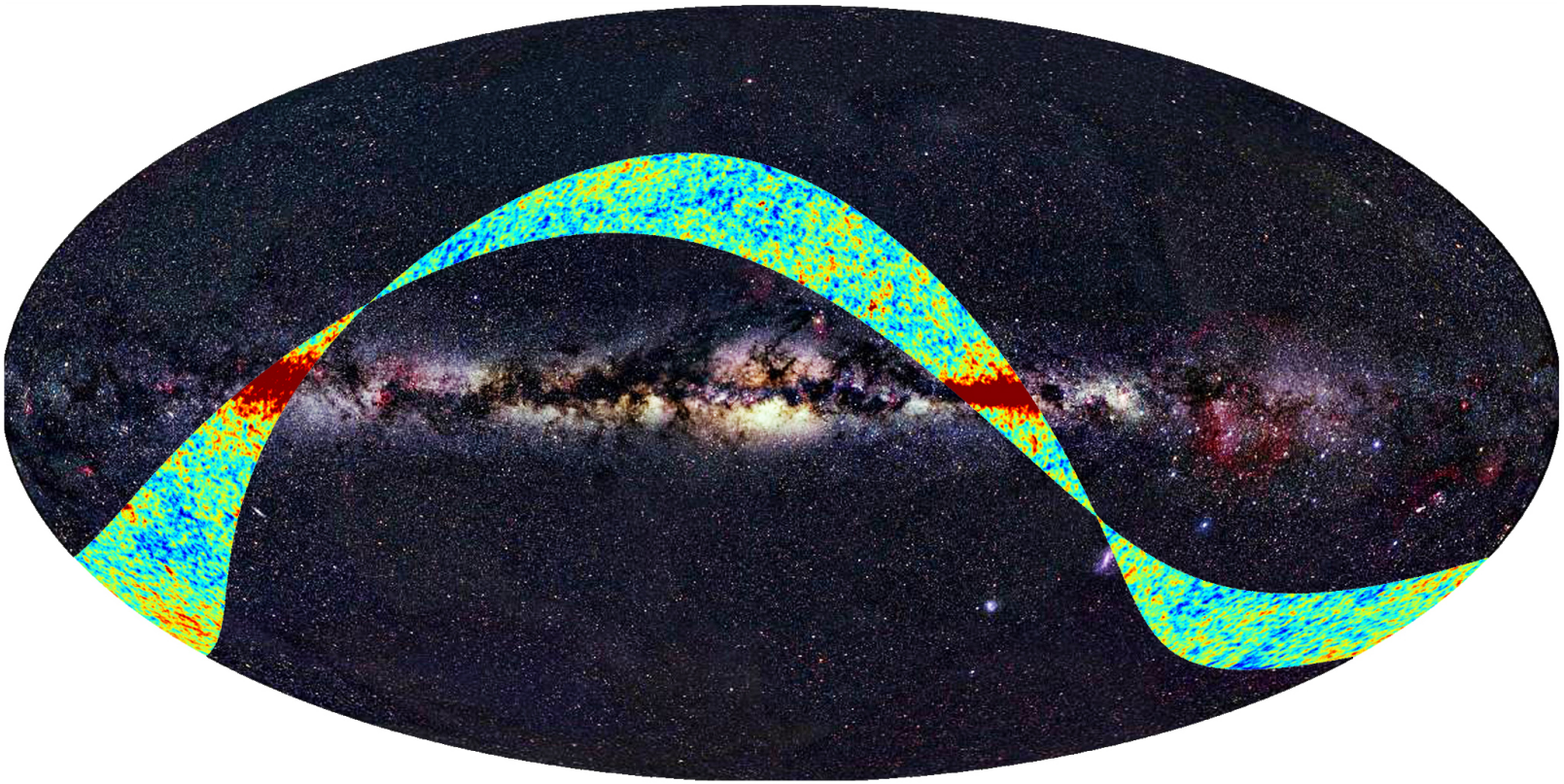
Stratégie d'observation

- le satellite tourne sur lui-même en $\sim$ 1 minute
- environ 45 tours dans la même direction
- petit décallage (*thrusters*) pour repointage
- taux d'échantillonnage de $\sim$ 180 points / seconde (chacun étant une intégration sur 40 échantillons)

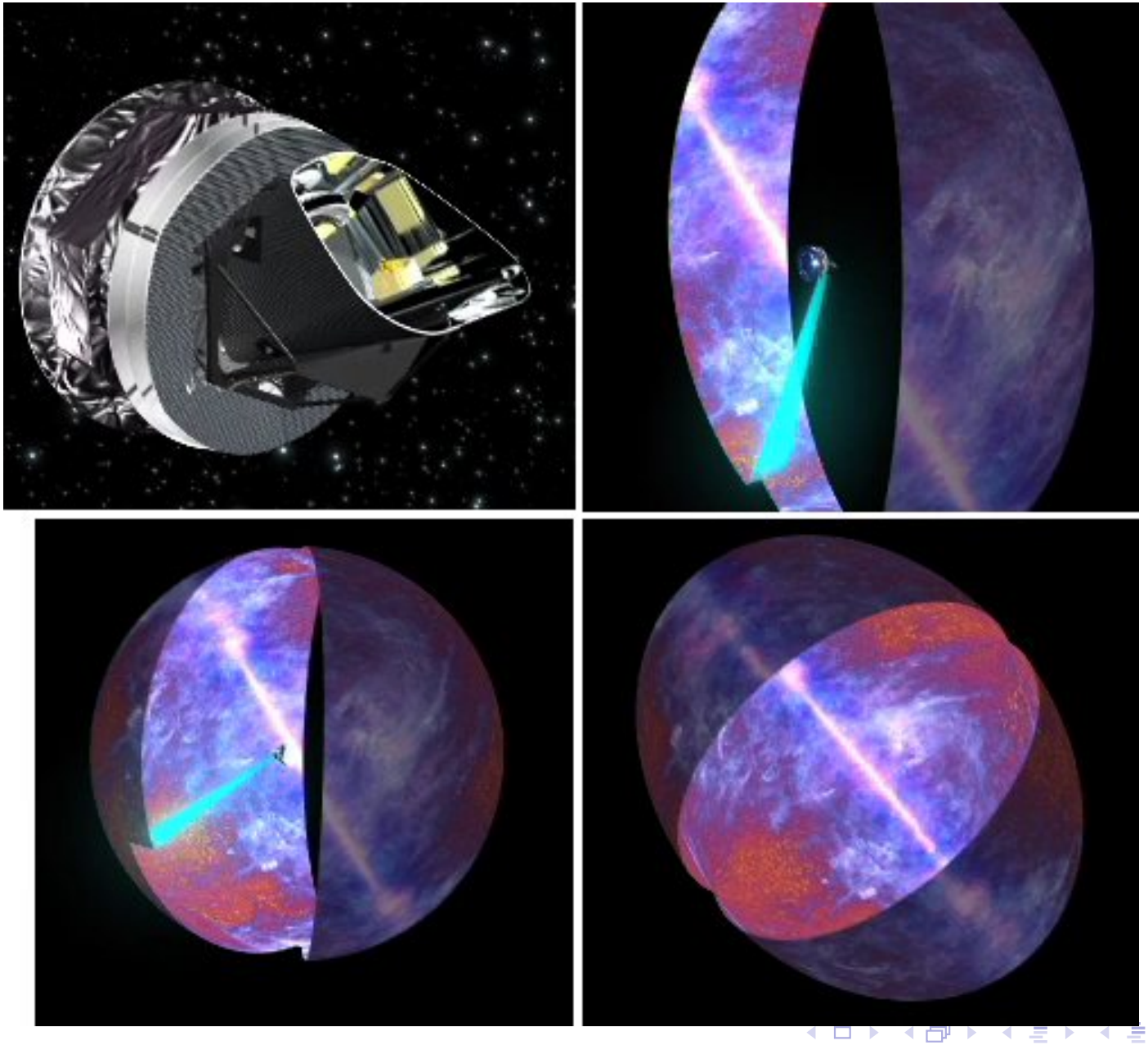


Format Carte , First Ligh Survey

Projection Mollweide

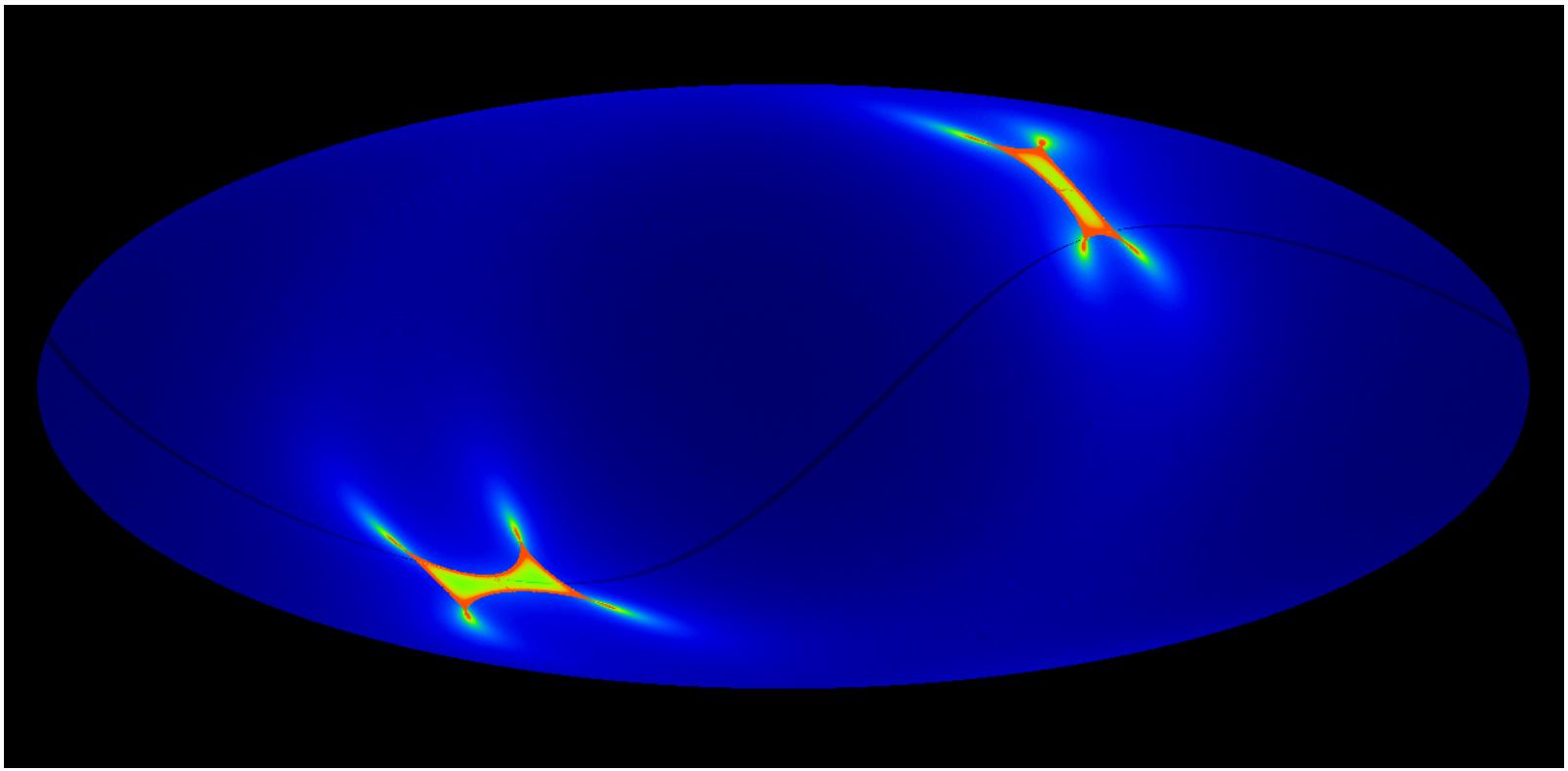


Couverture



Format Carte, Comptage par pixels

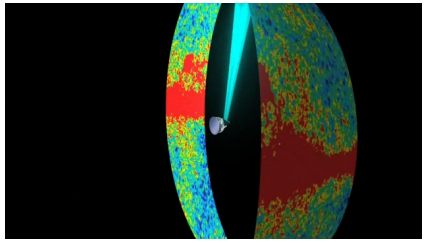
Projection Mollweide.
Carte de comptage de redondance par pixel (2' par 2') pour un an d'observation d'un bolomètre 353 GHz. Rouge: 5600 hits and Blue fonçé: 300 hits.

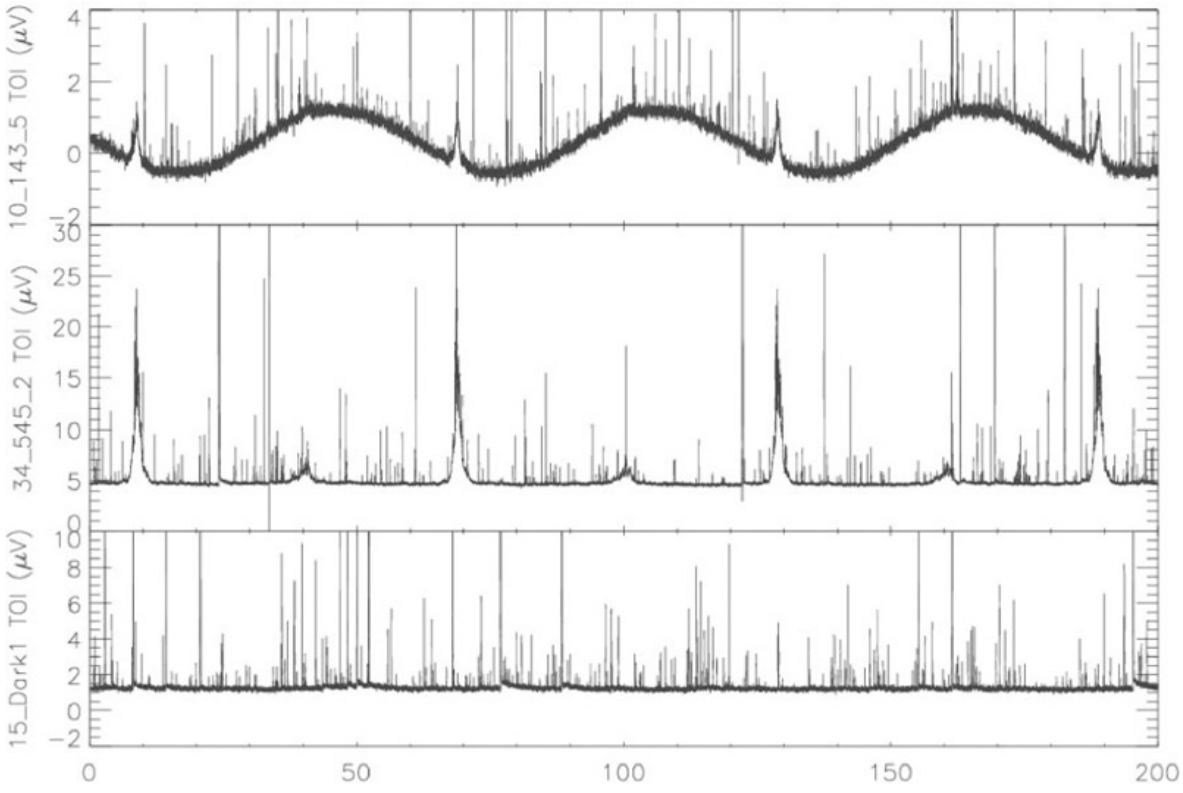


TOI vers PBR

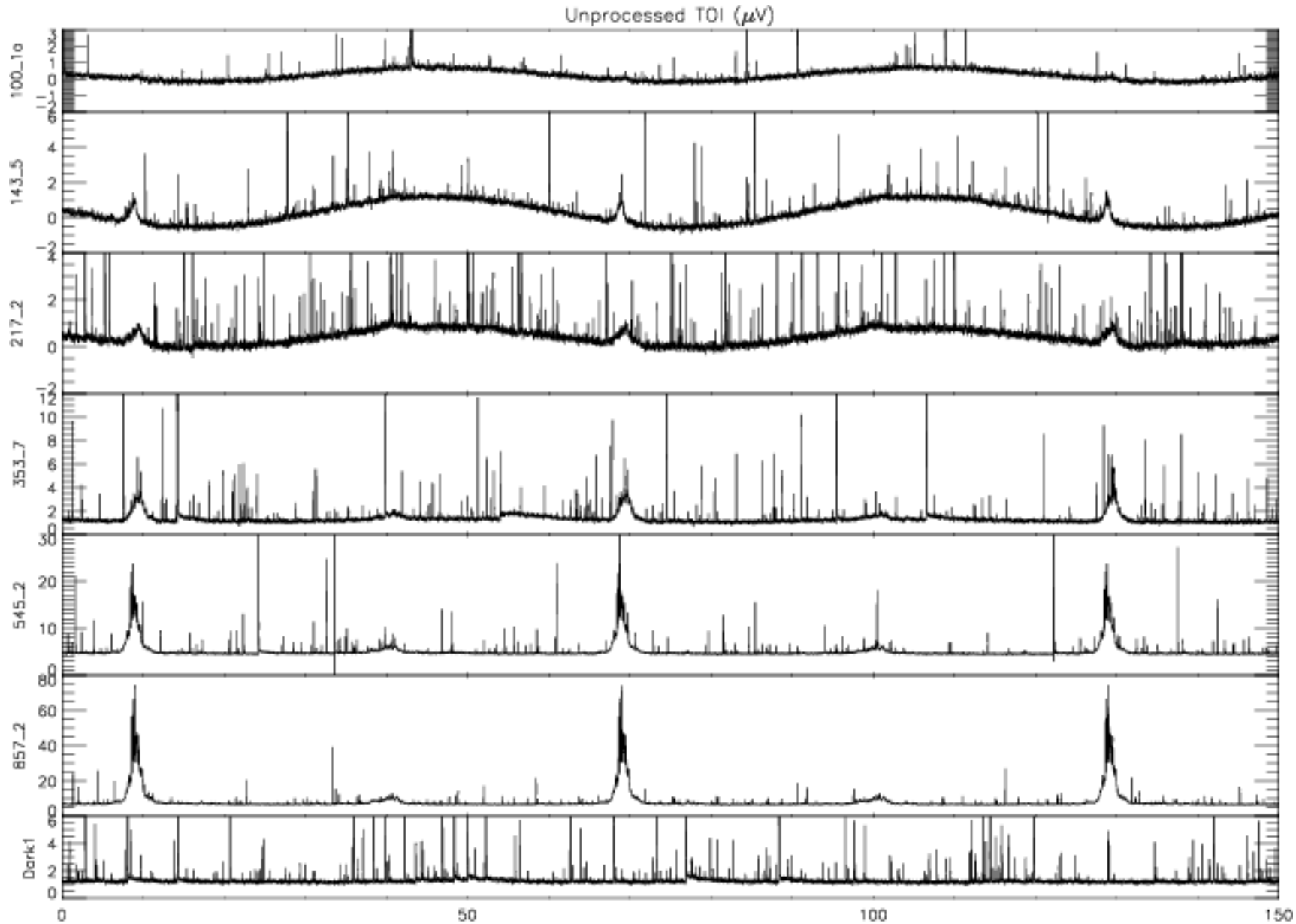
Equipe PRAC

- TOI: Time Oriented Information
- PBR: Phase Bin Rings



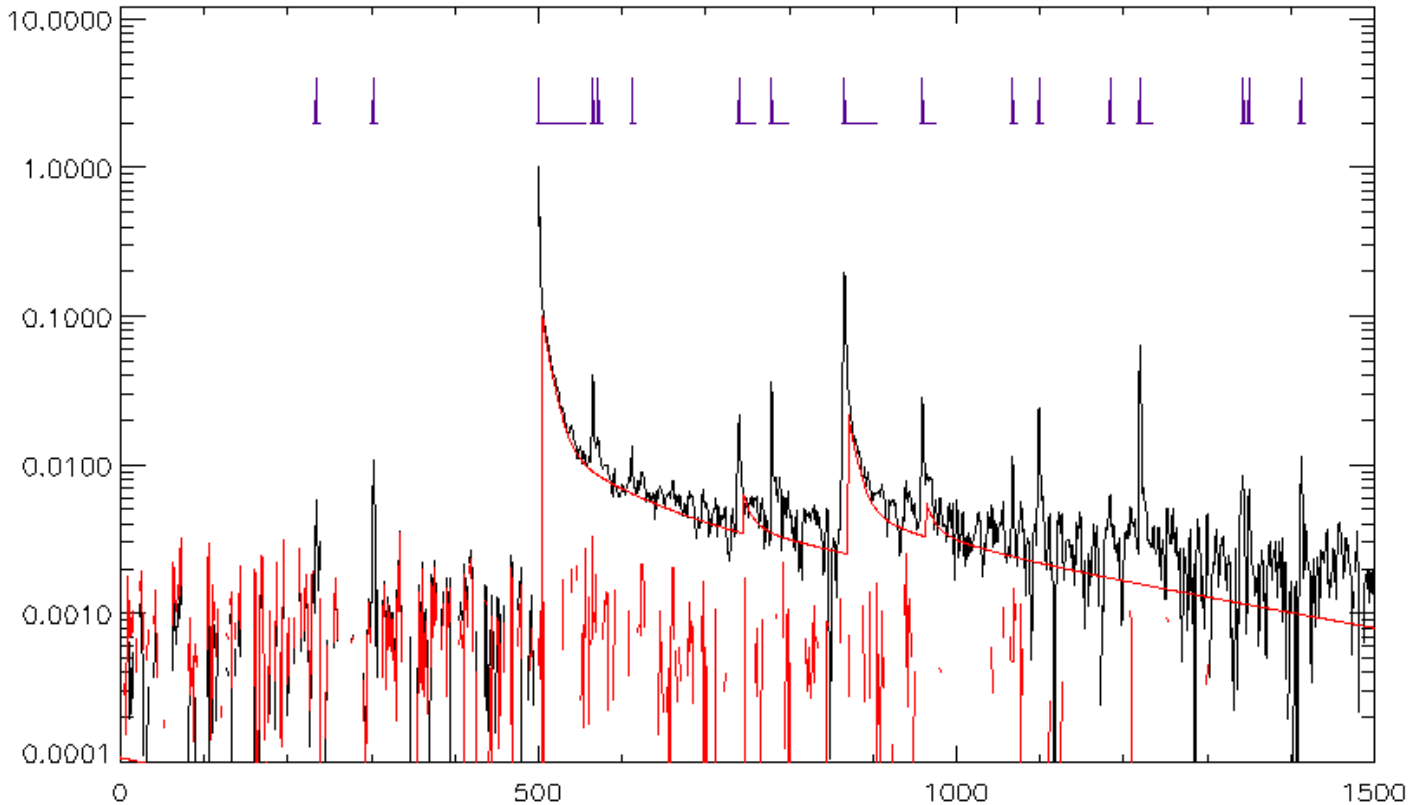


TOI, de 100 a 857 et Dark bolo



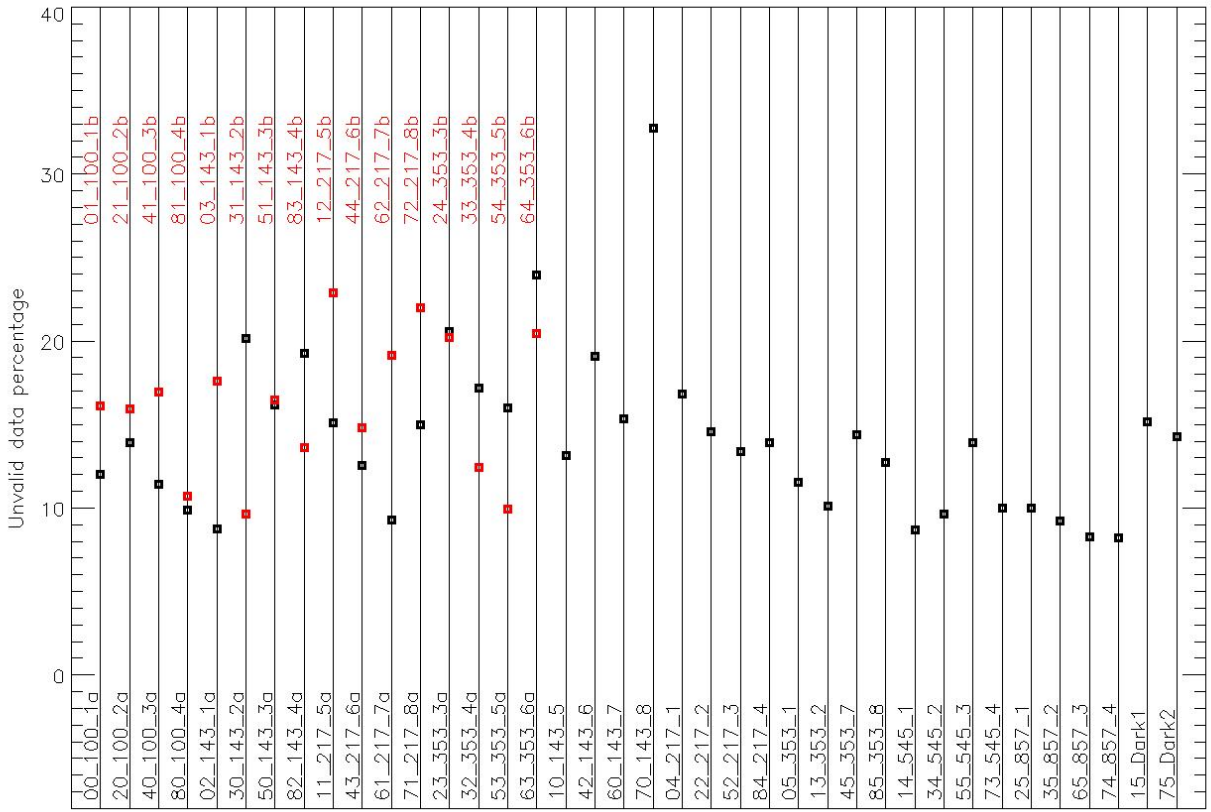
Les Glitches

Comme toute mission spatiale, le satellite est perpétuellement heurté par des particules énergetiques, qui peuvent atteindre toute partie interne des expériences (détecteurs, électronique ...).
Pour réduire ces impacts, les bolo. de HFI sont en *toile d'araignées*.
Diverses variétés de Glitches: pour ceux avec une longue réponse visible, on essaie de ne pas tout perdre ...



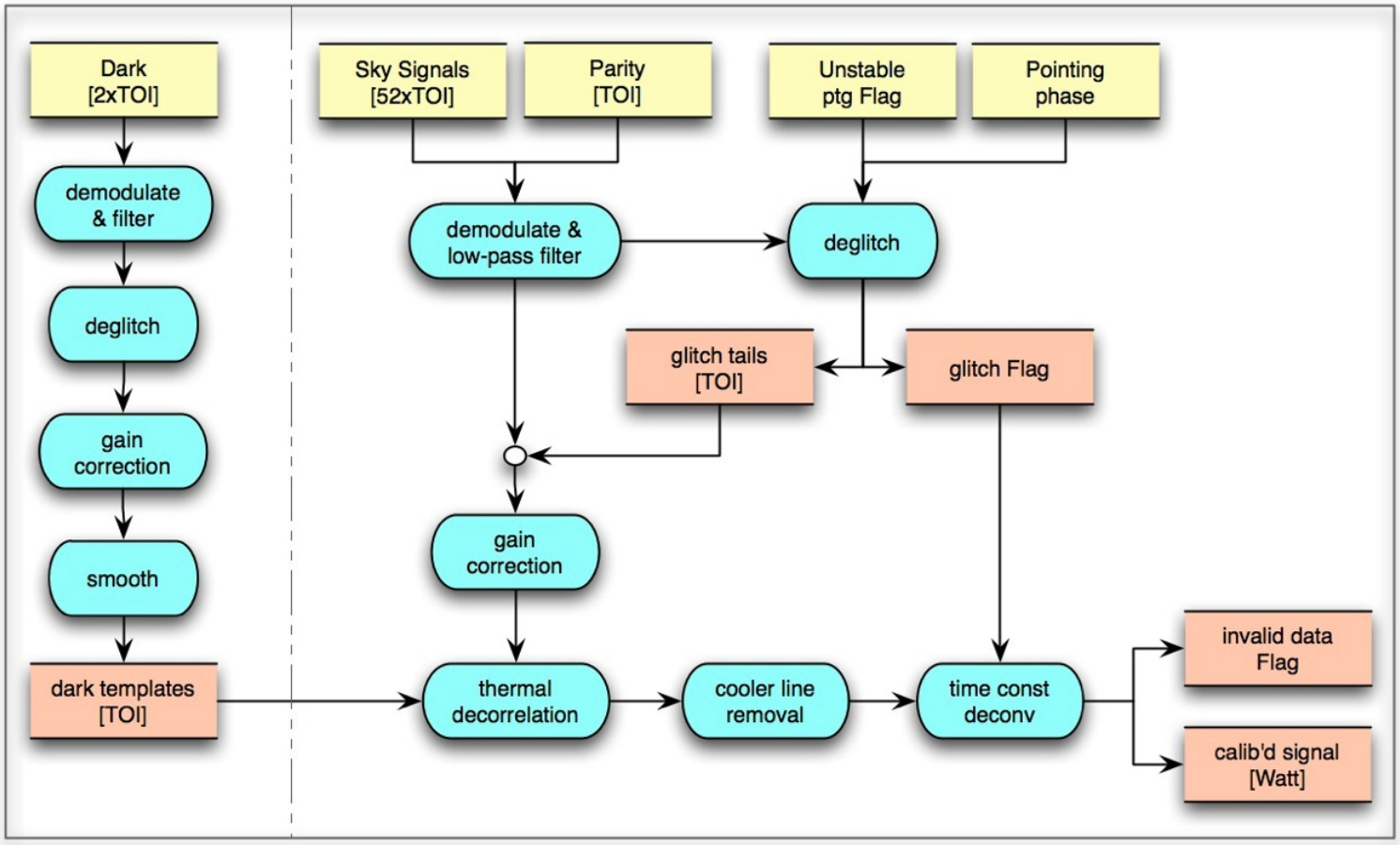
Taux de Glitches

Selon les bolomètres, de 10 à 25 % des données sont flaguées ...
Taux de glitches jusqu'à 80 – 100 G/min.
Le taux de glitches s'est réduit avec l'augmentation de l'activité solaire (reprise du cycle).



TOI processing

- Tau Deconv (Equipe TTT)
- Lobes et TauDeconv: la forme des lobes apparents est modifié par la correction imparfaite de la fonction de transfert (critère de compacité).
- TauDeconv vers cartes (Healpix ou autres)



Problèmes expérimentaux en vol

On va maintenant revenir plus en détail sur divers problèmes dans le traitement des données:

- Variation de pointage / attitude du satellite
- Vitesse de rotation du satellite sur lui-même
- Vibration et déformations thermo élastique
- Variation des températures (100 mK, 1.6 K, 4 K, 16 K ...)
- divers cross-talks électriques (e.g. PLL raies 4 K)
- Impact des particules énergétiques (glitches)
- Autres biais
  - compression
  - connaissance insuffisante des fonctions de transfert (réponse impultionnelle) des bolomètres
  - non linéarité des bolomètres
  - non linéarité de l'électronique
  - vieillissement et autres variations temporelles éventuelles
  - variabilité de la lumiere zodiacale
  - incertitudes fines sur le dipôle *cosmologique* et le dipôle *orbital*

Les problèmes principaux

Dans les problèmes listés, on resort:

- traitement des glitches (flag et/ou soustraction)
- pointage (il faut au moins 2 surveys pour avancer !)
- les fonctions de transfert
- ajustage fin des valeurs des multipôles
- évolution aléatoire des offsets des *Phase Bin Rings*
- découverte des variations de gain sur certains bolo.
- vers des lobes compacts

Les problèmes principaux et leurs solutions

Situation en Avril 2012, au Join Core Team LFI+HFI
Les avancées sur certains points permettent de travailler sur des problèmes auparavant secondaires (en contribution aux systématiques)

- traitement des glitches: OK, énorme activité dans la 1ère année, on a atteint une situation correcte
- pointage: OK, grosse activité une fois le second survey disponible, ce n'est plus un systématique majeur
- les fonctions de transfert, notamment la LFER: OK grosse activité simultannée aux autres sources de systématiques connus pour s'assurer qu'elles ne sont pas la cause dominante
  - influence sur la formes des lobes (et donc les C_l)
  - influence sur la géométrie du plan focal
- vers des lobes compacts OK, l'amélioration des fonctions de transfert permet de travailler finement dessus
- amélioration de la correction des offsets des PBRs
- découverte des variations de gain sur certains bolo problème Non Linéarité des convertisseurs analogiques-numériques suspectée.

Que peut-on tester sur les cartes par *survey*

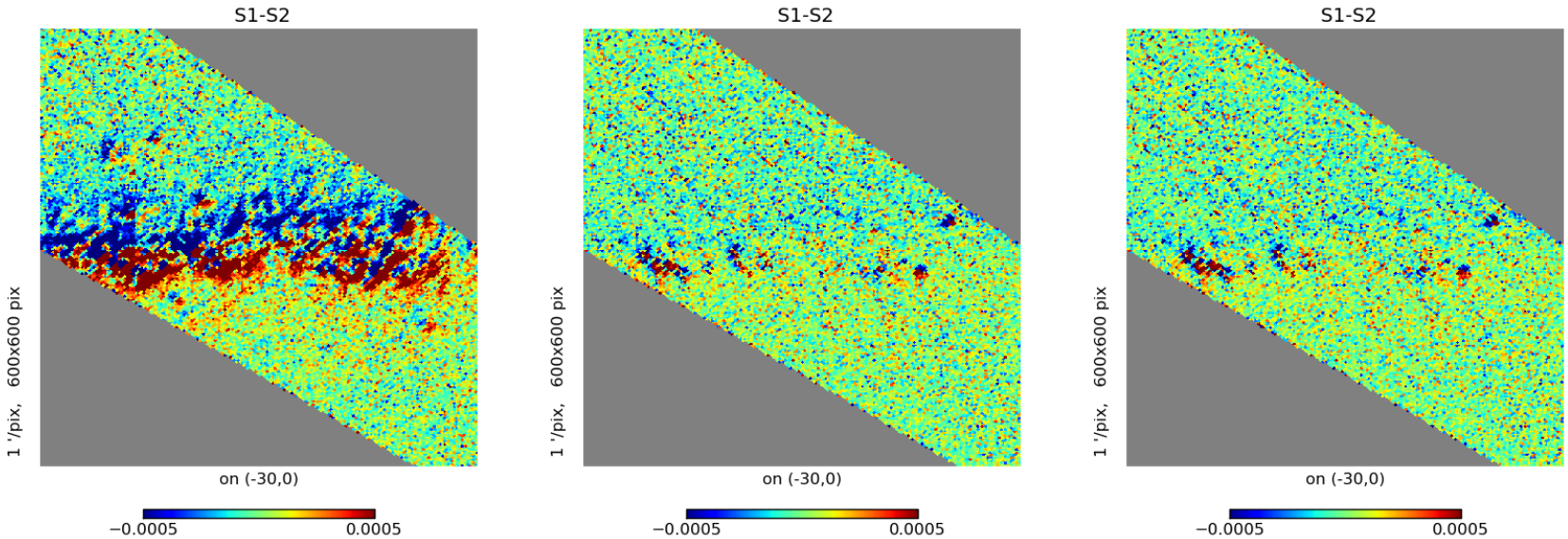
Jackknives
On peut comparer les cartes Survey 1 à 5
S1 et S3 : même orientation
S2 et S4 : balayage en sens oposé à S1 et S3
S5 : legers changement d'orientation

- Combinaison de surveys (S1-S2, S1-S3, ...)
  - Diagnostic S1-S2: pointage (in-scan et cross-scan, Focal Plane Geometry)
  - Diagnostic S1-S2: TauDeconv
  - Diagnostic S1-S3: sauts de pointage, variation dans le temps des detecteurs ...
- Half-ring maps : stabilité des bruits, autres systématiques.

Ces outils sont essentiels pour réduire les systématiques. Ils sont coûteux en calcul. Aujourd'hui, en l'état du traitement, le systématique qui semble laisser la contribution la plus forte serait les non linéarités des convertisseurs A/N (on voit les non linéarités de la rampe des CAN, notamment bits de poids).

3 solutions de pointage et relicat de LFER

Cartes de différence, bolo 143-6, s1-s2, région galactique (-30,0). Même orientation de balayage mais sens de balayage différent entre s1 et s2.



Sur les figures de droite, on voit clairement une disymétrie par rapport à la galaxie (vert-bleu en haut, jaune-rouge en bas). Ceci est dû à une connaissance et correction insuffisantes de la fonction de transfert entre 16 mHz et $\sim$ 1 Hz (amplitude de qlq pour mille).

De l'importance des Planètes

Les planètes (Mars, Jupiter, Saturn, Uranus) ont été observées plusieurs fois, durant toute la mission. Elles ont confirmé l'existence d'un excès de réponse à basse fréquence (entre 16 mHz (1 tour/min.) et 1 Hz).

- Tau Deconv (Equipe TTT) : revisiter/confirmer les fonctions de transfert
- détermination des lobes
- relation *scanning* Lobes et TauDeconv
- jitter de pointage
- Jupiter: limite de Non Linéarité *bolo*
- base d'étude sur la stabilité temporelle des fonctions de transfert

Simulations

En parallèle des activites de reduction des systématiques, des similations quantitatives reproduisant les effets observés permettent de s'assurer qu'on n'introduit pas de biais (glitchs, fonctions de transfert, lobes proches et lointains ...)

Ou en est-on ?

On a aujourd'hui de très bonnes cartes en Intensité:

- pour une bande (143, 217 GHz ...) consistantes entre elles (notamment mêmes C_l)
- de même en croisant les cartes de différentes bandes

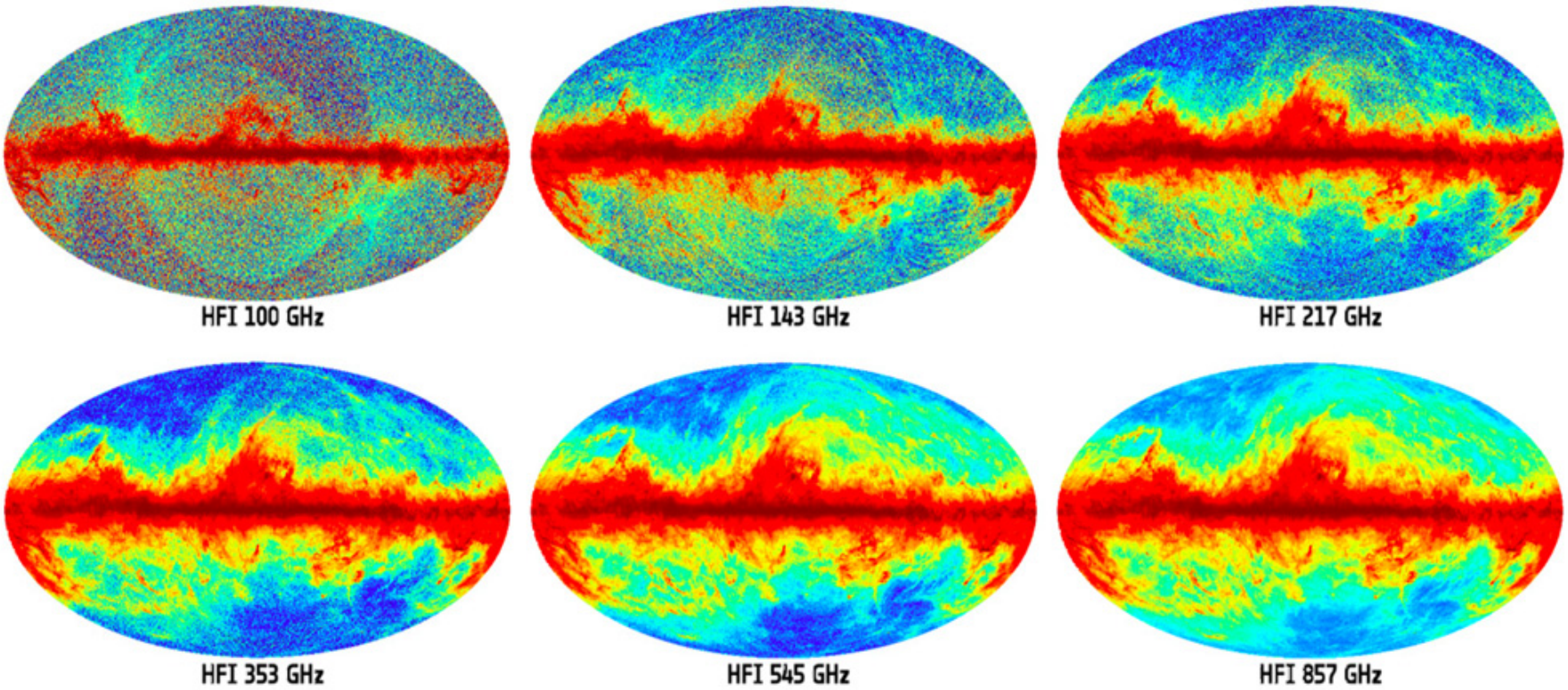
les calculs pour la version officiel DX9 sont en cours ces jours-ci (environ 2 semaines de calcul temps plein sur M3 (1000 cœurs), puis *checks* (lobes, C_l, masques, ...))

Ces cartes vont servir à rédiger les article scientifiques dans les mois qui viennent (pour Janvier 2013).

La polarisation n'est pas prête mais les cartes de différence en polarisation commencent a être bonnes !

Cartes des avant-plans Early Results

Surveys 1 et 2, CMB retiré. 2% de précision photométrique pour 100 – 355 GHz.



Pré-Conclusion quantitative

Les cartes en Intensité seront publiée en Janvier 2013. En attendant, je rappelle le résumé du papier Traitement des Données sur s1 et s2:

We describe the processing of the 336 billion raw data samples from the High Frequency Instrument (HFI) which we performed to produce six temperature maps from the first 295 days of Planck-HFI survey data. These maps provide an accurate rendition of the sky emission at 100, 143, 217, 353, 545 and 857 GHz with an angular resolution ranging from 9.9 to 4.4'. The white noise level is around 1.5 μK degree or less in the 3 main CMB channels (100, 143, 217 GHz). The photometric accuracy is better than 2% at frequencies between 100 and 353 GHz and around 7% at the two highest frequencies. The maps created by the HFI Data Processing Centre reach our goals in terms of sensitivity, resolution, and photometric accuracy. They are already suciently accurate and well-characterised to allow scientic analyses which are presented in an accompanying series of early papers. At this stage, HFI data appears to be of high quality and we expect that with further renements of the data processing we should be able to achieve, or exceed, the science goals of the Planck project.

Conclusion

Magnifique travail d'équipe qui a atteint en Avril 2012 (Join Core Team Meeting HFI + LFI) un état raisonnable de qualité pour préparer les papiers Cosmologie. Le point considéré comme bloquant (NL ADC) n'est apparu que dans les derniers mois, comme la qualité globale progressait. La plupart des points sensibles ont été testés par plusieurs approches en parallèle.
Quelques regrets:

- Les courants des bolos ne sont pas ceux qui étaient demandés !!
- Tant de *Glitches*

L'expérience HFI tient parfaitement ce qui était attendu d'elle ! Pas seulement en Cosmologie, mais aussi pour les avant plans, comme Jonathan aurait dû le montrer dans sa présentation.

Le premier ciel de Planck !

Image composite sur un an, cartes combinées de 30 à 857 GHz.

