



Méthode de Calibration des données de Planck-HFI

Clément Filliard – Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire





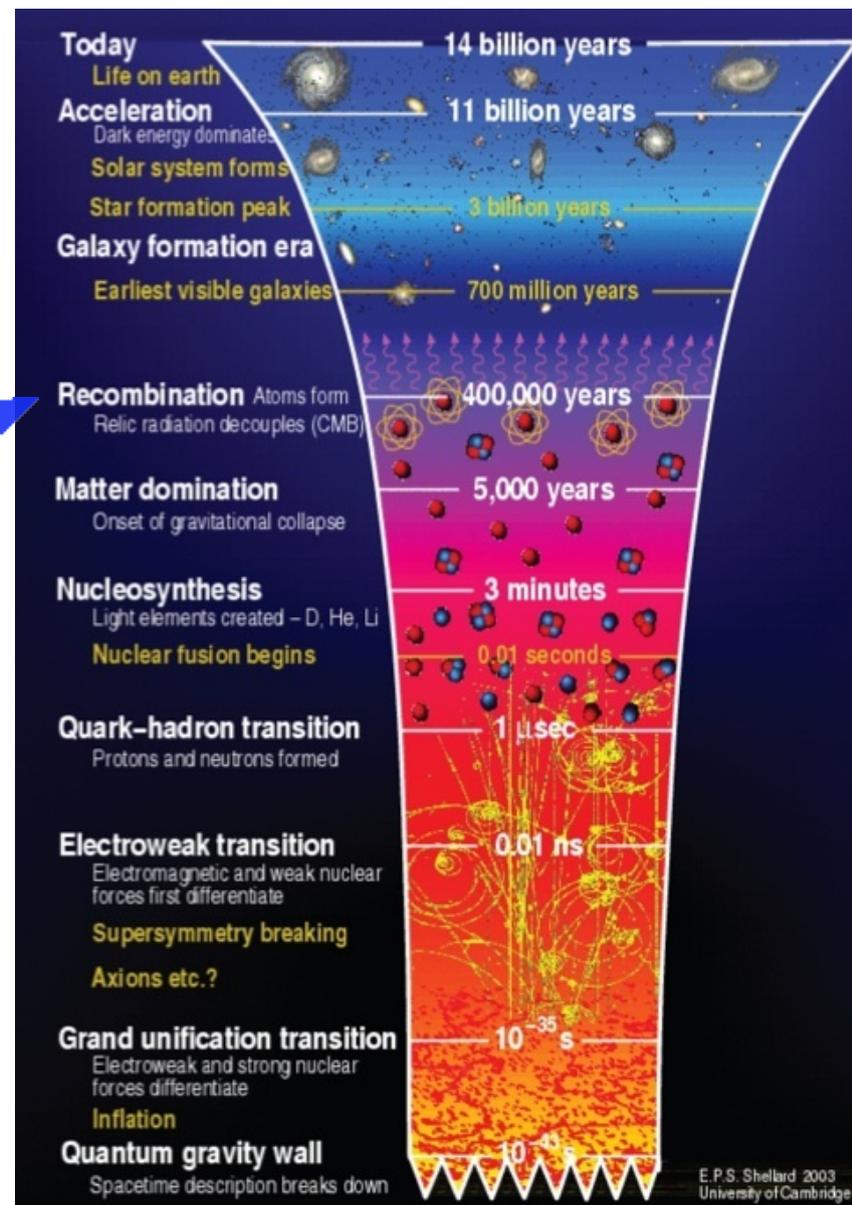
Introduction:



Modèle du Big Bang

CMB : Cosmic Microwave Background

- Découplage électron-photons
Tx d'Interaction \ll Tx d'Expansion
- Corps Noir à $T \sim 3000K$
- $t_{em} \sim 380\,000$ ans





Plan:



- 1) Planck:
 - a) Contexte
 - b) La Mission Planck
 - c) Objectifs scientifiques
- 2) Analyse des données:
 - a) Traitement des données temporelles
 - b) Réalisation des cartes
 - c) Séparation de composantes
 - d) Spectres de puissance et paramètres cosmologiques
- 3) Calibration des données:
 - a) Principe de la méthode et implémentation
 - b) Validation sur les simulations
 - c) ... et sur les données



Plan:



- 1) Planck:
 - a) Contexte
 - b) La Mission Planck
 - c) Objectifs scientifiques
- 2) Analyse des données:
 - a) Traitement des données temporelles
 - b) Réalisation des cartes
 - c) Séparation de composantes
 - d) Spectres de puissance et paramètres cosmologiques
- 3) Calibration des données:
 - a) Principe de la méthode et implémentation
 - b) Validation sur les simulations
 - c) ... et sur les données



1) Planck

a) Contexte

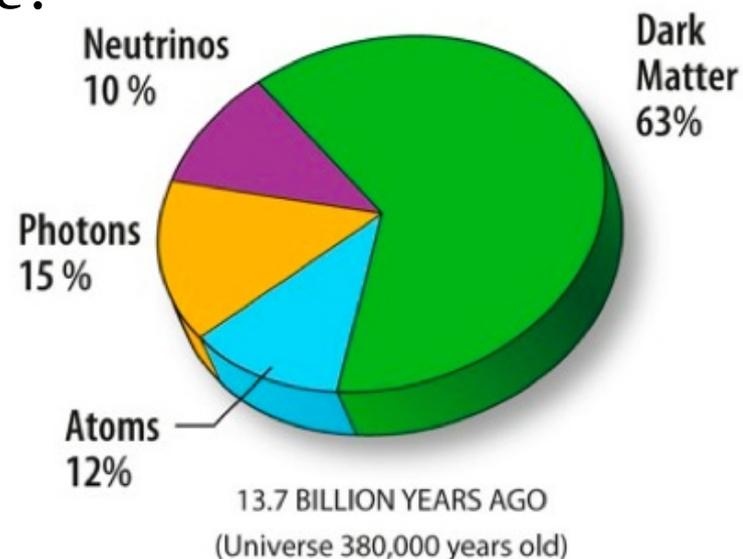
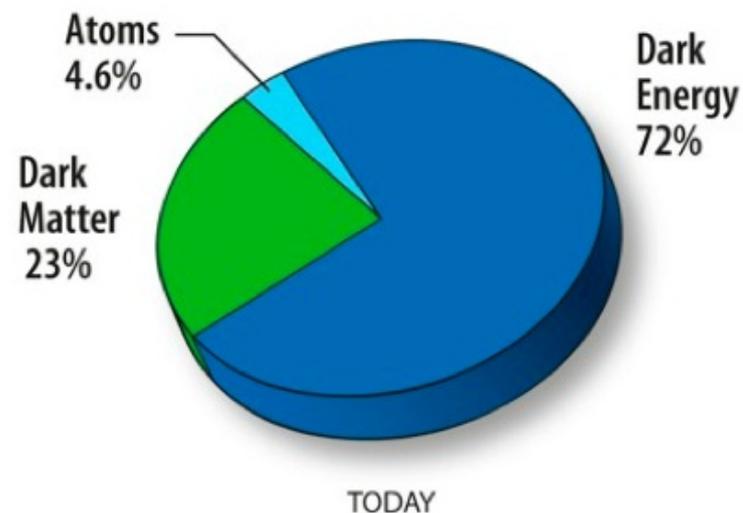


Des questions:

- Quel est l'âge de l'Univers ?
- De quoi est-il fait ?
- Quelle est alors sa dynamique ?
- Sa formation est-elle bien comprise ?
- Y a-t-il eu un Big Bang? une phase d'inflation ?
- Qu'est-ce que la matière noire, l'énergie noire?

Des observables:

- Supernovae
- BAO: Oscillations Acoustique de Baryon
- Grandes structures: Amas de galaxies, ...
- **CMB**



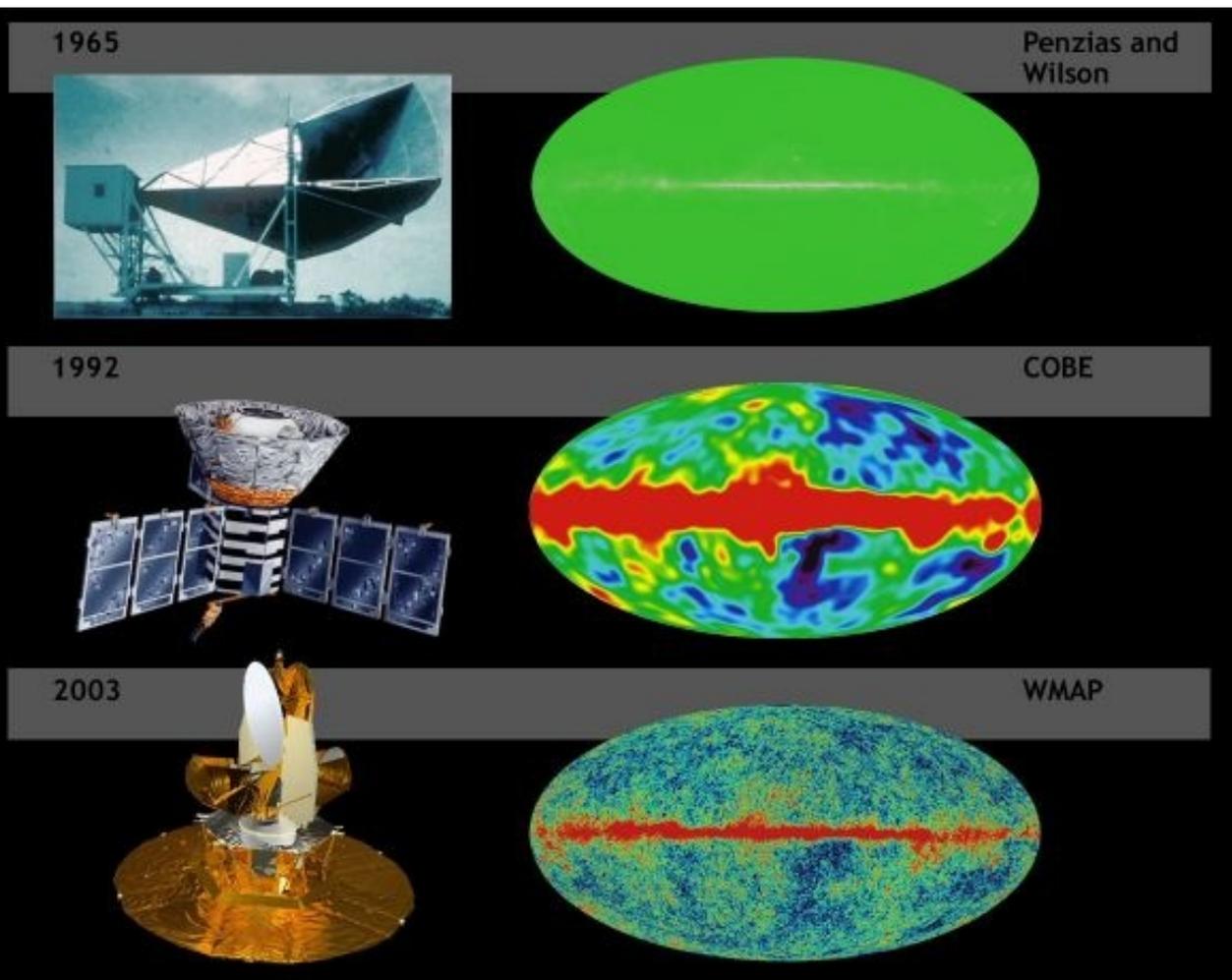


1) Planck

a) Contexte



CMB : Cosmic Microwave Background



Rayonnement **Isotrope**
Corps Noir à
 $T_{\text{CMB}} = 2.725 \text{ K}$

Anisotropies

dues aux Fluctuations de densités de l'Univers primordial

$$\Delta T/T_{\text{CMB}} = 10^{-5}$$



Plan:



1) Planck:

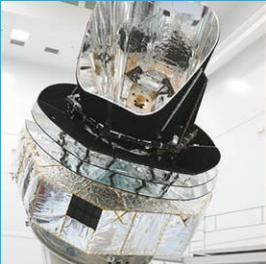
- a) Contexte
- b) La Mission Planck
- c) Objectifs scientifiques

2) Analyse des données:

- a) Traitement des données temporelles
- b) Réalisation des cartes
- c) Séparation de composantes
- d) Spectres de puissance et paramètres cosmologiques

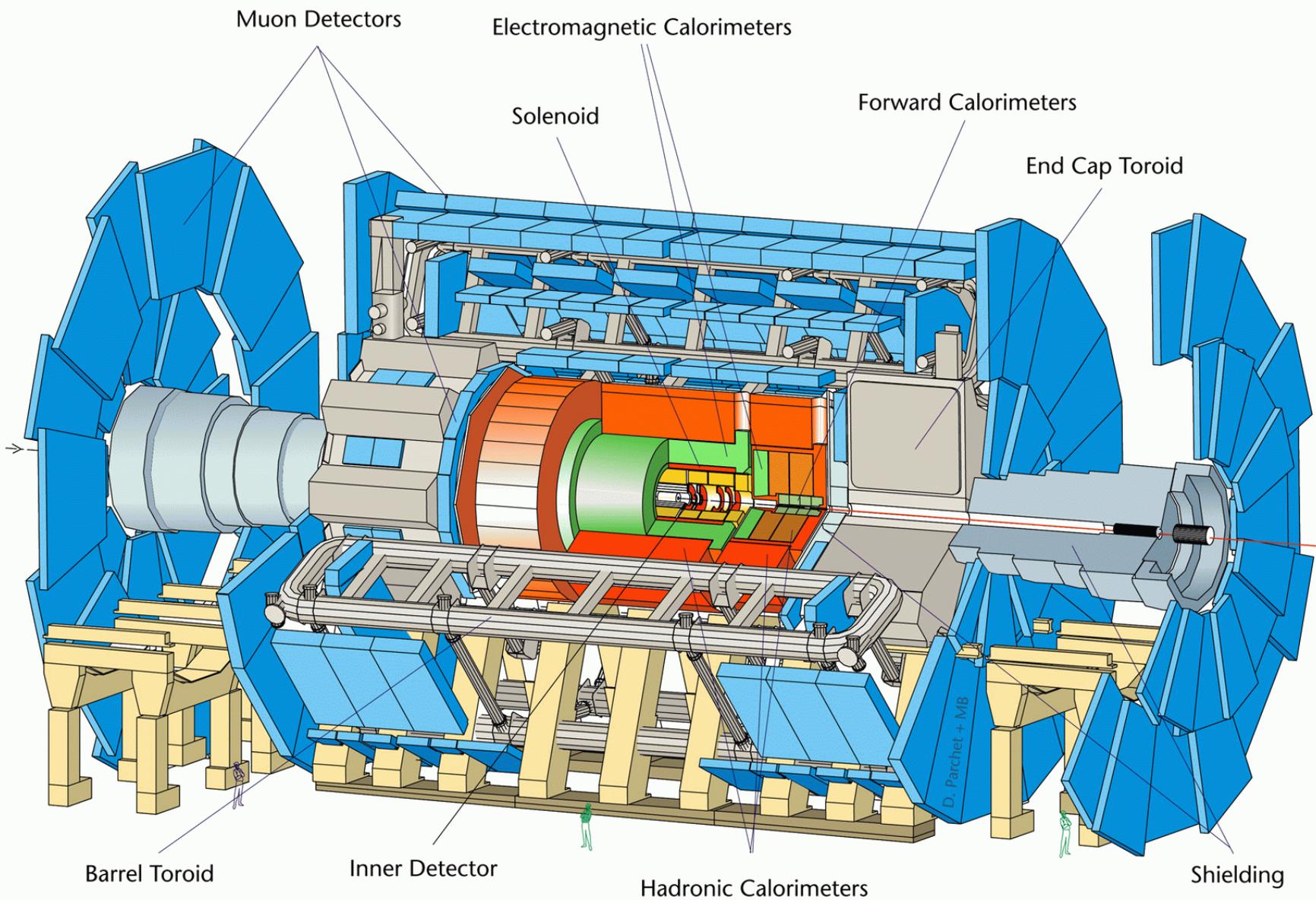
3) Calibration des données:

- a) Principe de la méthode et implémentation
- b) Validation sur les simulations
- c) ... et sur les données



1) Planck

b) La Mission Planck



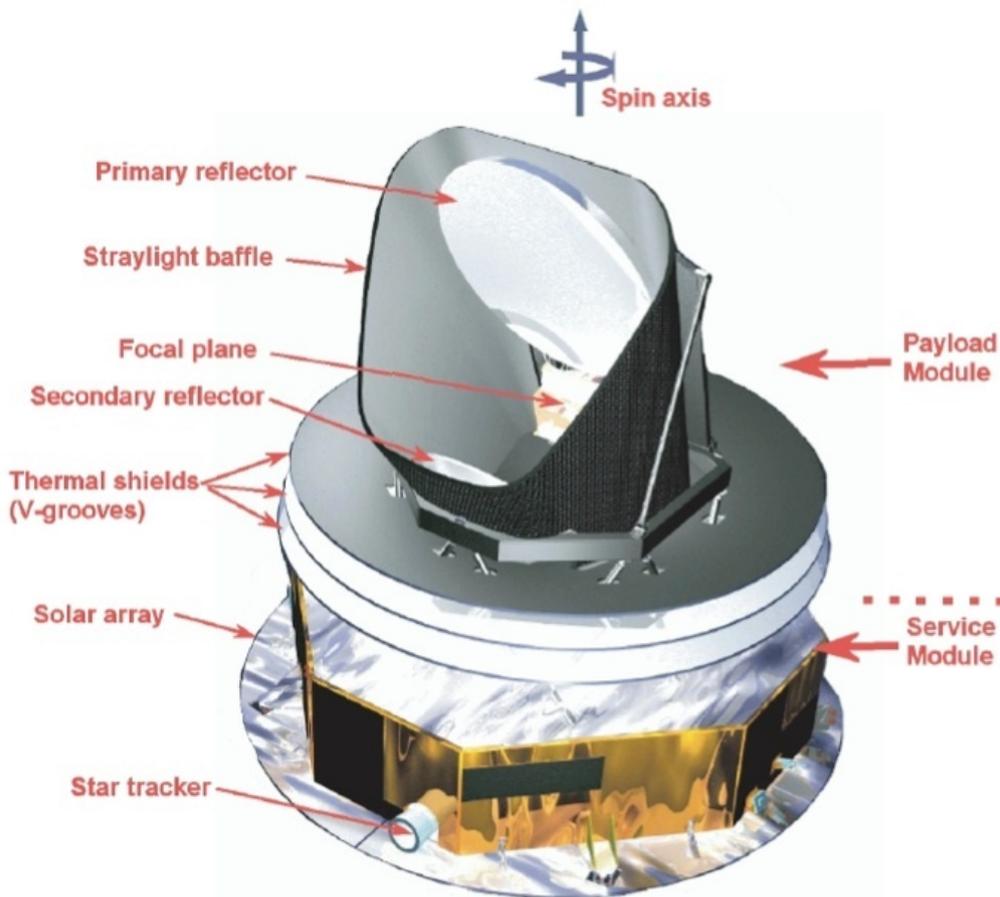


1) Planck

b) La Mission Planck



Mission de l'ESA lancée le 14 Mai 2009 en Guyane





1) Planck

b) La Mission Planck



Mission de l'ESA lancée le 14 Mai 2009 en Guyane

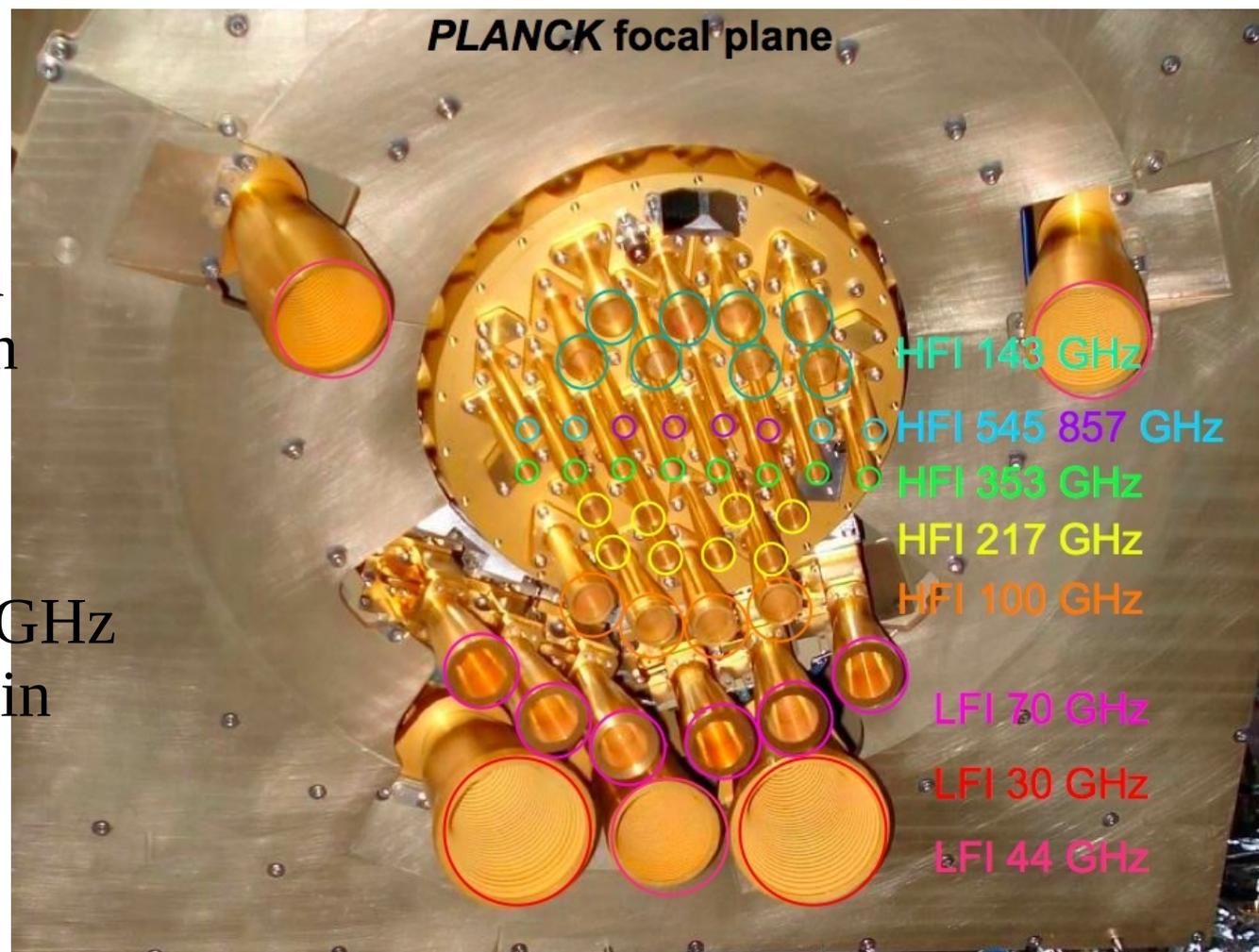
Détecteur **HFI**:

- 52 bolomètres: 6 bandes
100 - 857GHz
- Sensible à la polarisation
- Résolution \sim 5-10 arcmin
- Refroidit à 100 mK

Détecteur **LFI**:

- Radiomètres: 30, 44, 70 GHz
- Résolution \sim 10-30 arcmin
- Réfroidit à 4 K

Coût total \sim 600 M€
HFI \sim 150M€





1) Planck

b) La Mission Planck



Planck en quelques dates et chiffres:

- 1992 Premières études (Samba)
- 1999 Acceptation de LFI/HFI par l'ESA
- **14 Mai 2009** **Lancement en Guyane avec Herschel**





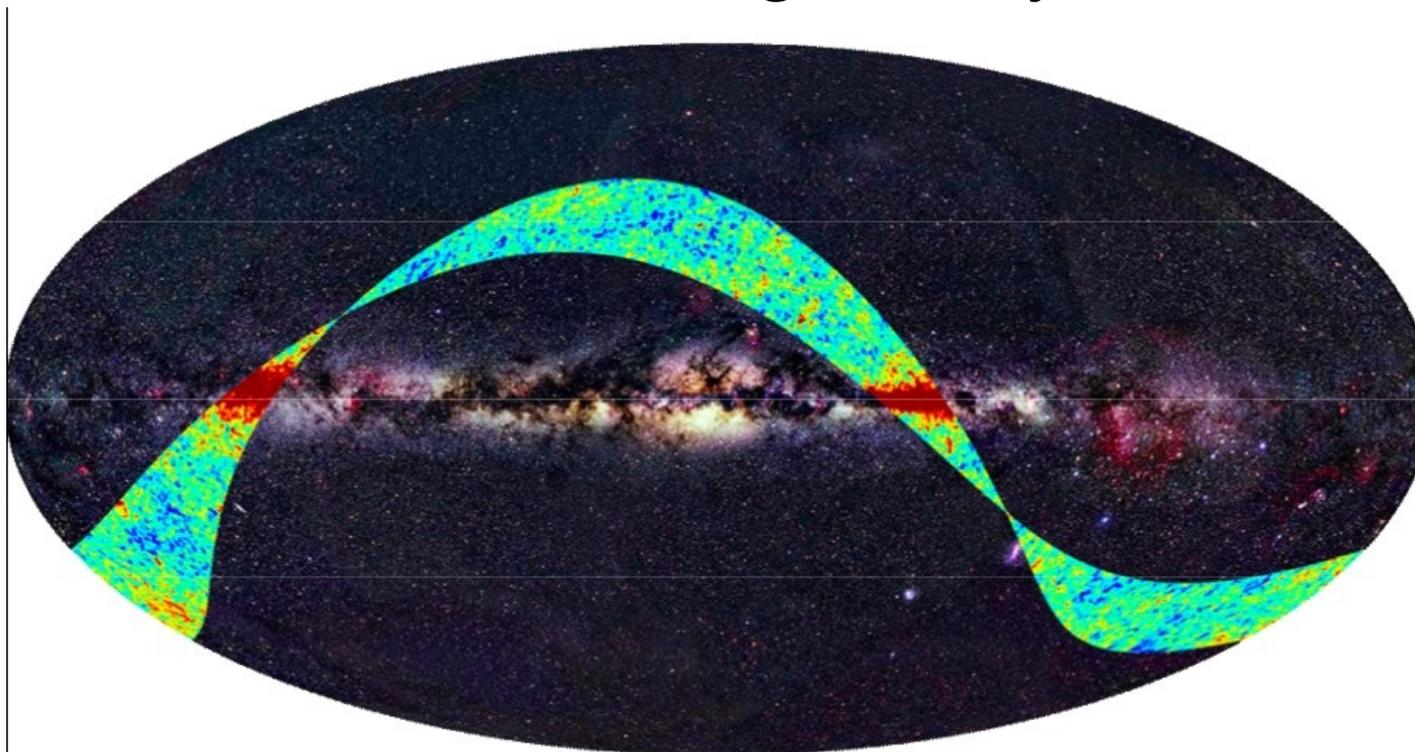
1) Planck

b) La Mission Planck



Planck en quelques dates et chiffres:

- 1992 Premières études (Samba)
- 1999 Acceptation de LFI/HFI par l'ESA
- **14 Mai 2009** **Lancement en Guyane avec Herschel**
- 13-27 Août 2009 First Light Survey





1) Planck

b) La Mission Planck



Planck en quelques dates et chiffres:

- 1992 Premières études (Samba)
- 1999 Acceptation de LFI/HFI par l'ESA
- **14 Mai 2009** **Lancement en Guyane avec Herschel**
- 13-27 Août 2009 First Light Survey
- **13 Février 2010** **First All Sky Survey (95% du ciel)**
- 13 Août 2010 Second All Sky Survey
- **~ Janvier 2012 ??** **Fin de la mission (4 Surveys)**
- Fin 2012 Release Publique des données

Collaboration de ~ 500 personnes



Plan:



- 1) Planck:
 - a) Contexte
 - b) La Mission
 - c) Objectifs scientifiques
- 2) Analyse des données:
 - a) Traitement des données temporelles
 - b) Réalisation des cartes
 - c) Séparation de composantes
 - d) Spectres de puissance et paramètres cosmologiques
- 3) Calibration des données:
 - a) Principe de la méthode et implémentation
 - b) Validation sur les simulations
 - c) ... et sur les données



1) Planck

c) Objectifs scientifiques



Physique du CMB:

- Paramètres cosmologique (avec T, E):
- Modèles d'Inflation (modes T et B)
- Non-Gaussiannités primordiales

Anisotropies Secondaires:

- Amas de Galaxie: Effet SZ (cf Talk G. Hurier)
- Gravitationnal Lensing on CMB: Masse des Neutrinos

Astrophysique:

- Physique Galactique: ISM, Magnetic Fields, CO, ...etc
- Sources Extragalactiques: Radio Sources, Quasars, CIB, ...etc
- Système Solaire: SSO, Zodical light,



Plan:



- 1) Planck:
 - a) Contexte
 - b) La Mission
 - c) Objectifs scientifiques
- 2) Analyse des données:
 - a) Traitement des données temporelles
 - b) Réalisation des cartes
 - c) Séparation de composantes
 - d) Spectres de puissance et paramètres cosmologiques
- 3) Calibration des données:
 - a) Principe de la méthode et implémentation
 - b) Validation sur les simulations
 - c) ... et sur les données



2) Analyse des données



Grandes Etapes de l'Analyse:

TOI processing:

- Mise en forme du signal
- Déconvolution des Fonction de Transfert des bolomètres: constantes de temps
- Soustraction de signaux parasites: glitches (rayons cosmiques)

+ Estimation des Beams





2) Analyse des données



Grandes Etapes de l'Analyse:

TOI processing:

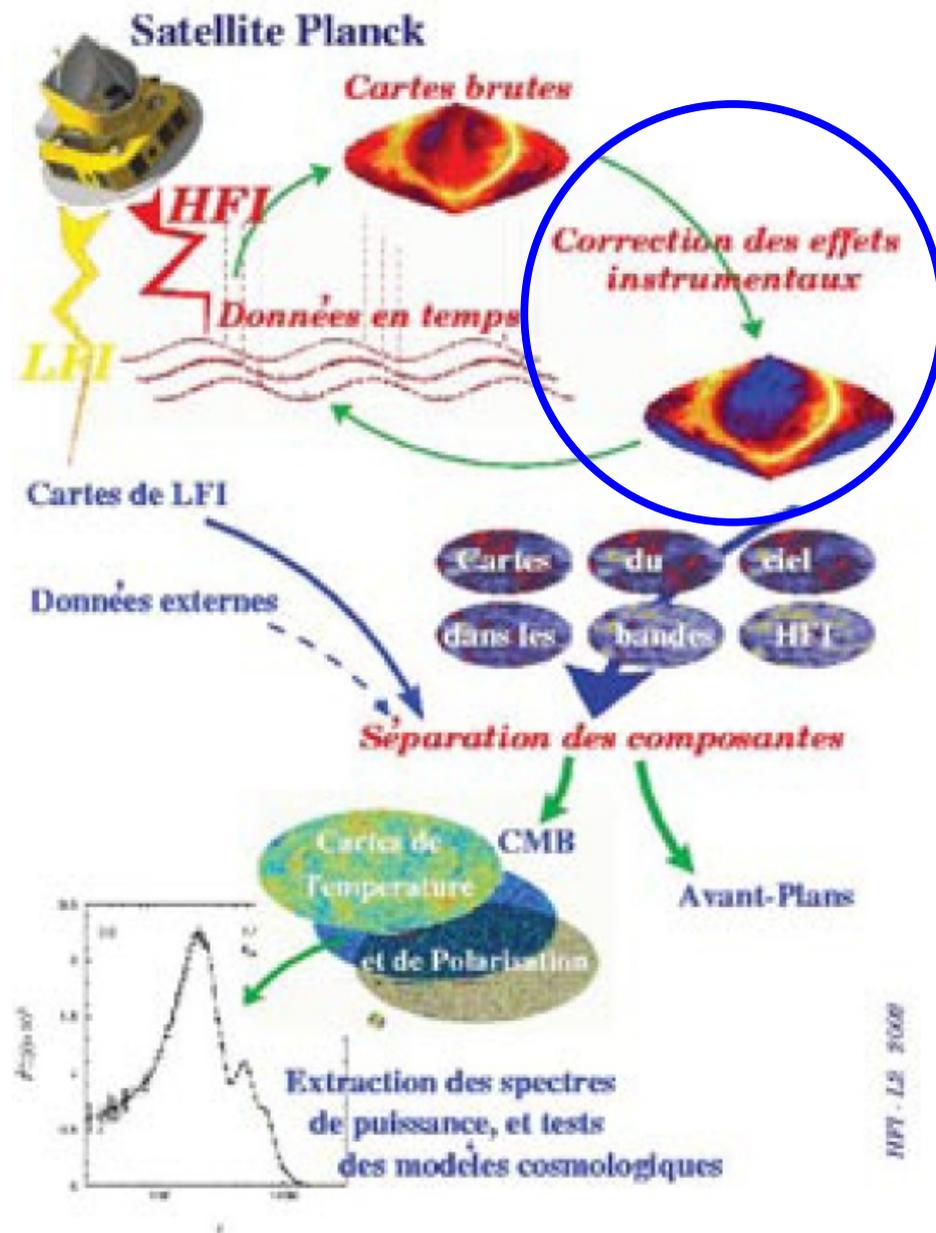
Map making:

Reconstruction des Cartes

- Calibration

- Destriage

- Projection (en combinant les bolomètres)





2) Analyse des données



Grandes Etapes de l'Analyse:

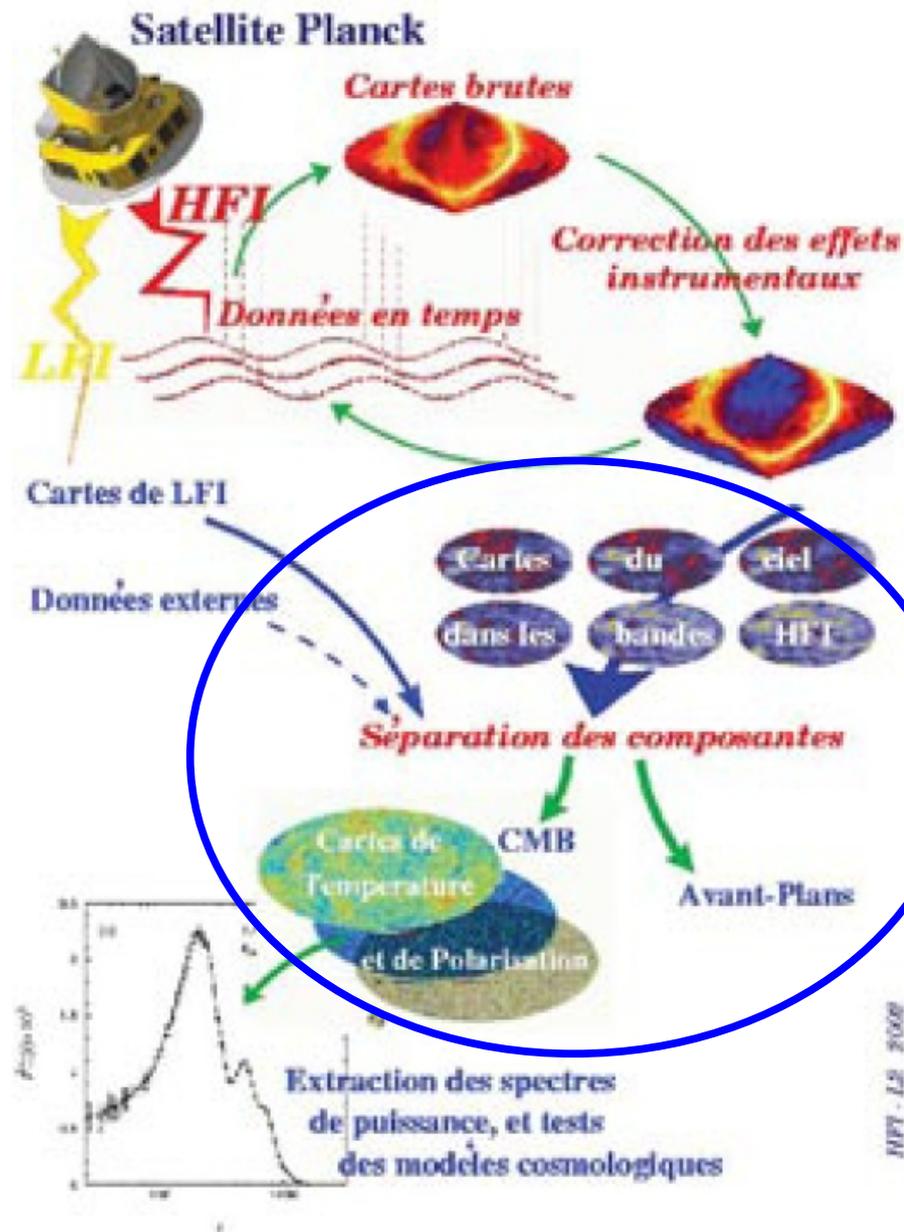
TOI processing:

Map making:

Séparation de composantes:

Pour séparer:

- CMB
- Emissions de la Galaxie: Synchrotron, Dust, CO ...etc





2) Analyse des données



Grandes Etapes de l'Analyse:

TOI processing:

Map making:

Séparation de composantes:

Spectre de puissance:

- Estimation des spectres (T, E, B)
- Estimation des paramètres cosmologiques





Plan:



- 1) Planck:
 - a) Contexte
 - b) La Mission
 - c) Objectifs scientifiques
- 2) Analyse des données:
 - a) Traitement des données temporelles
 - b) Réalisation des cartes
 - c) Séparation de composantes
 - d) Spectres de puissance et paramètres cosmologiques
- 3) Calibration des données:
 - a) Principe de la méthode et implémentation
 - b) Validation sur les simulations
 - c) ... et sur les données

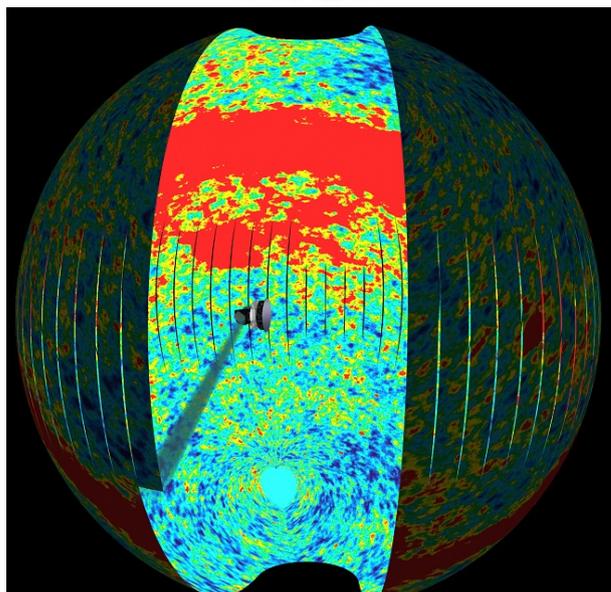
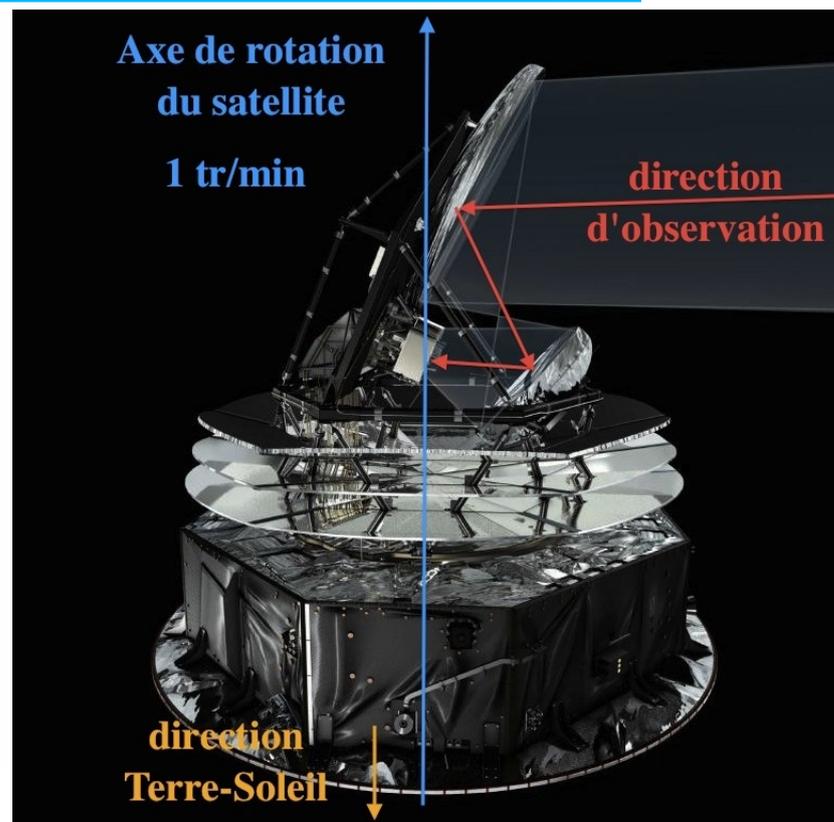
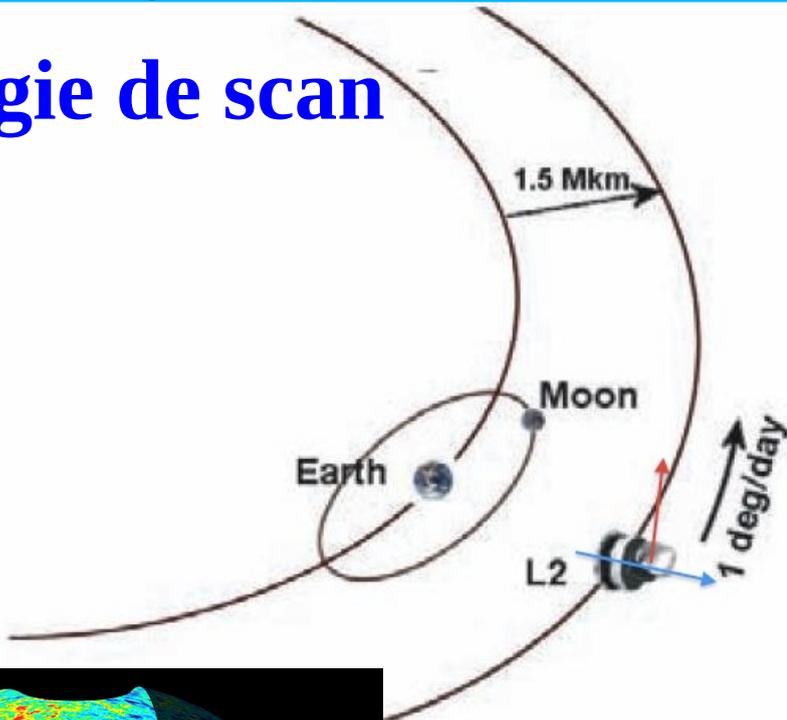


2) Analyse des données

a) Données ordonnées en temps



Stratégie de scan



- 1 cercle = 1 rotation du satellite sur son axe
- 1 ring ~ 40 - 60 cercles
- 1 survey ~ 6-7 mois ~ 5800 rings

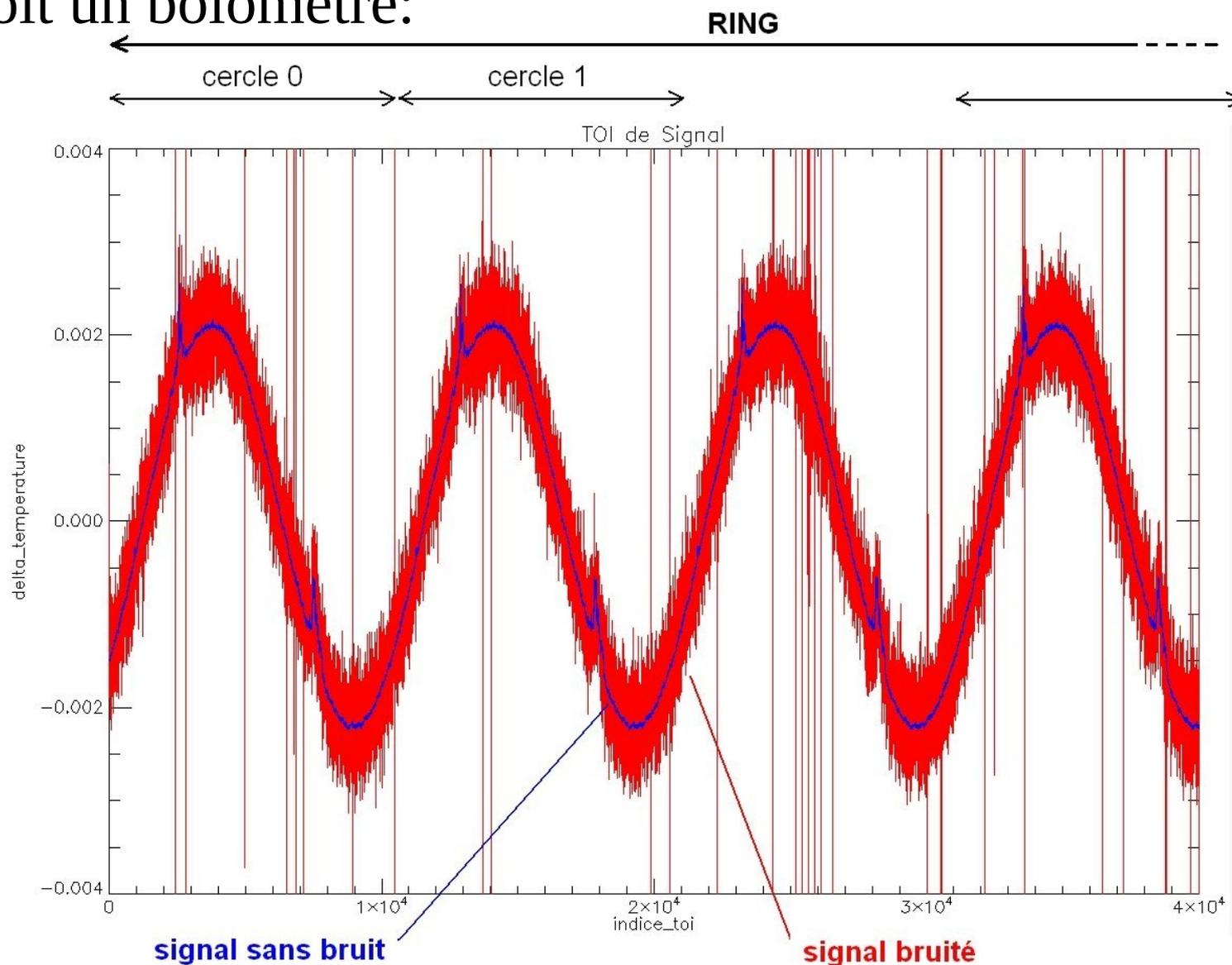


2) Analyse des données

a) Données ordonnées en temps



Ce que voit un bolomètre:





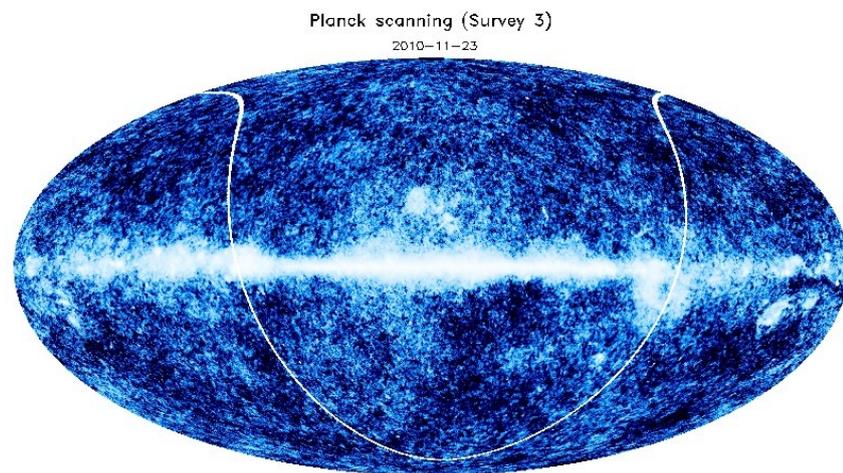
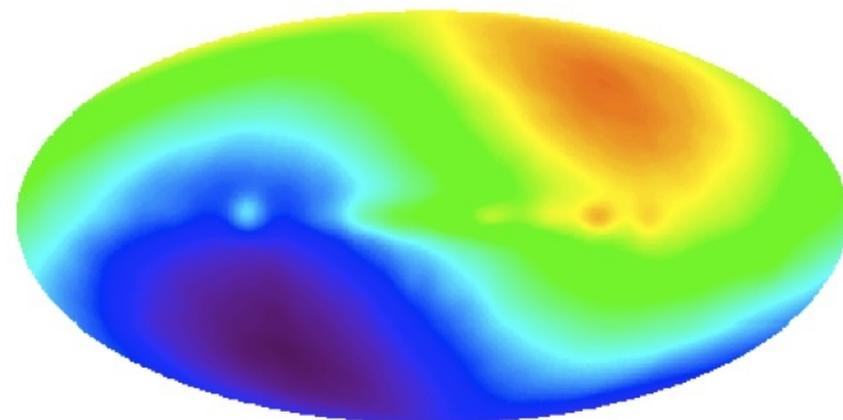
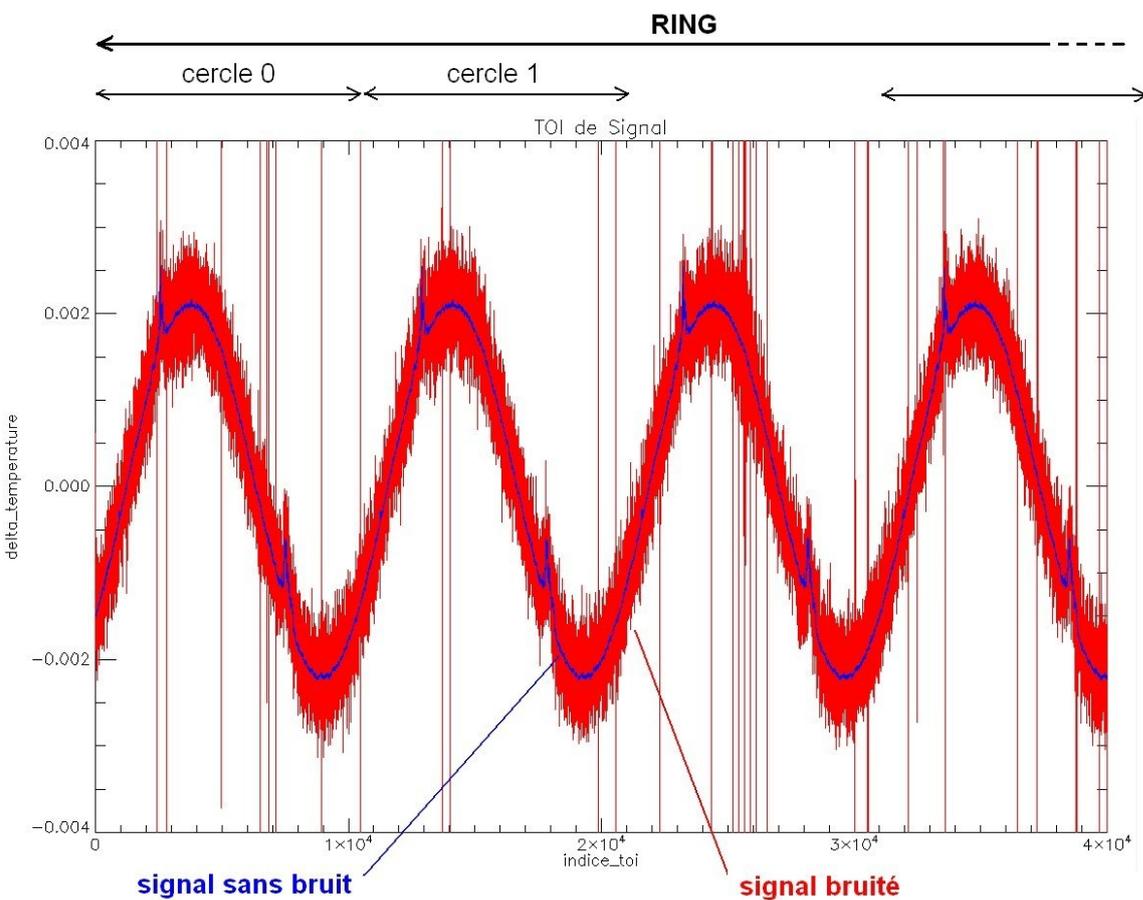
2) Analyse des données

a) Données ordonnées en temps



Ce que voit un bolomètre:

Dipôle Galactique/Cosmologique



Background Image credit: NASA/WMAP; Animation credit: Chris North

Rings Scan 23/11/2010

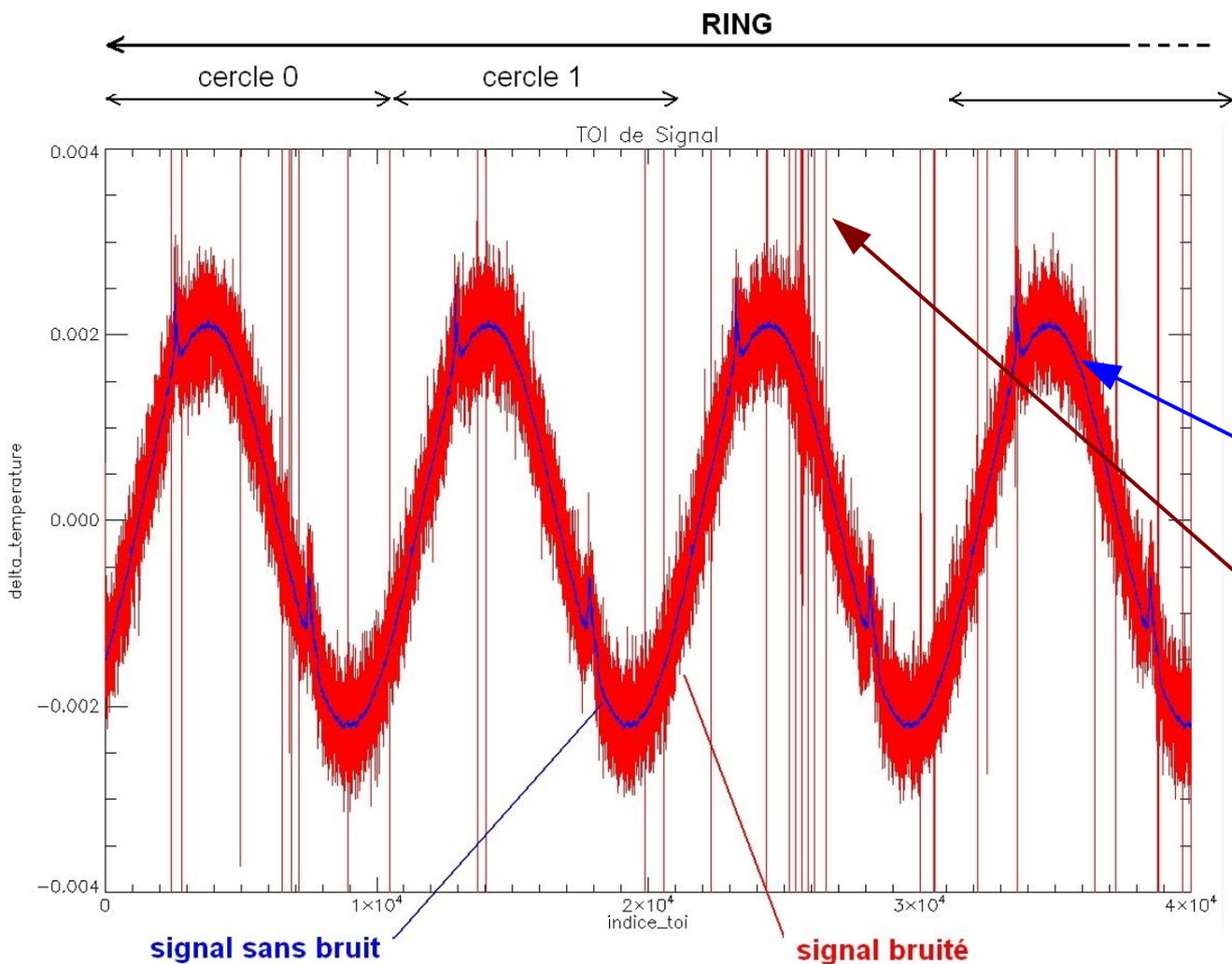


2) Analyse des données

a) Données ordonnées en temps



Ce que voit un bolomètre:



Dipôle

Galaxie

CMB

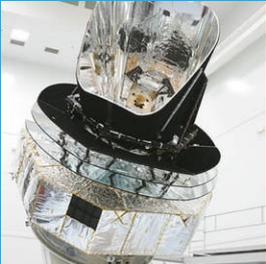
Glitches – Rayons
Cosmique \sim GeV
(à partir de 100MeV)



Plan:



- 1) Planck:
 - a) Contexte
 - b) La Mission
 - c) Objectifs scientifiques
- 2) Analyse des données:
 - a) Traitement des données temporelles
 - b) Réalisation des cartes
 - c) Séparation de composantes
 - d) Spectres de puissance et paramètres cosmologiques
- 3) Calibration des données:
 - a) Principe de la méthode et implémentation
 - b) Validation sur les simulations
 - c) ... et sur les données



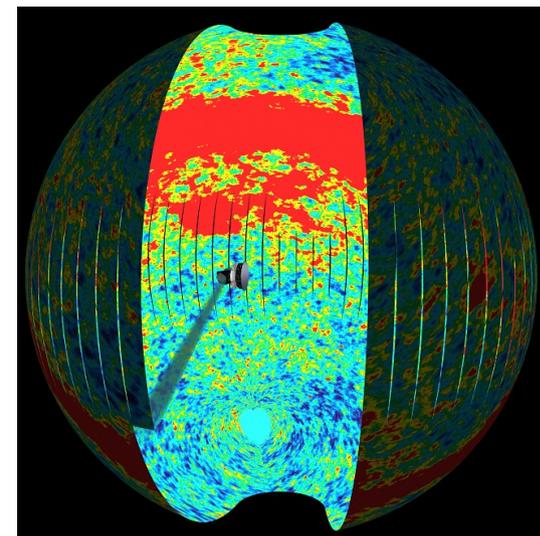
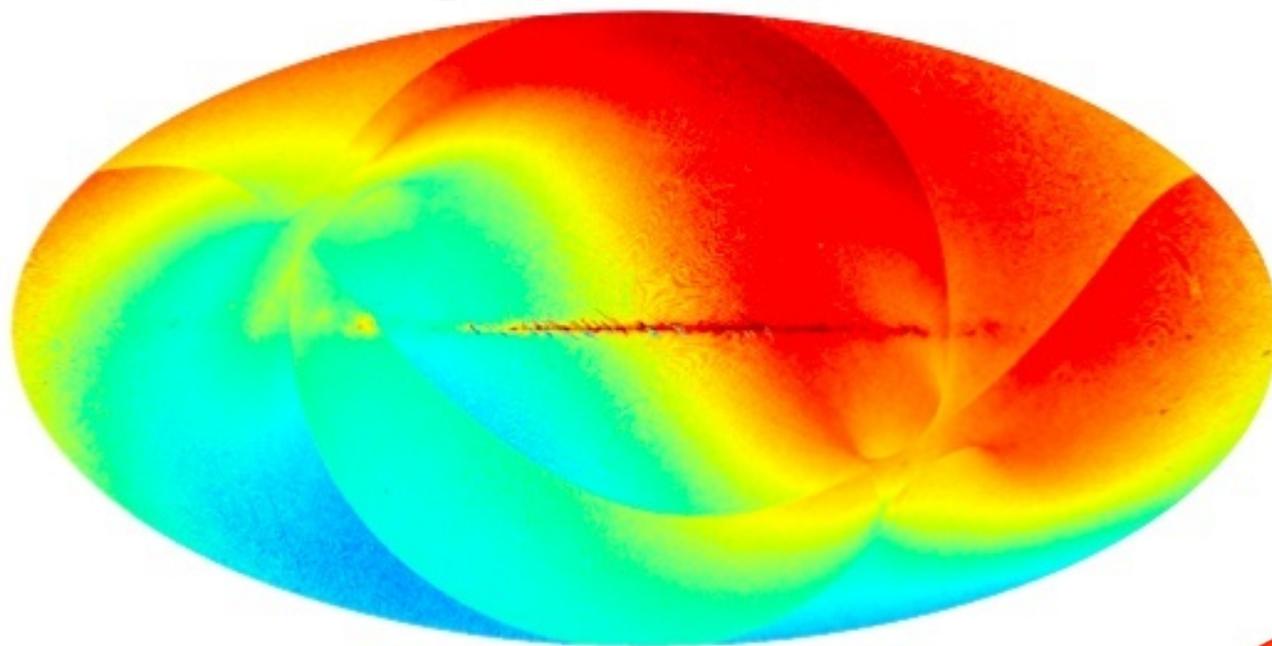
2) Analyse des données

b) MapMaking

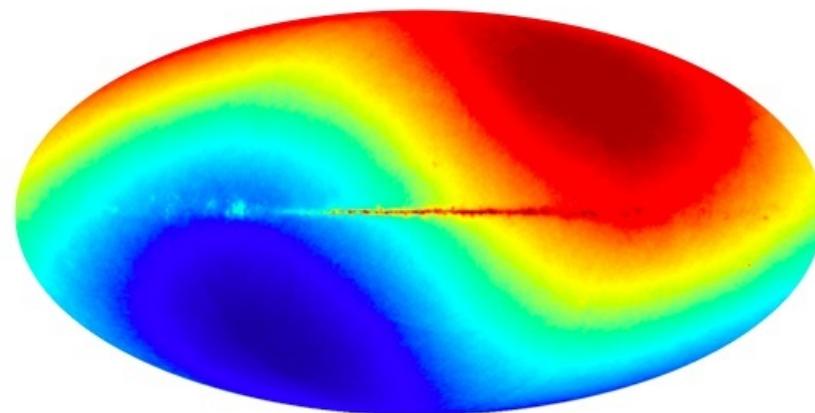


Projection des données ordonnées en temps sur le ciel

Brute force projection



- Inhomogénéité du scan



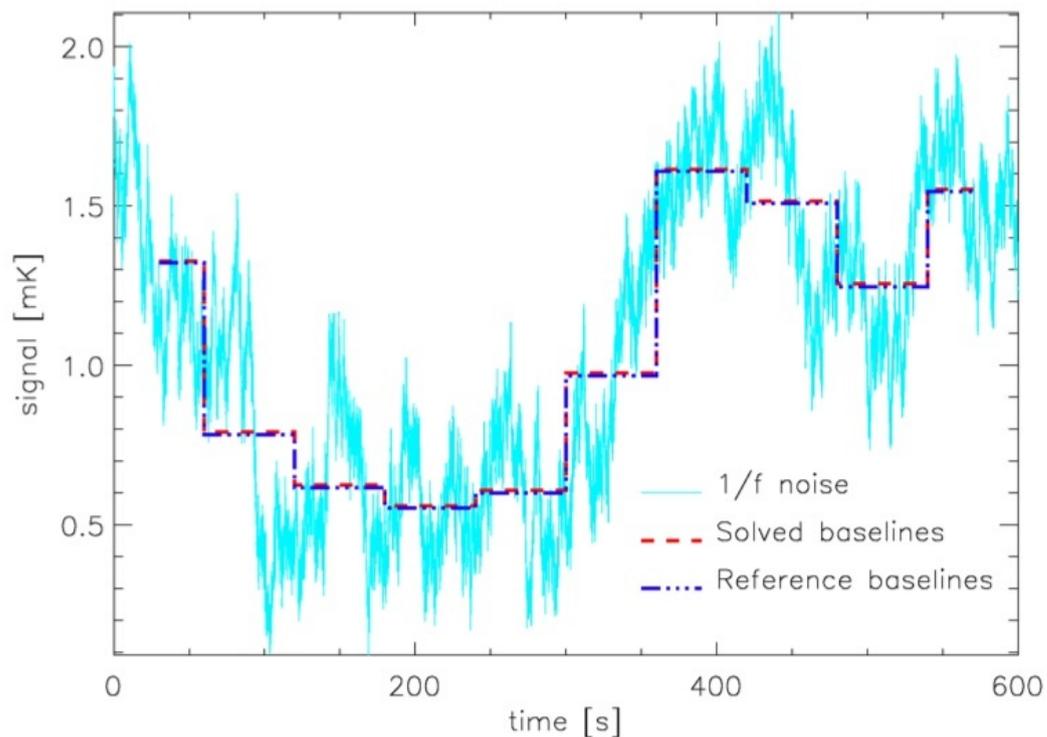


2) Analyse des données

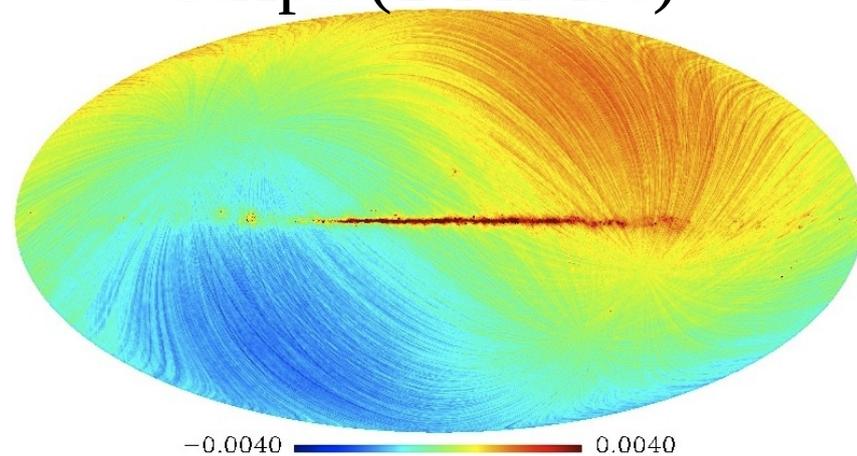
b) MapMaking



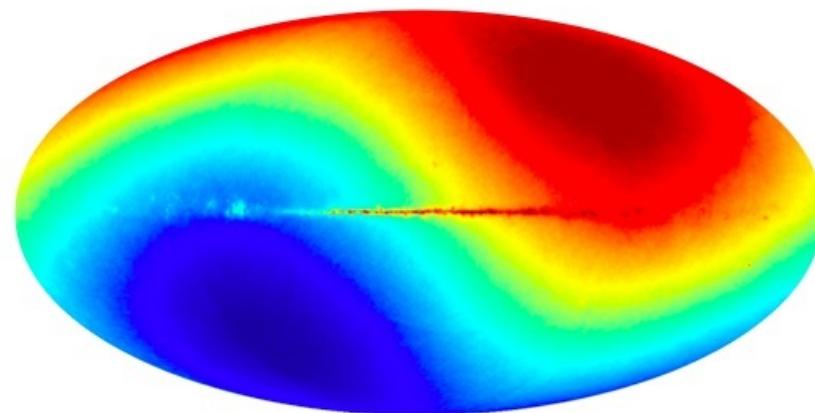
Projection des données ordonnées en temps sur le ciel



Stripe (1/f noise)



- Traitement du bruit en 1/f:
DESTRIPING





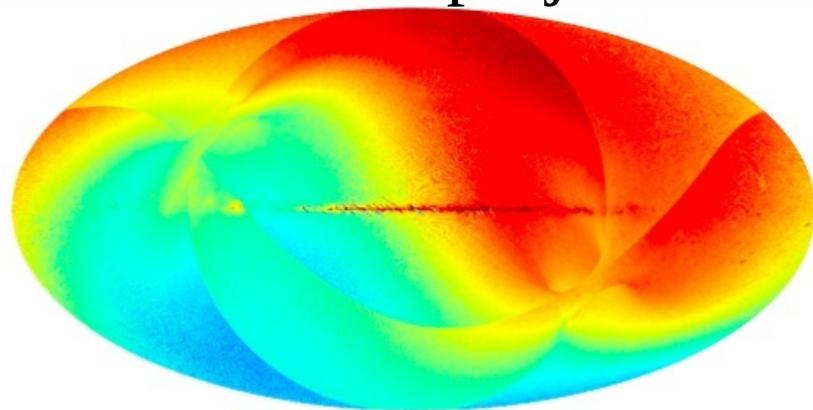
2) Analyse des données

b) MapMaking

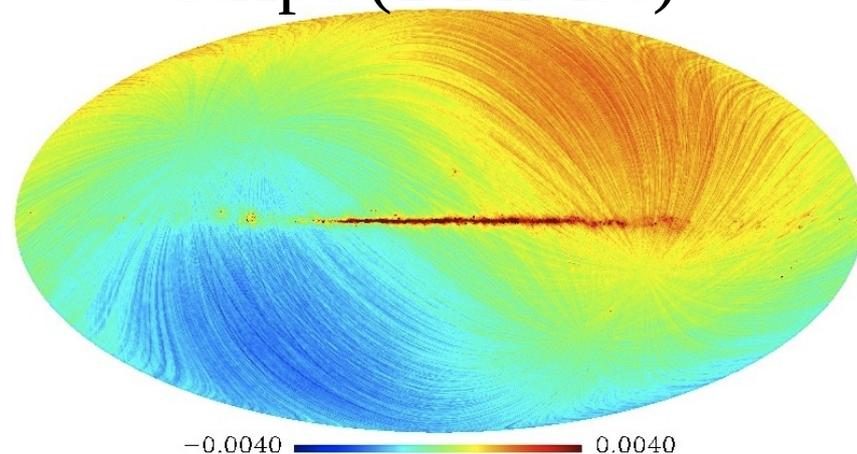


Projection des données ordonnées en temps sur le ciel

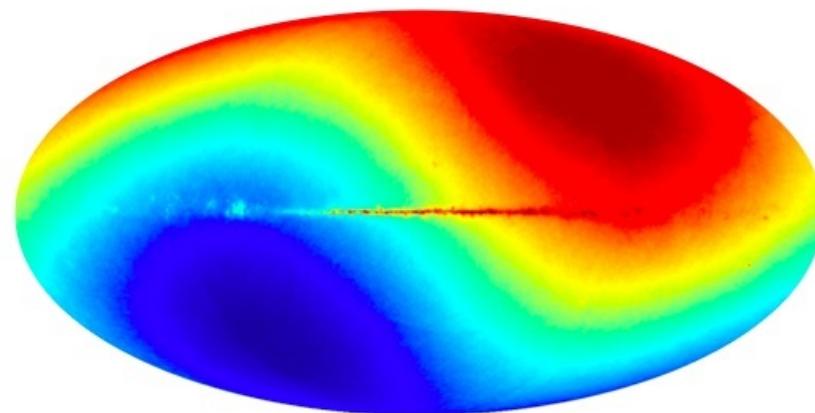
Brute force projection



Stripe (1/f noise)



- Inhomogénéité du scan
- Traitement du bruit : Destriping
- Calibration
- Soustraction du dipole





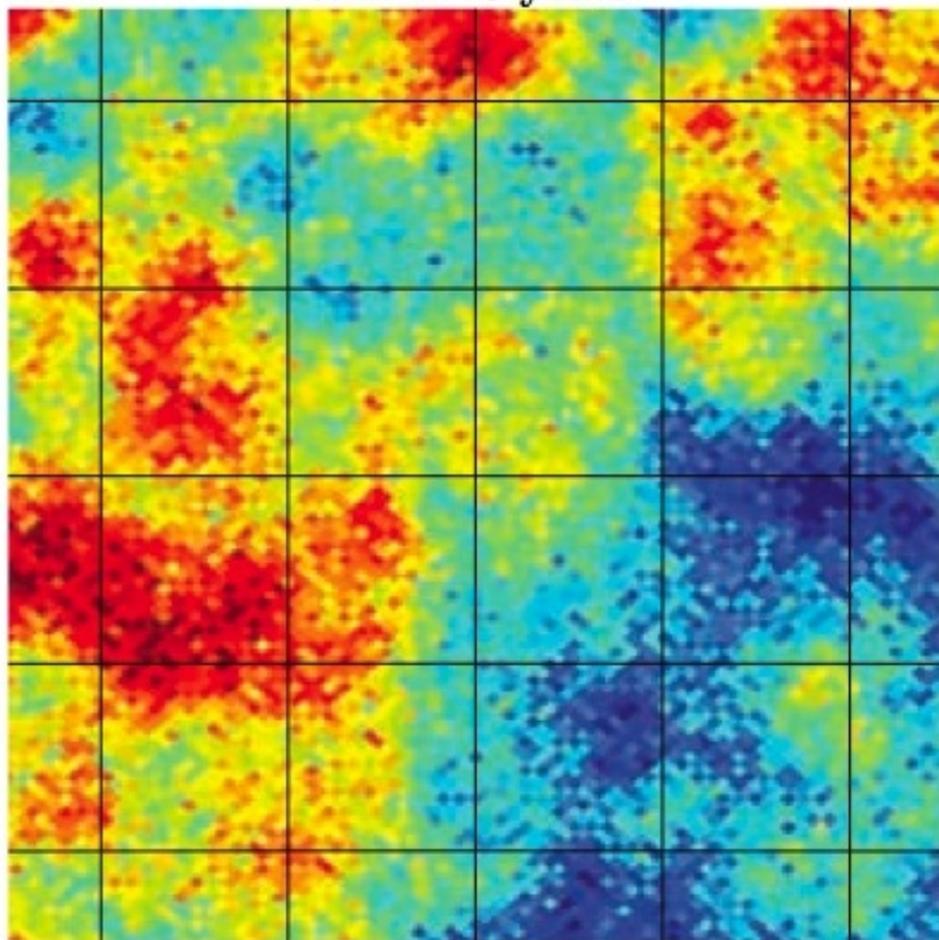
2) Analyse des données

b) MapMaking



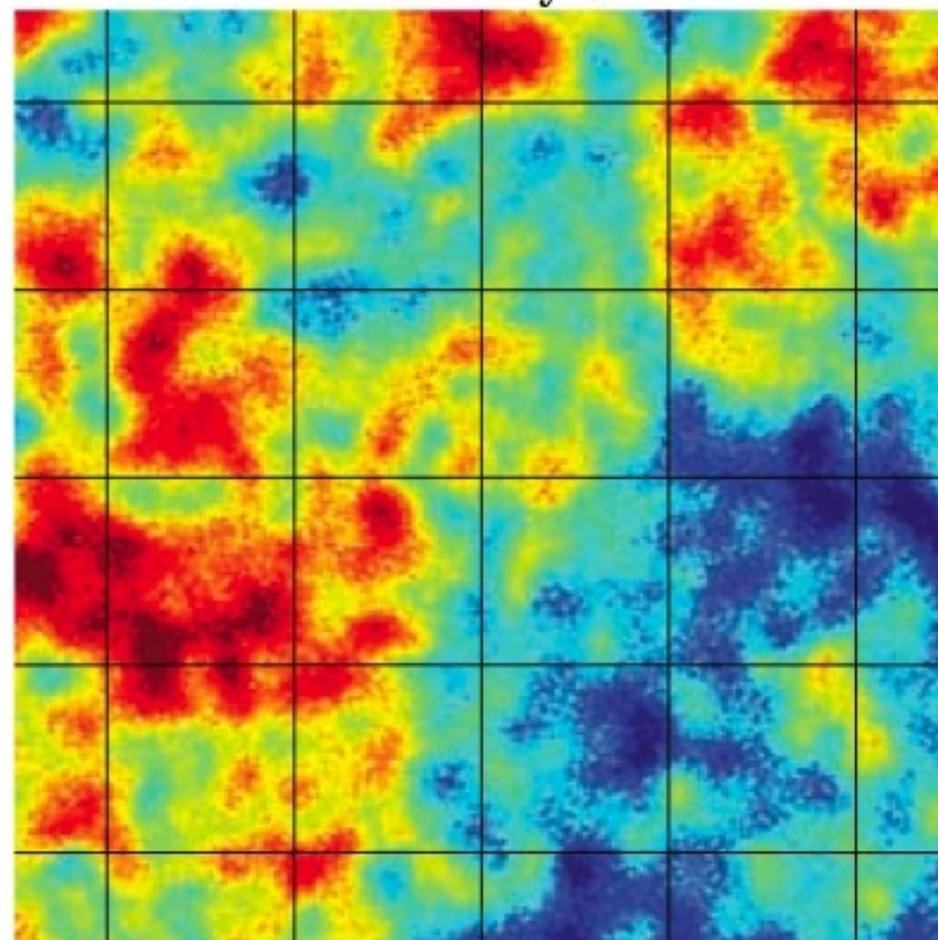
Comparaison WMAP / Planck

WMAP 8 years



-300 300 μK

Planck 1 year



-300 300 μK



Plan:

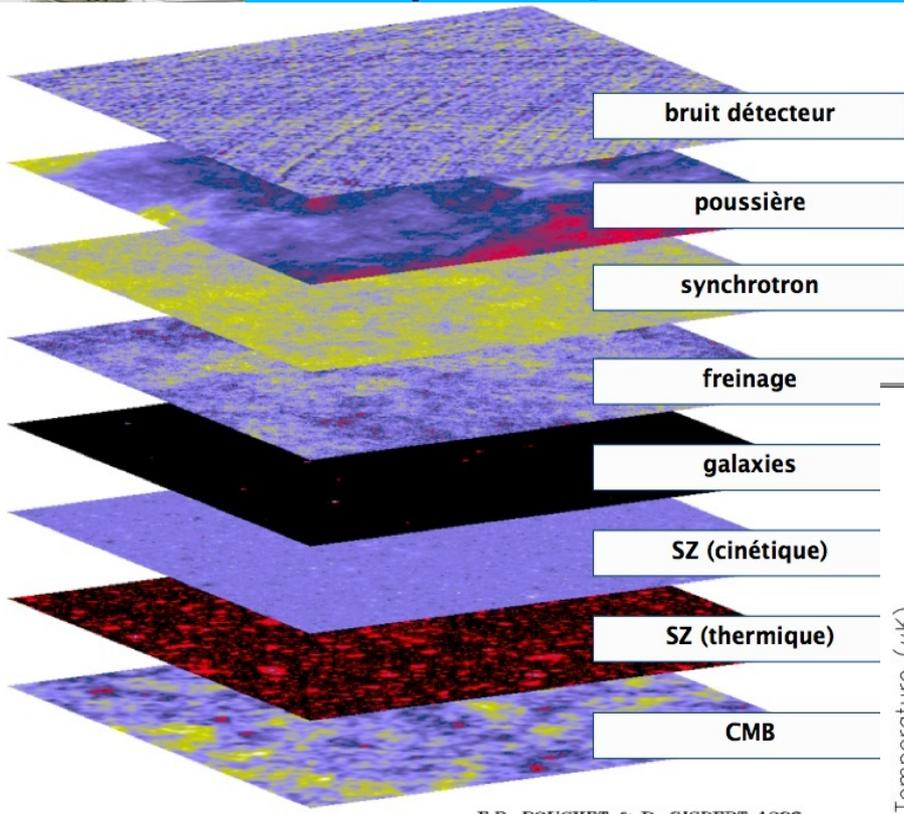


- 1) Planck:
 - a) Contexte
 - b) La Mission
 - c) Objectifs scientifiques
- 2) Analyse des données:
 - a) Traitement des données temporelles
 - b) Réalisation des cartes
 - c) Séparation de composantes
 - d) Spectres de puissance et paramètres cosmologiques
- 3) Calibration des données:
 - a) Principe de la méthode et implémentation
 - b) Validation sur les simulations
 - c) ... et sur les données

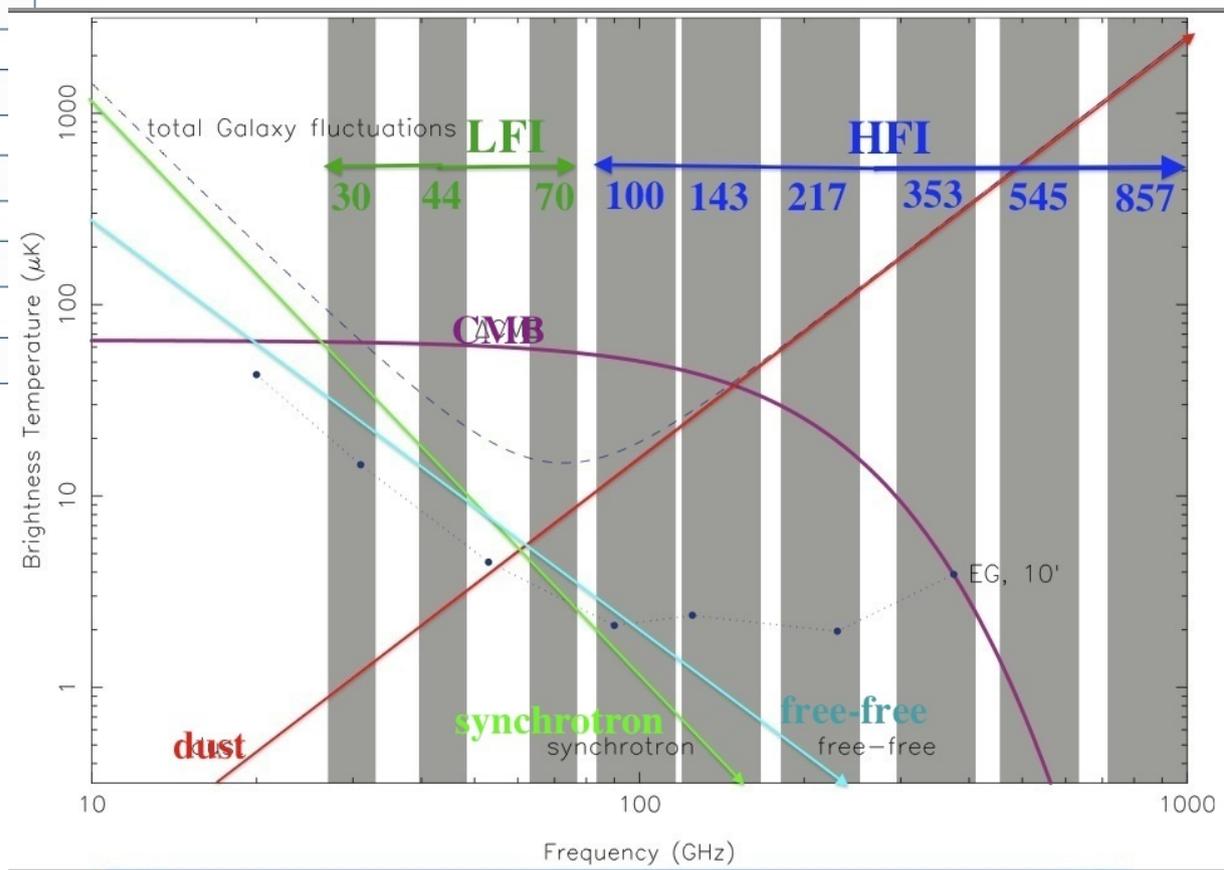


2) Analyse des données

c) Séparation de Composantes



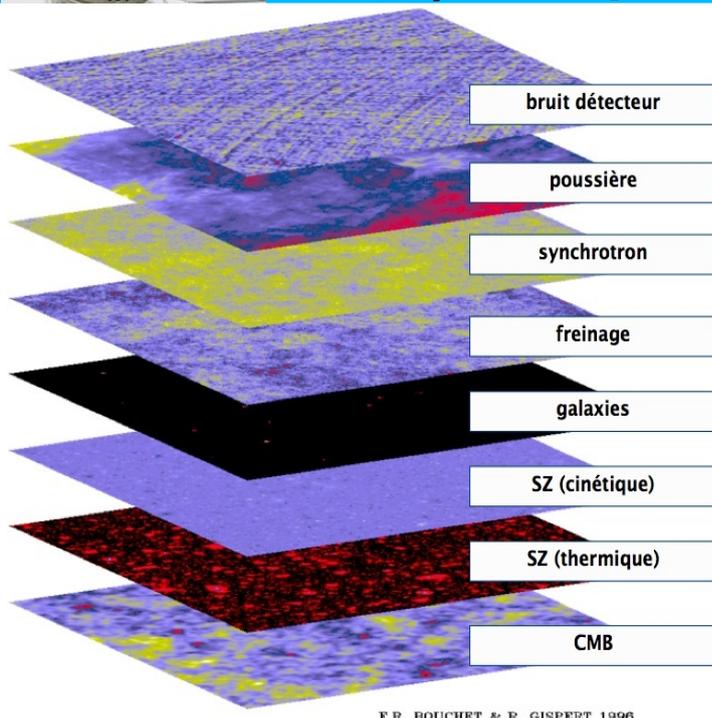
F.R. BOUCHET & R. GISPERT 1996



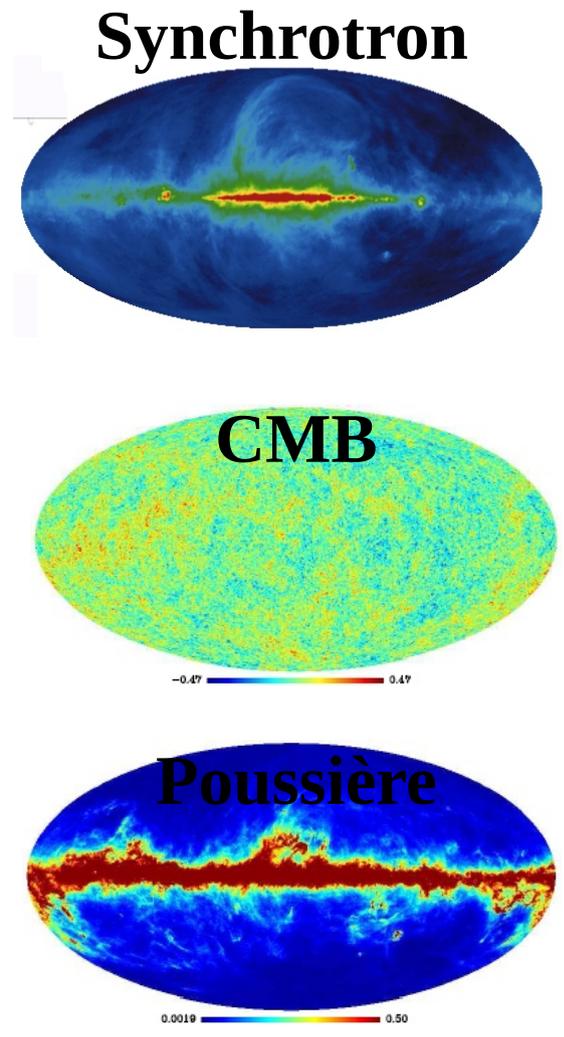
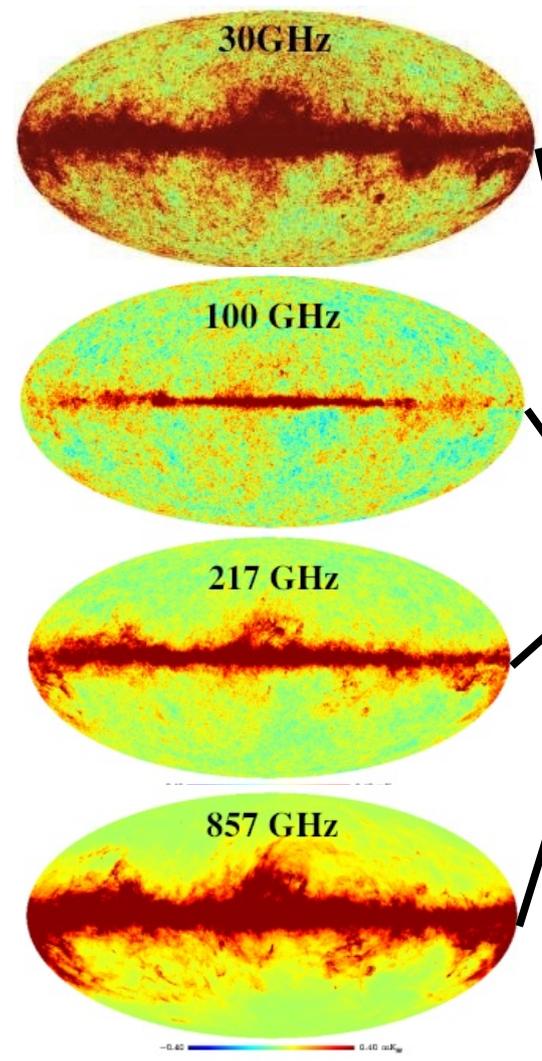
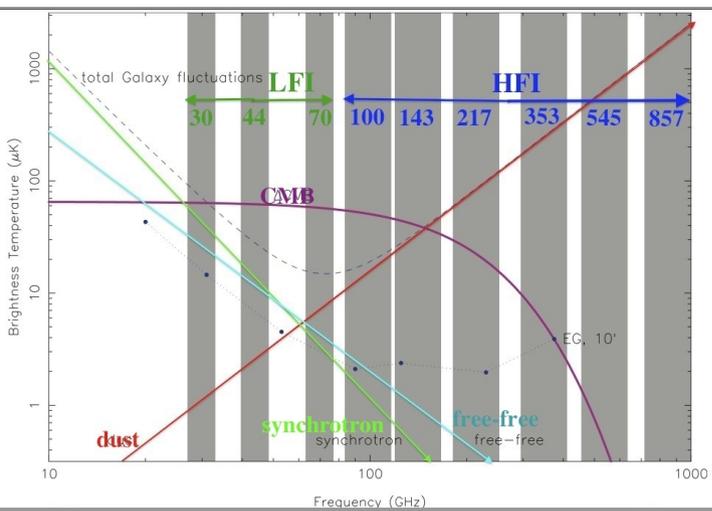


2) Analyse des données

c) Séparation de Composantes



F.R. BOUCHET & R. GISPERT 1996



Special Thanks to Mr Hurier



Plan:



- 1) Planck:
 - a) Contexte
 - b) La Mission
 - c) Objectifs scientifiques
- 2) Analyse des données:
 - a) Traitement des données temporelles
 - b) Réalisation des cartes
 - c) Séparation de composantes
 - d) Spectres de puissance et paramètres cosmologiques
- 3) Calibration des données:
 - a) Principe de la méthode et implémentation
 - b) Validation sur les simulations
 - c) ... et sur les données

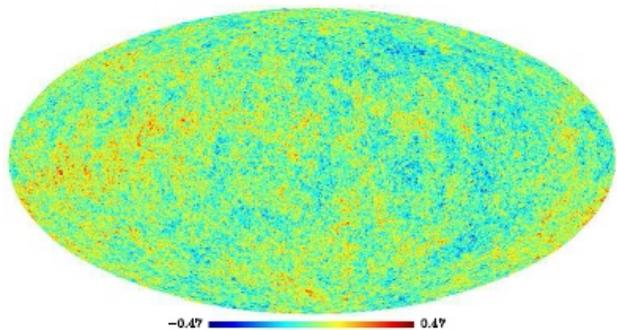


2) Analyse des données

d) Spectres et Paramètres Cosmo



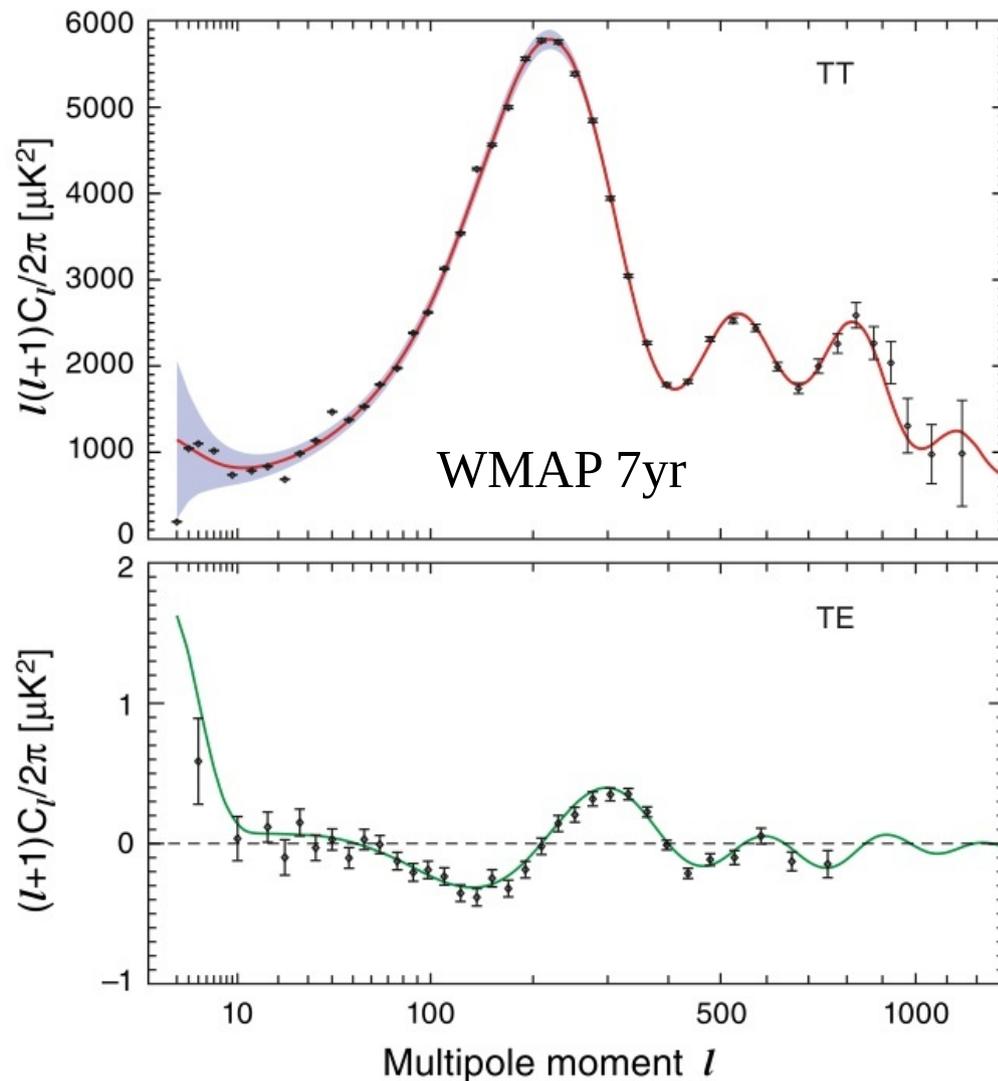
HFI PLANCK



Décomposition en Harmoniques Sphériques

$$\frac{\Delta T}{T}(\theta, \phi) = \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{m=+\ell} a_{\ell m} Y_{\ell m}(\theta, \phi)$$

$$C_{\ell} = \langle a_{\ell m}^* a_{\ell m} \rangle = \langle |a_{\ell m}|^2 \rangle$$

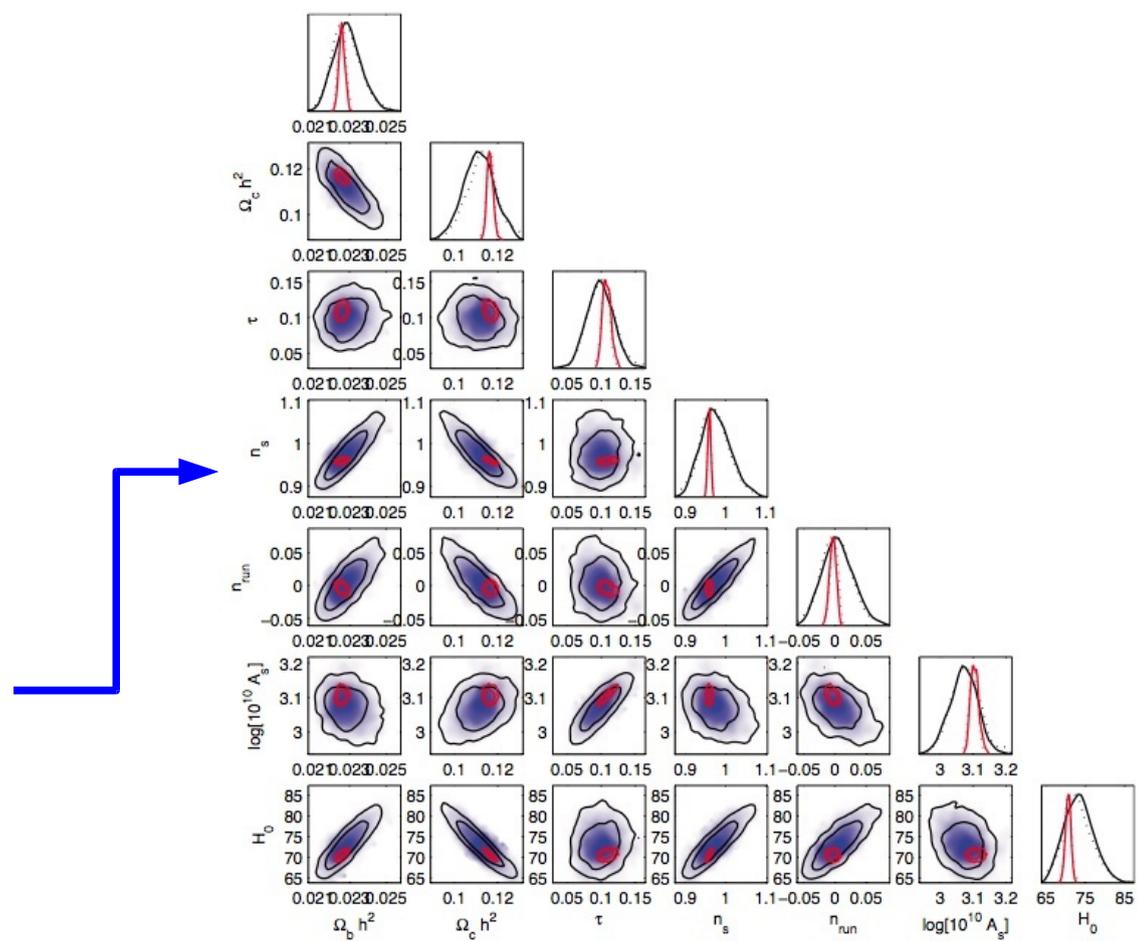
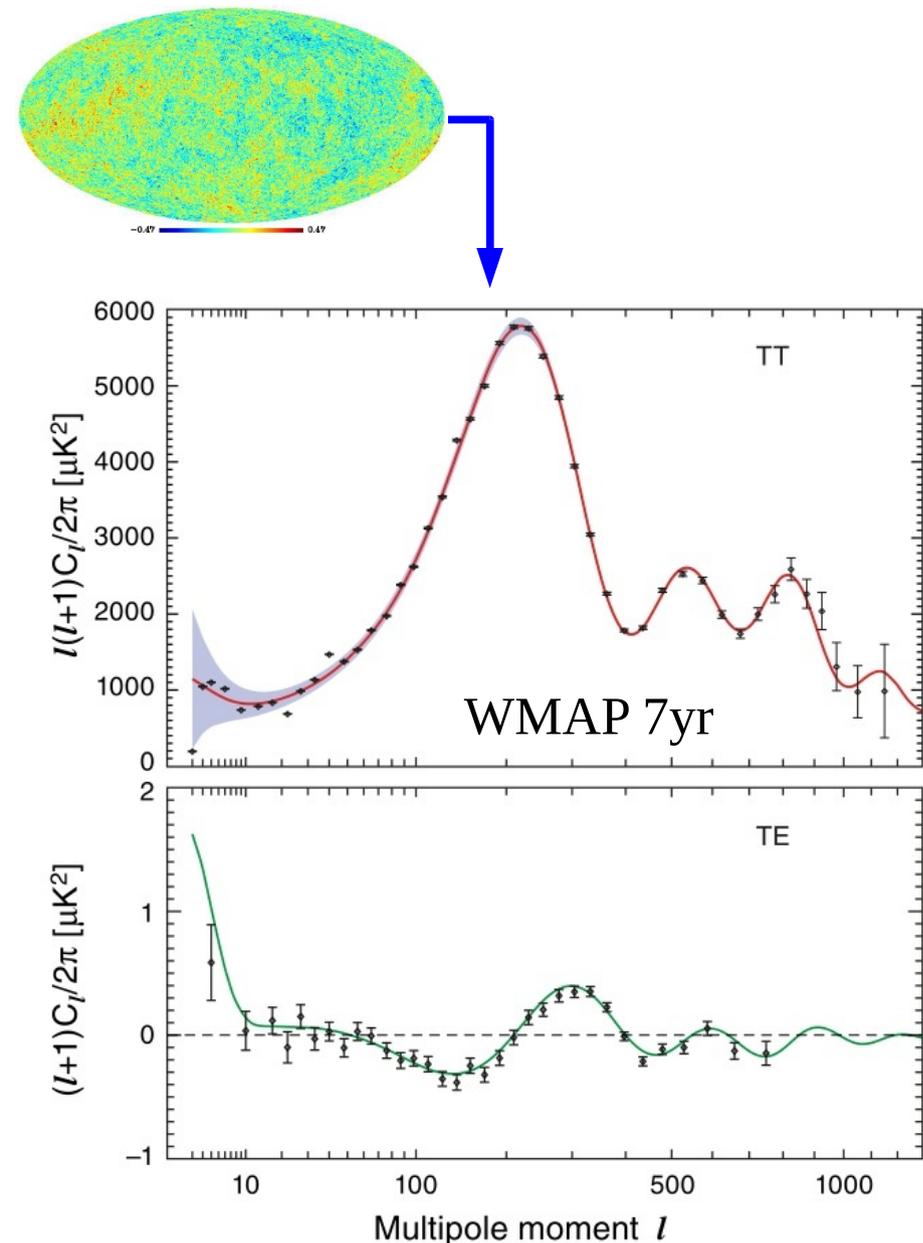


2) Analyse des données

d) Spectres et Paramètres Cosmo



HFI PLANCK



Ω_b , Ω_m , Ω_Λ , Ω_{tot} , H_0 , n_s , τ ...etc



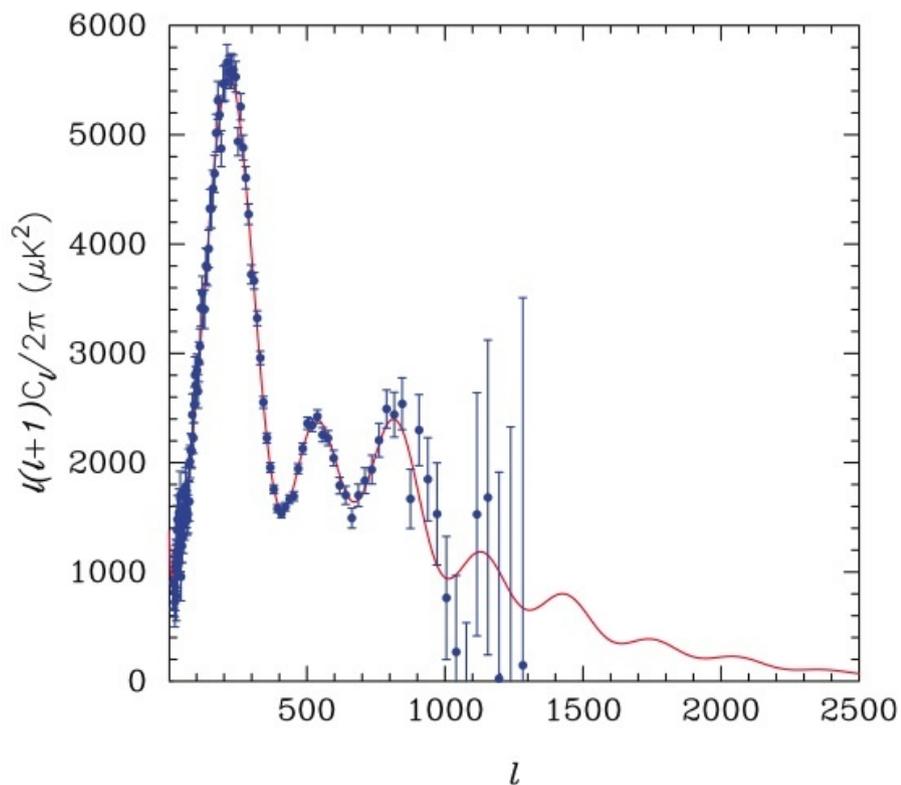
2) Analyse des données

d) Spectres et Paramètres Cosmo

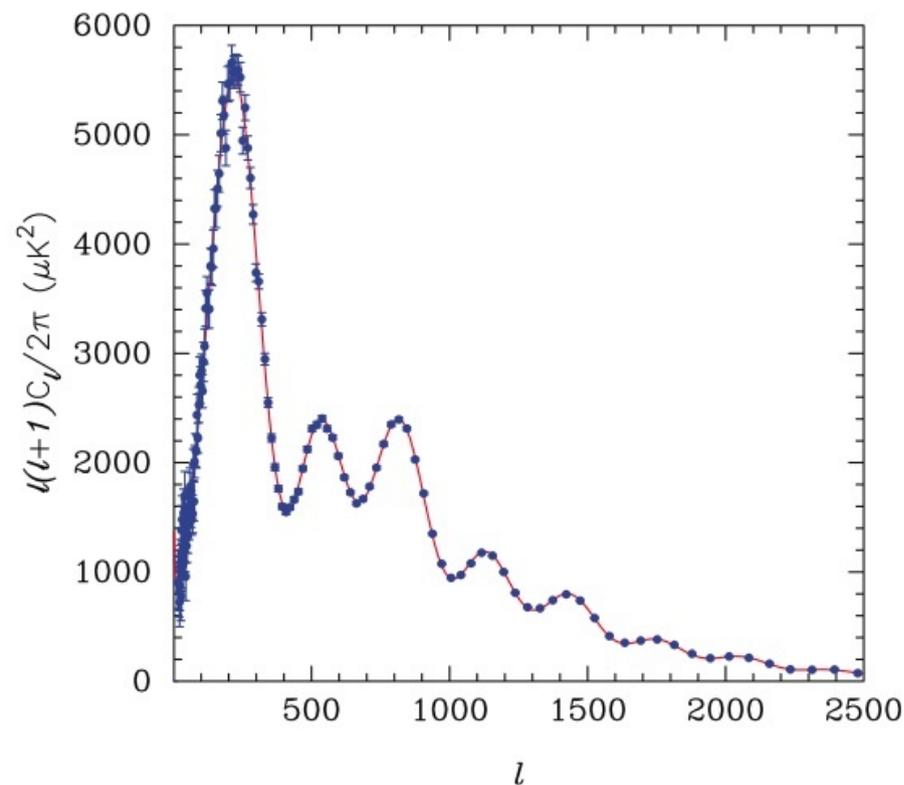


Comparaison WMAP / Planck

WMAP



PLANCK





2) Analyse des données

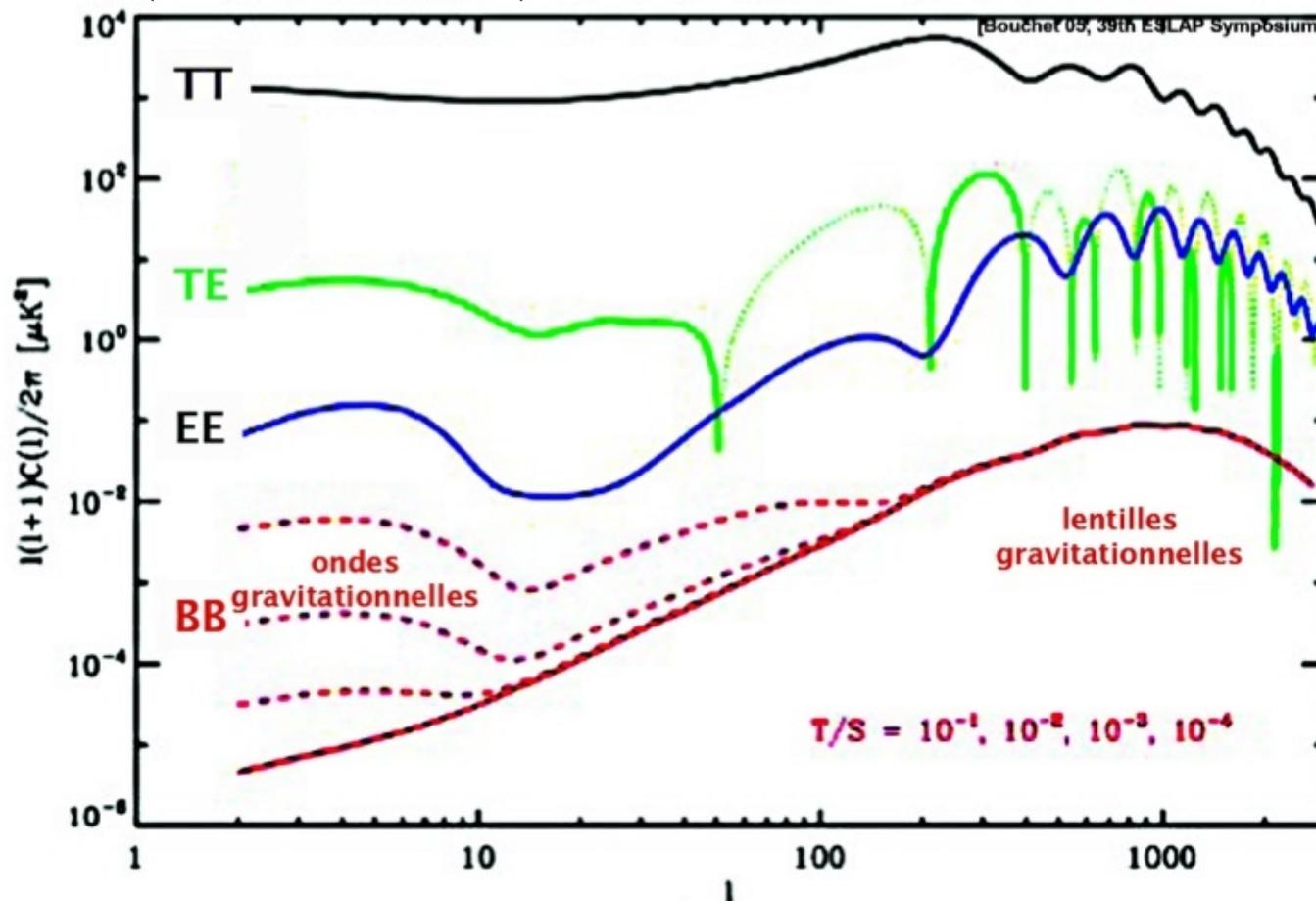
d) Spectres et Paramètres Cosmo



HFI PLANCK

Physique du CMB:

- Paramètres cosmologique (avec T, E):
- Modèles d'Inflation (modes T et B)





Plan:



- 1) Planck:
 - a) Contexte
 - b) La Mission
 - c) Objectifs scientifiques
- 2) Analyse des données:
 - a) Traitement des données temporelles
 - b) Réalisation des cartes
 - c) Séparation de composantes
 - d) Spectres de puissance et paramètres cosmologiques
- 3) Calibration des données:
 - a) Principe de la méthode et implémentation
 - b) Validation sur les simulations
 - c) ... et sur les données



3) Calibration

a) Principe

Calibrer ça veut dire quoi?

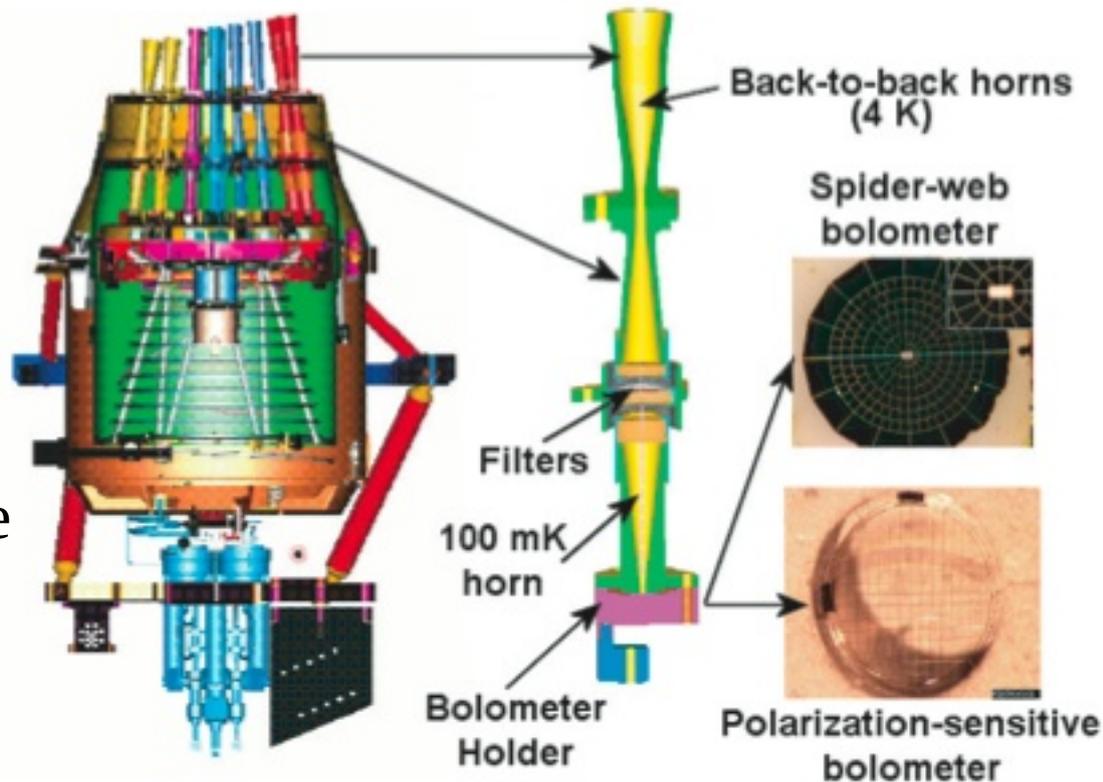
Photon absorbed by Bolometer



Bolometer Temperature increase



Electronics mesure Temperature raise



Photon Energy (T_{cmb})  Signal in Watt (or Volt)

Need to Calibrate: Watt \rightarrow K_{cmb}



3) Calibration

a) Principe



Motivation:

- Précision sur la reconstruction du Spectre T
- Problème pour combiner les PSB => Modes E, B

Précision requise: $\sim 10^{-4}$



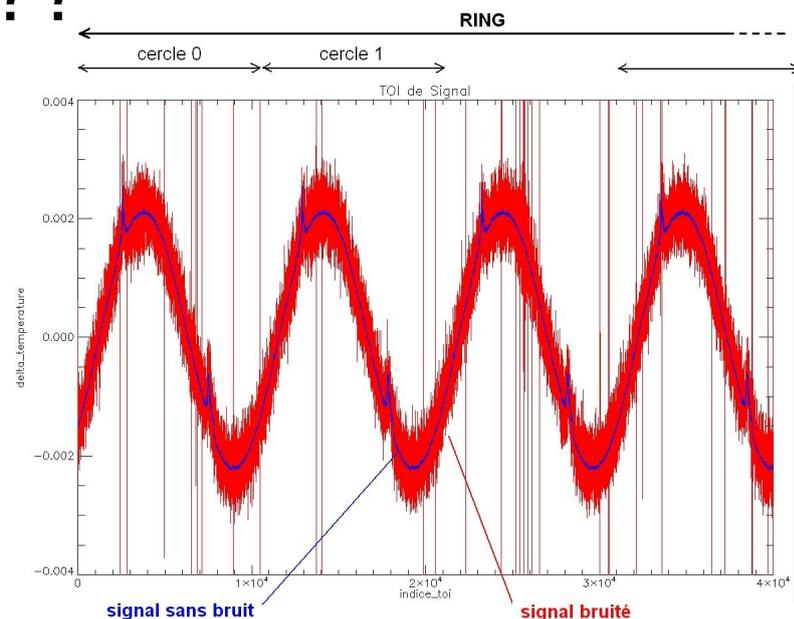
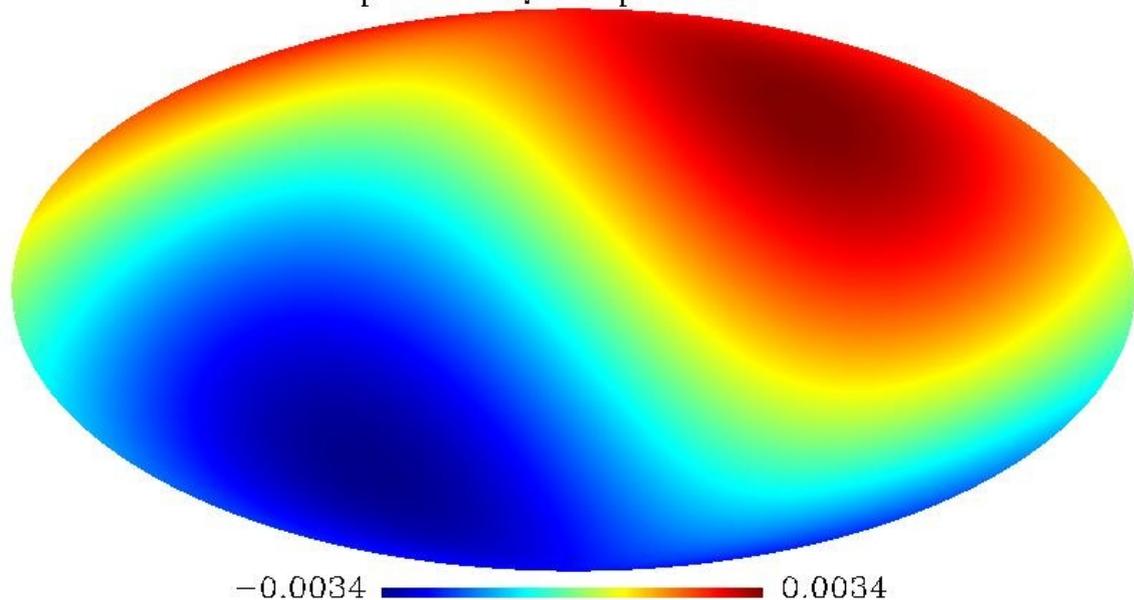
3) Calibration

a) Principe



Utilisons le dipôle cosmologique??

WMAP 7yr Solar Dipole
Template for Q&D dipole calibration



What is Solar System Speed wrt CMB ?



3) Calibration

a) Principe



Plusieurs "dipôles": le **dipôle orbital**

Doppler Effect = Satellite Motion / CMB rest frame

= Satellite / Solar Syst + Solar Syst / CMB rest frame

= **Orbital Dipole** + Cosmo Dipole

Constant Sky

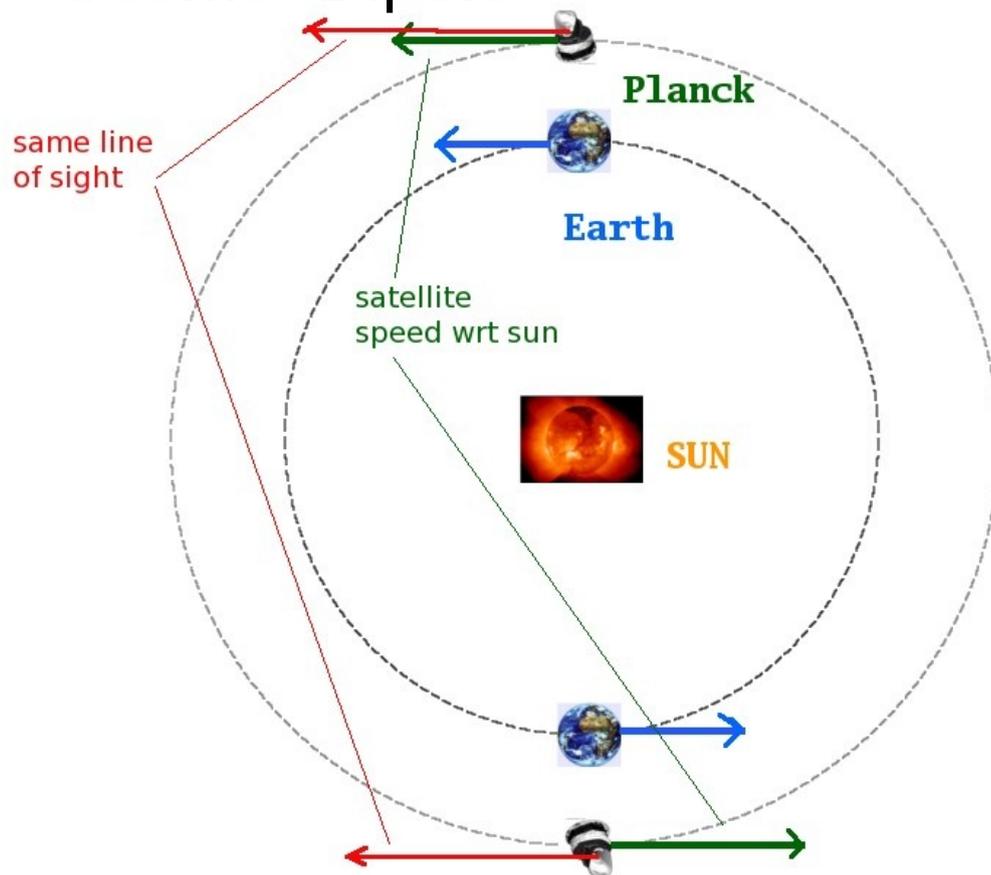
+

Different Orbital

Dipôle

+

Noise





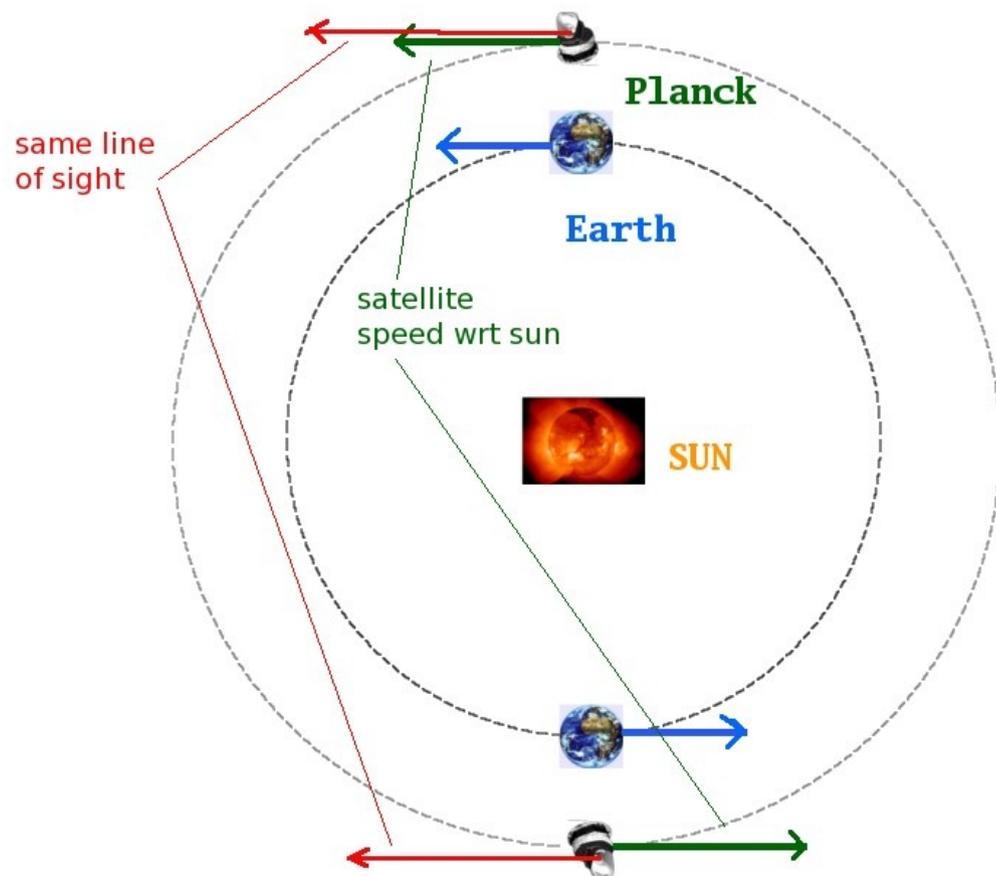
3) Calibration

a) Principe



Plusieurs "dipôles": le **dipôle orbital**

Constant Sky
+
Different Orbital
Dipôle
+
Noise



$$\chi^2 = \sum_{ring, bin} \frac{[Data_{bin} - (\alpha DipOrb_{bin} + CstSky_{pix})]^2}{\sigma_{bin}^2}$$



Plan:



- 1) Planck:
 - a) Contexte
 - b) La Mission
 - c) Objectifs scientifiques
- 2) Analyse des données:
 - a) Traitement des données temporelles
 - b) Réalisation des cartes
 - c) Séparation de composantes
 - d) Spectres de puissance et paramètres cosmologiques
- 3) Calibration des données:
 - a) Principe de la méthode et implémentation
 - b) Validation sur les simulations
 - c) ... et sur les données



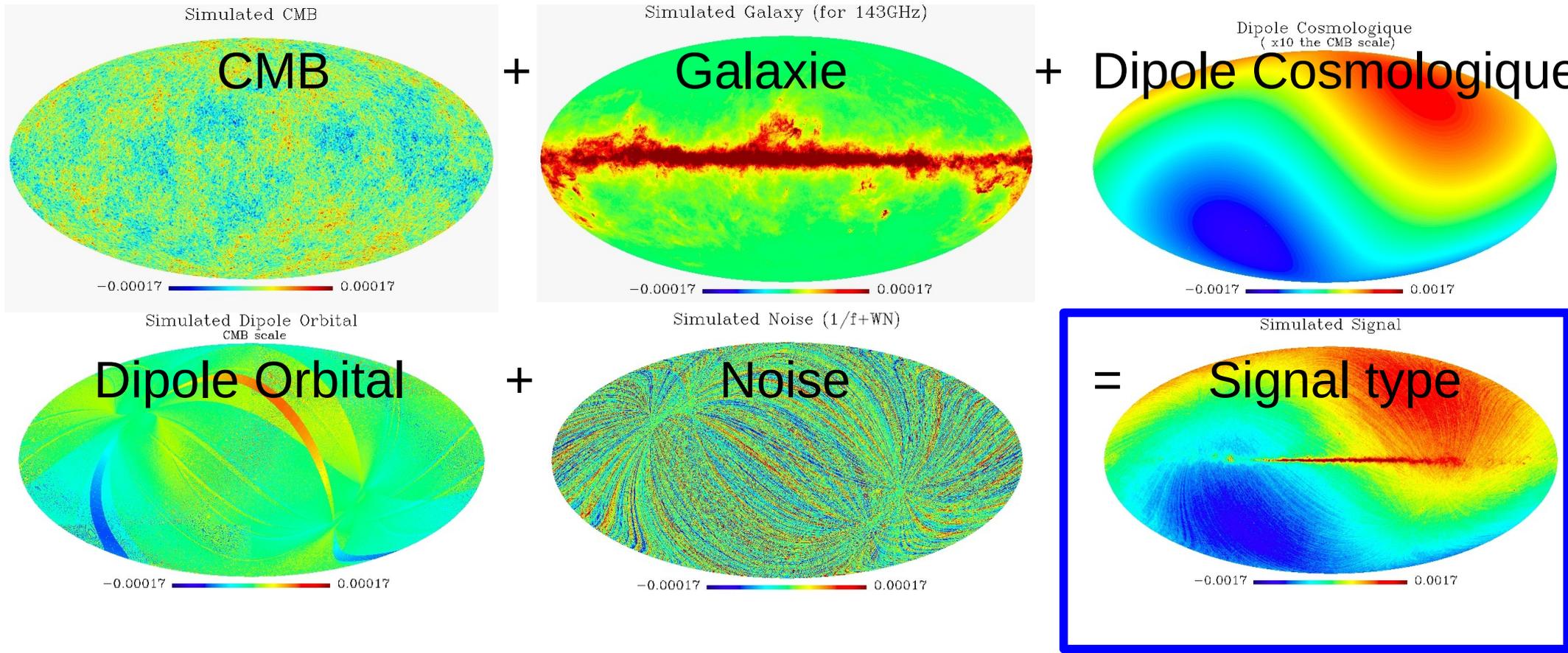
3) Calibration

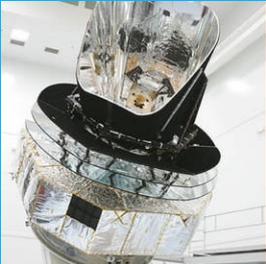
b) Simulation



Test de la performance de cette méthode par MC

Réalisation d'un ciel typique (pour 143GHz):





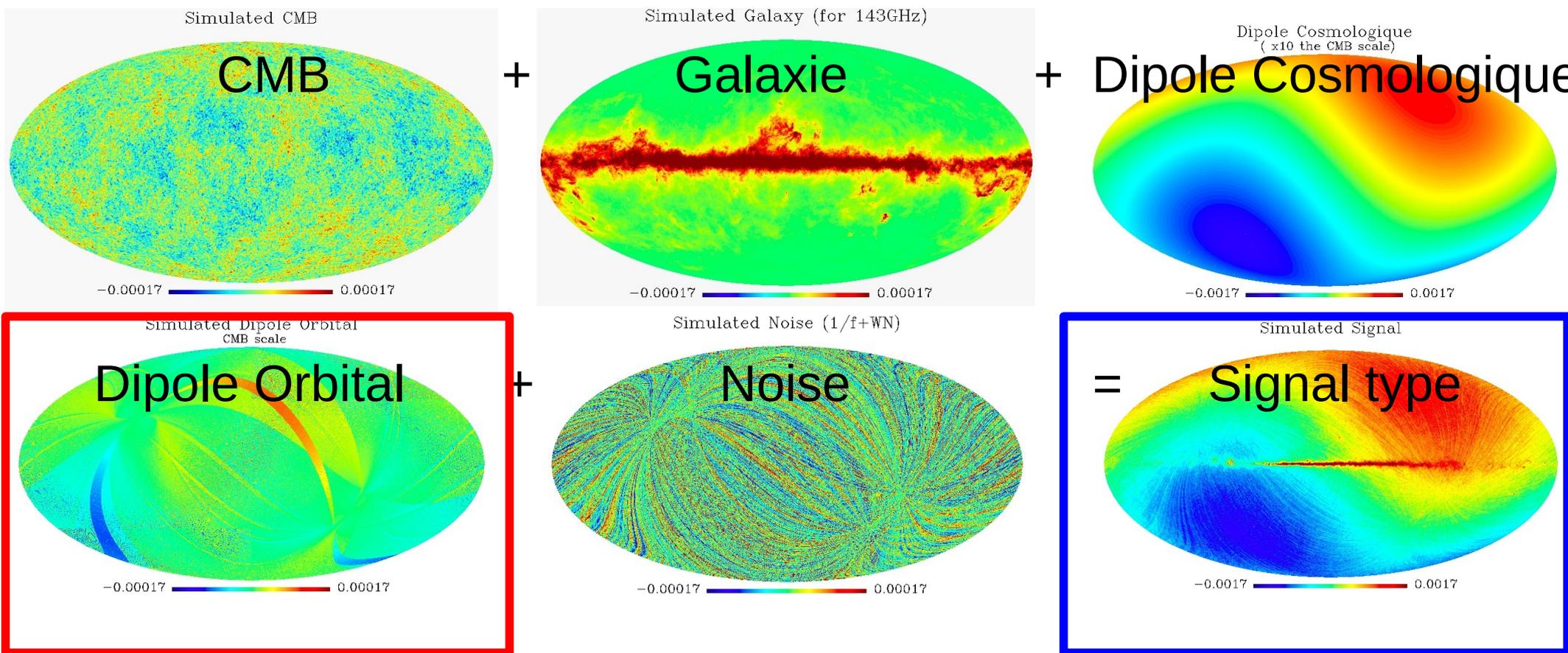
3) Calibration

b) Simulation



Test de la performance de cette méthode par MC

Réalisation d'un ciel typique (pour 143GHz):

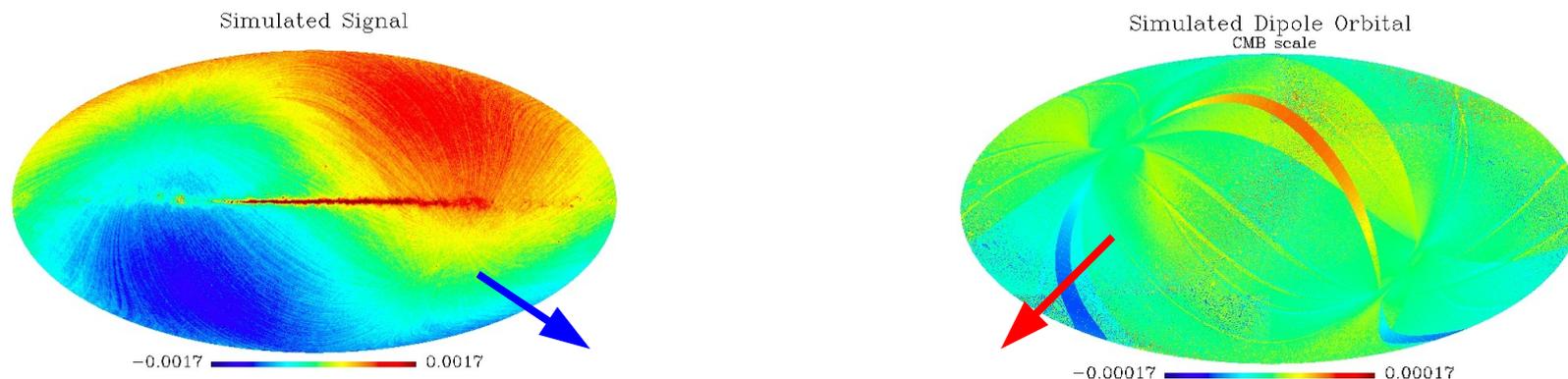


Calibrateur



3) Calibration b) Simulation

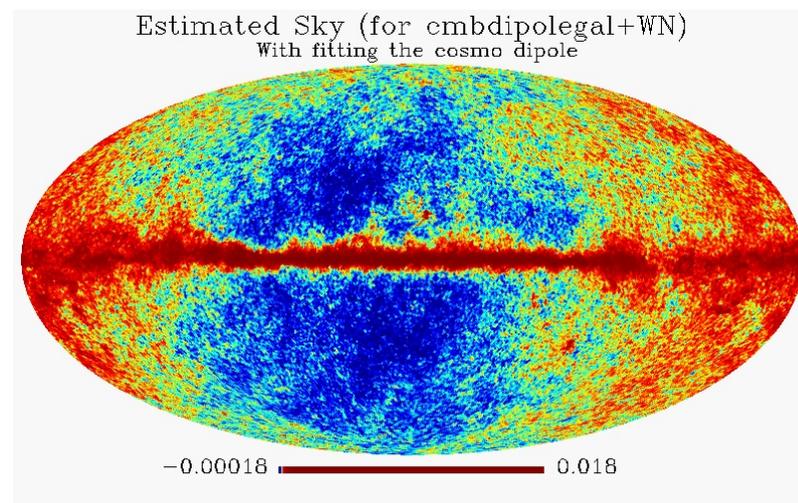
Test de la performance de cette méthode par MC



$$\chi^2 = \sum_{ring, bin} \frac{[Data_{bin} - (\alpha DipOrb_{bin} + CstSky_{pix})]^2}{\sigma_{bin}^2}$$

On obtient:

$$\alpha = 1.001279 \pm 4.8e-5$$

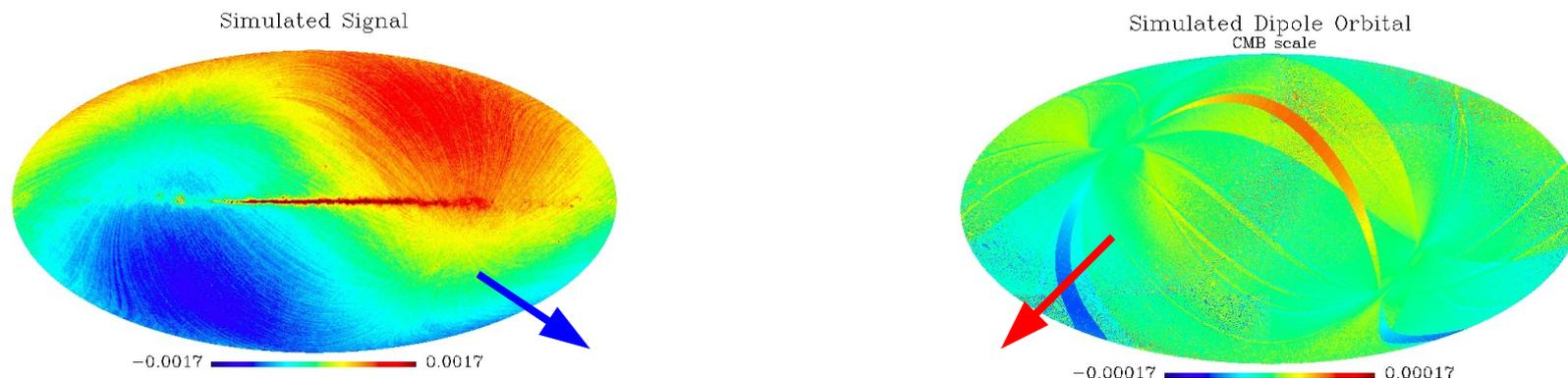




3) Calibration

b) Simulation

Test de la performance de cette méthode par MC

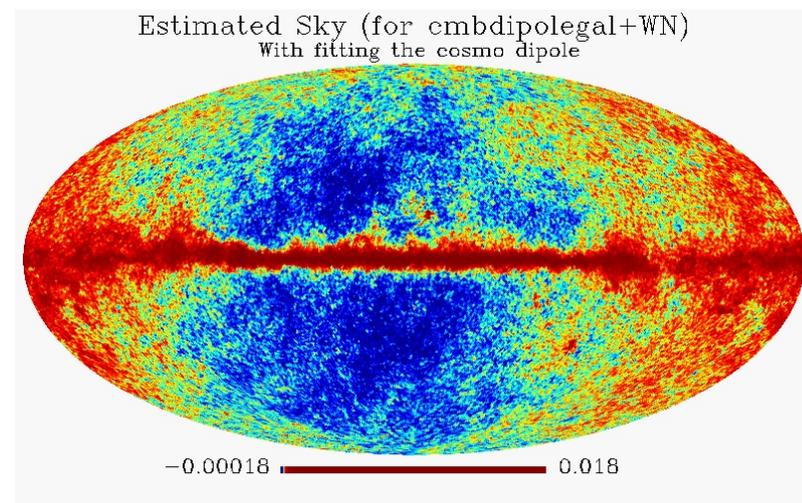


$$\chi^2 = \sum_{ring, bin} \frac{[Data_{bin} - (\alpha DipOrb_{bin} + CstSky_{pix})]^2}{\sigma_{bin}^2}$$

On obtient:

$$\alpha = 1.001279 \pm 4.8e-5$$

Effet systématique dominant





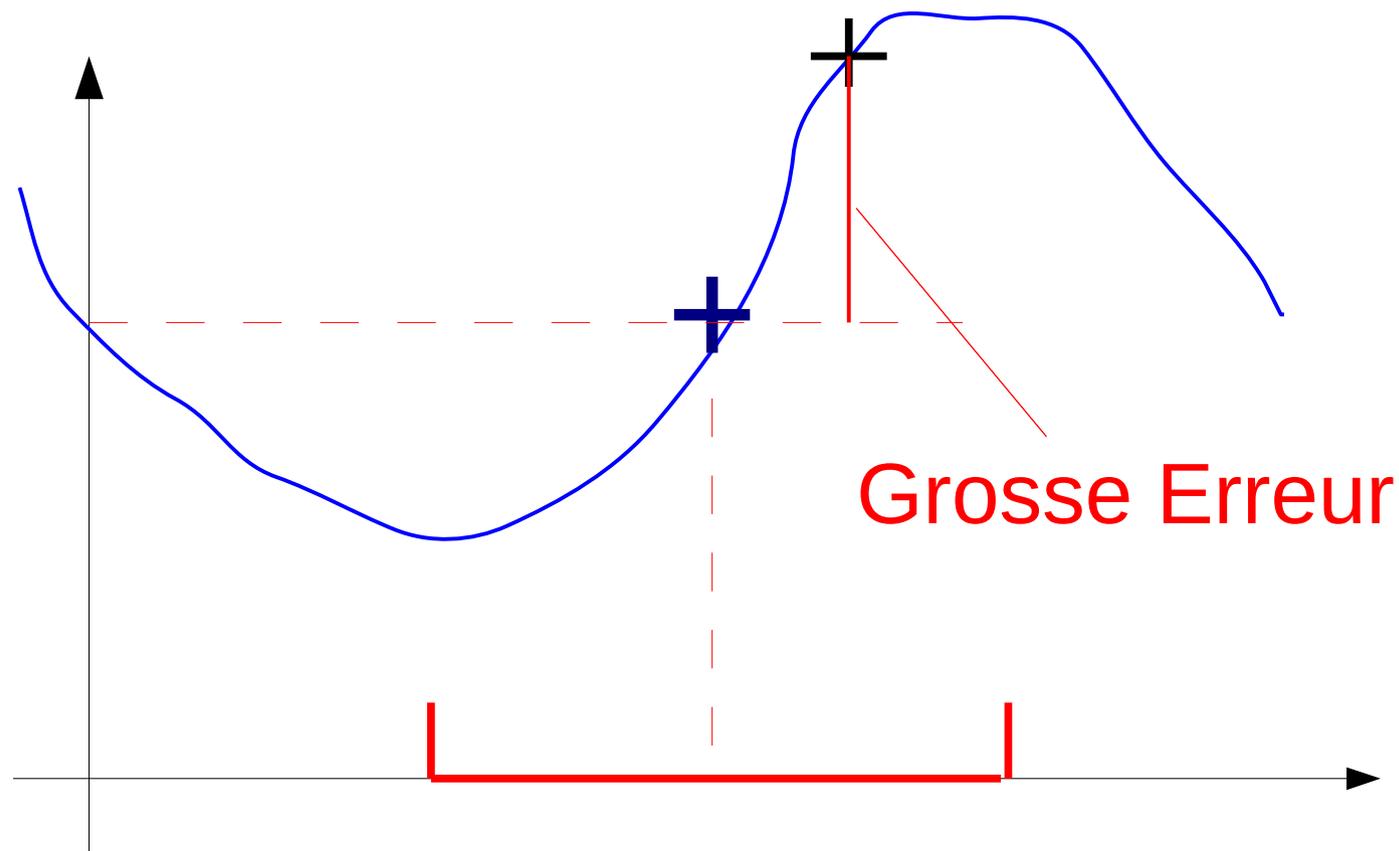
3) Calibration

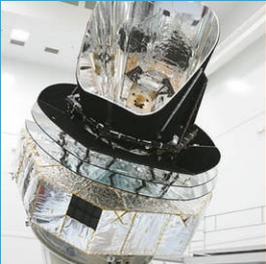
b) Simulation



Test de la performance de cette méthode par MC

Biais du à la galaxie: **Effet de Gradient dans un pixel**





3) Calibration

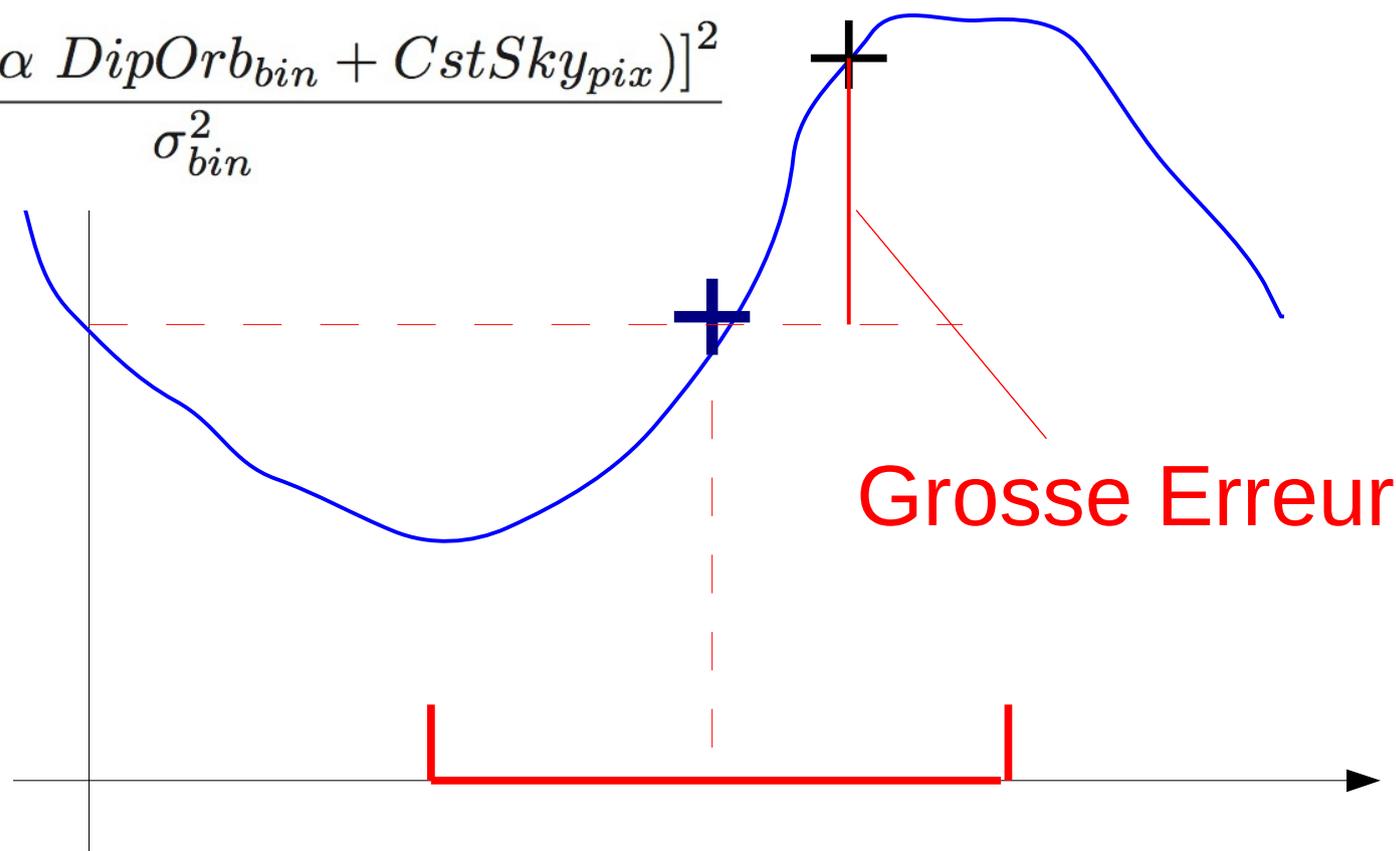
b) Simulation



Test de la performance de cette méthode par MC

Biais du à la galaxie: **Effet de Gradient dans un pixel**

$$\chi^2 = \sum_{ring, bin} \frac{[Data_{bin} - (\alpha DipOrb_{bin} + CstSky_{pix})]^2}{\sigma_{bin}^2}$$





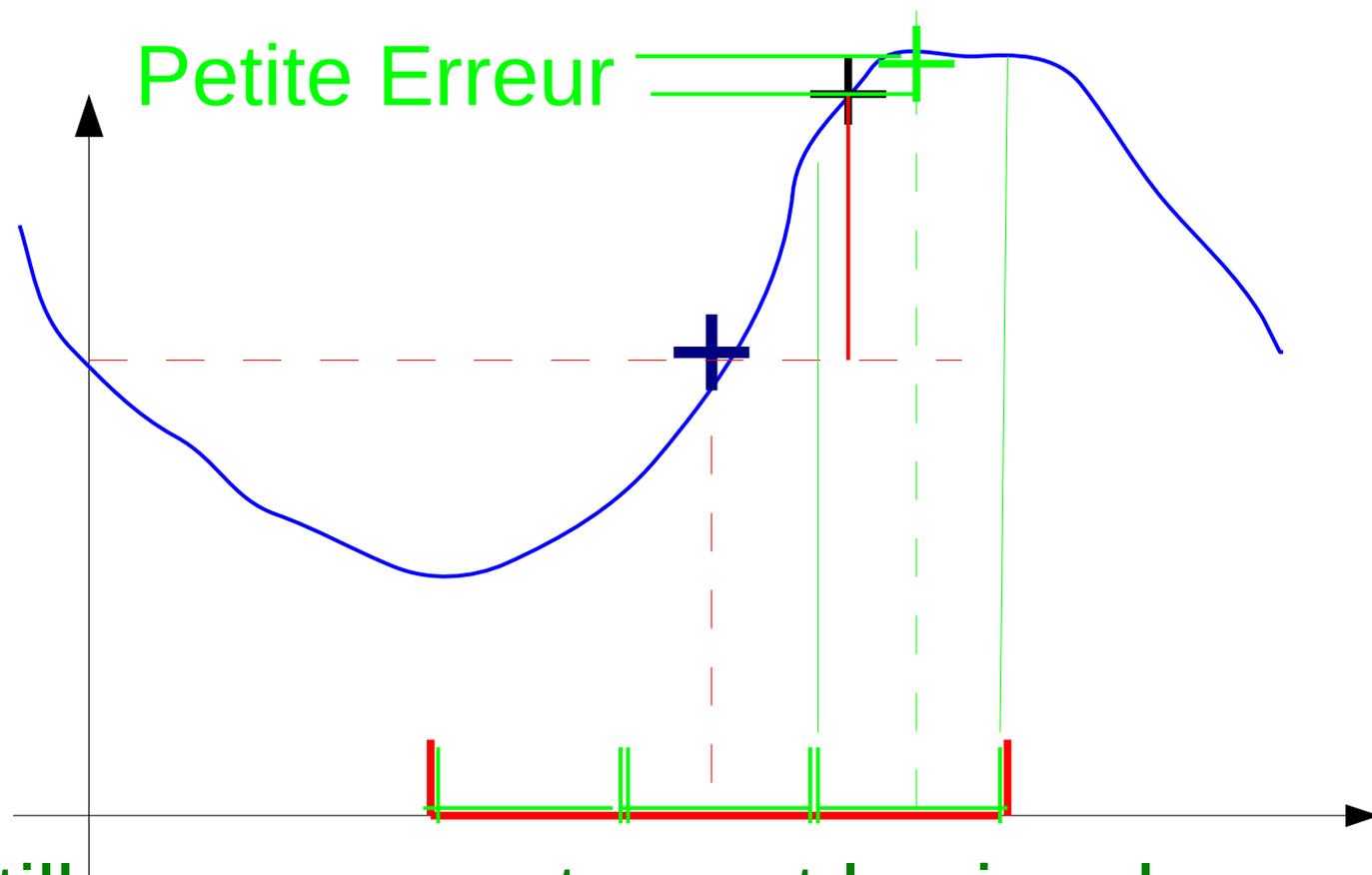
3) Calibration

b) Simulation

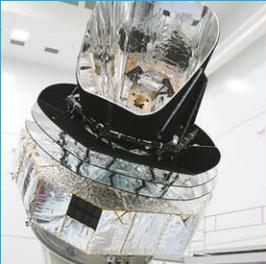


Test de la performance de cette méthode par MC

Biais du à la galaxie: **Effet de Gradient dans un pixel**



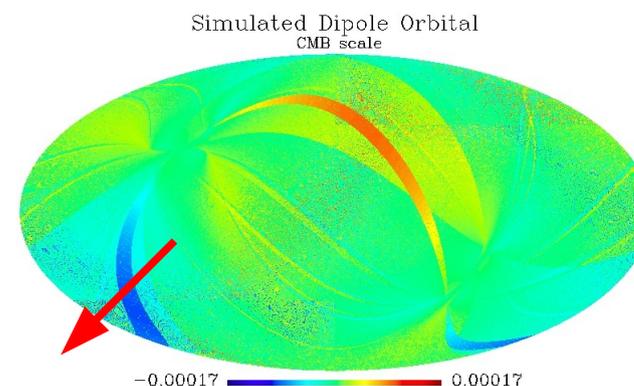
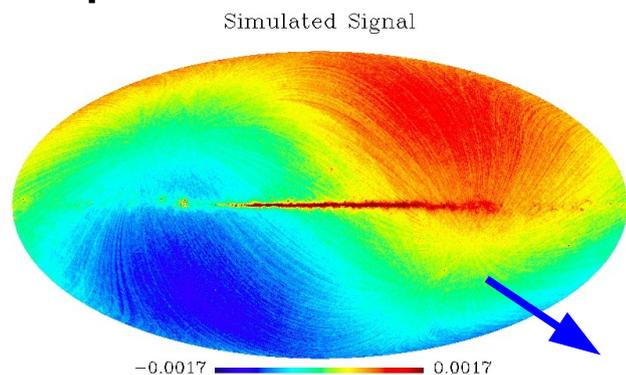
Il faut échantillonner correctement le signal



3) Calibration

b) Simulation

- Avoir une résolution suffisante pour s'affranchir des gradients
- Masquer les zones à fort gradient => la Galaxie



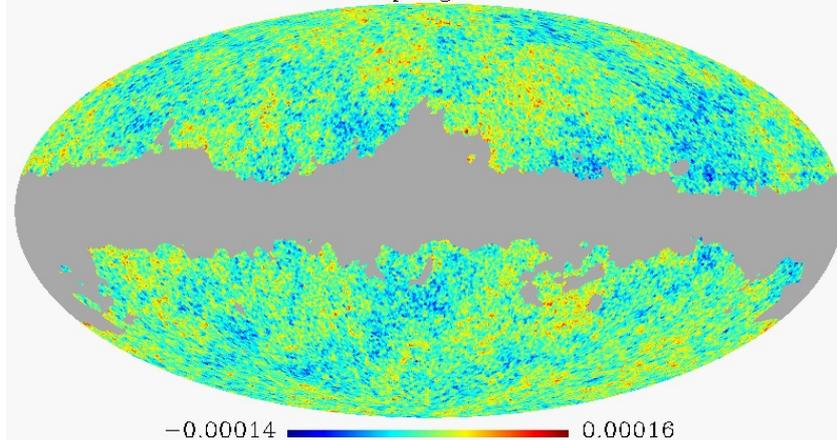
$$\chi^2 = \sum_{ring, bin} \frac{[Data_{bin} - (\alpha DipOrb_{bin} + CstSky_{pix})]^2}{\sigma_{bin}^2}$$

On obtient:

$$\alpha = 0.9999996 \pm 5.6e-5$$

OK!

Estim Sky after remove Dipole
For cmbdipolegal+0of_1e-1





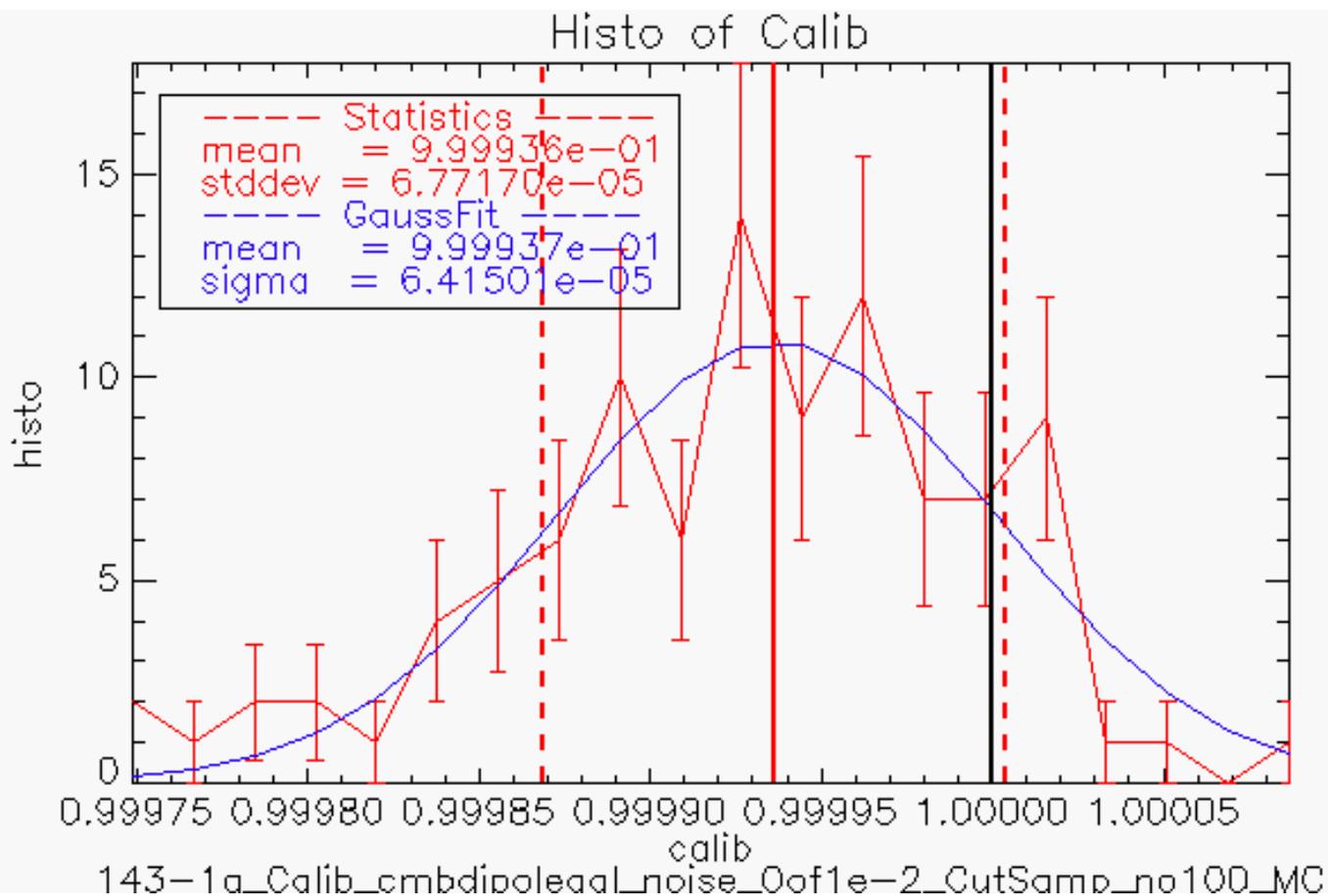
3) Calibration

b) Simulation



Test de la performance de cette méthode par MC

MC en Astro ca veut dire 10 – 100 réalisations



Erreur Statistique du
Chi2:
 $\sim 5.6e-5$



3) Calibration

b) Simulation

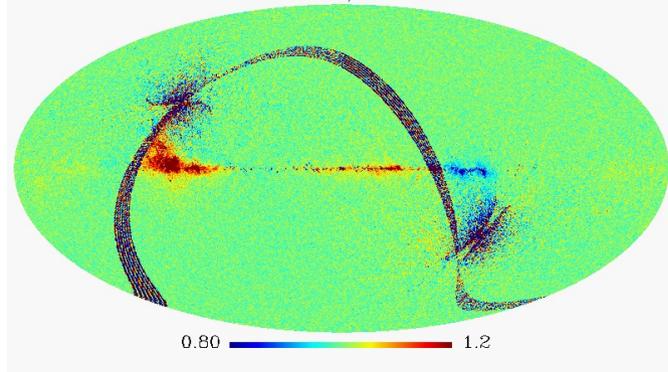
Test de la performance de cette méthode par MC

Améliorations:

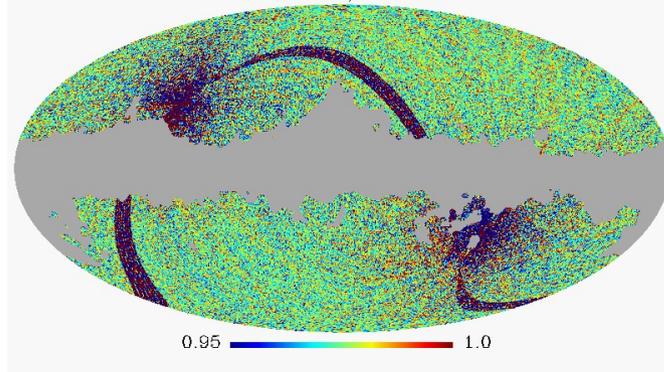
- Tuning du masquage de la galaxie
- Mise en place d'une calibration par pixel

$$\chi^2 = \sum_{ring, bin} \frac{[Data_{bin} - (\alpha DipOrb_{bin} + CstSky_{pix})]^2}{\sigma_{bin}^2}$$

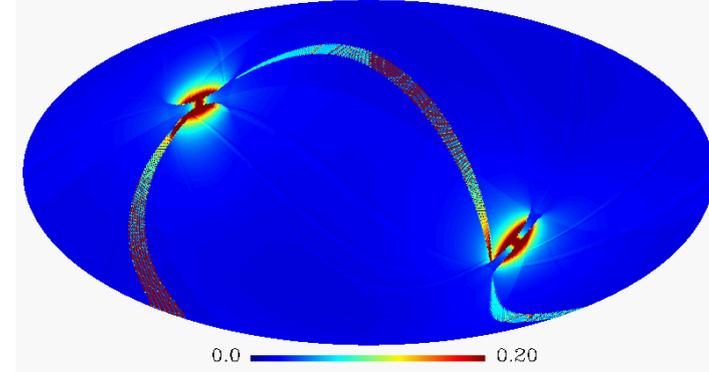
Map Of Calib (around expected value 1.0)
min=0.800000;max=1.20000



Map Of Calib (around expected value 1.0)
min=0.950000;max=1.05000



Map Of Calib Error (hist scale)
Normalise par sigma~2





Plan:



- 1) Planck:
 - a) Contexte
 - b) La Mission
 - c) Objectifs scientifiques
- 2) Analyse des données:
 - a) Traitement des données temporelles
 - b) Réalisation des cartes
 - c) Séparation de composantes
 - d) Spectres de puissance et paramètres cosmologiques
- 3) Calibration des données:
 - a) Principe de la méthode et implémentation
 - b) Validation sur les simulations
 - c) ... et sur les données



3) Calibration

c) ... sur les données



CONFIDENTIEL



Conclusion:



- Méthode validée sur la Simulation ??
- Méthode de calibration valable pour les basses fréquences ($\sim 100 - 353$ GHz)
- Pour les fréquences supérieures, on se base sur la galaxie
- Besoin d'une calibration relative pour les Bolomètres sensible à la polarisation

Rendez-vous fin 2012

Question?