

Mission Spatiale Planck
Résultats astrophysiques

Jacques Delabrouille
CNRS, Laboratoire APC



3€ COLLECTION
LE MONDE EST MATHÉMATIQUE
 N°1
 EN KIOSQUE DE LAUGOURD'HAÏ
 EN FRANCE MÉTROPOLITAINE

Le Monde

LE MONDE DES LIVRES
 SUPPLÉMENT
 12 PAGES

**CRISE CHYPRIOTE :
 L'ULTIMATUM DE FRANCFORT**

ÉCONOMIE - LIRE PAGE 12



**En Tunisie, le drame des
 disparus de la révolution**

ENQUÊTE - LIRE PAGE 18



**DES GTI POUR ROULER
 DES MÉCANIQUES**

CULTURE & STYLES - LIRE PAGE 24

Vendredi 22 mars 2013 - 69^e année - N°21204 - 1,80 € - France métropolitaine - www.lemonde.fr

Fondateur : Hubert Brune-Méry - Directrice : Natalie Nougayrède

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

LIRE P. 13 ET LA CHRONIQUE D'ALAIN FRACHON P. 20



LE MONDE DES LIVRES

Spécial Salon du livre de Paris

- Barcelone ville invitée, 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. 18 29 ET P. 34

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 étoile ni galaxie, mais des particules microscopiques, des électrons et des protons. **LIRE PAGES 2-3**

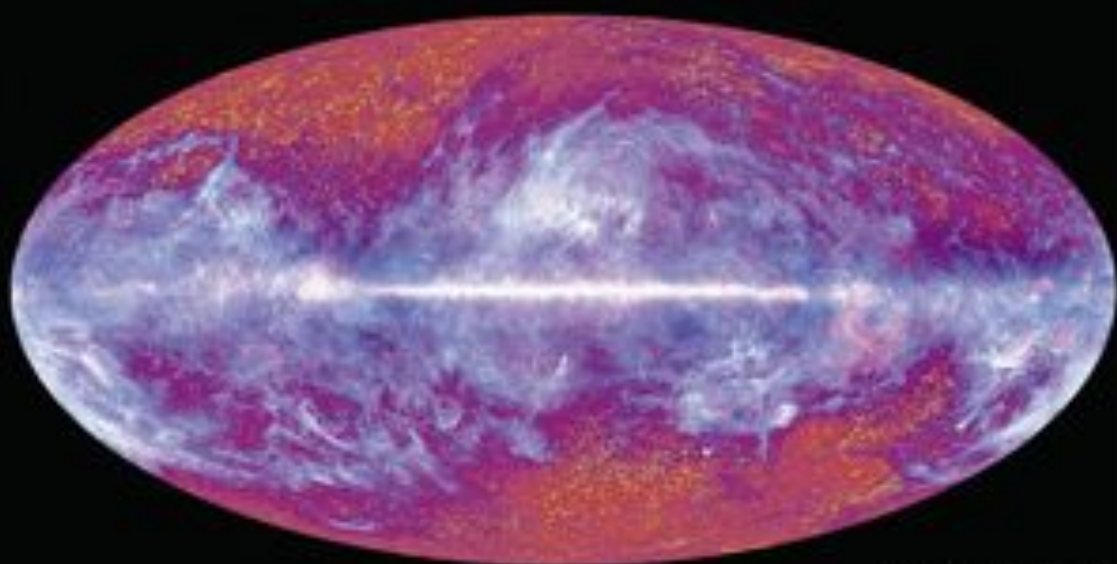
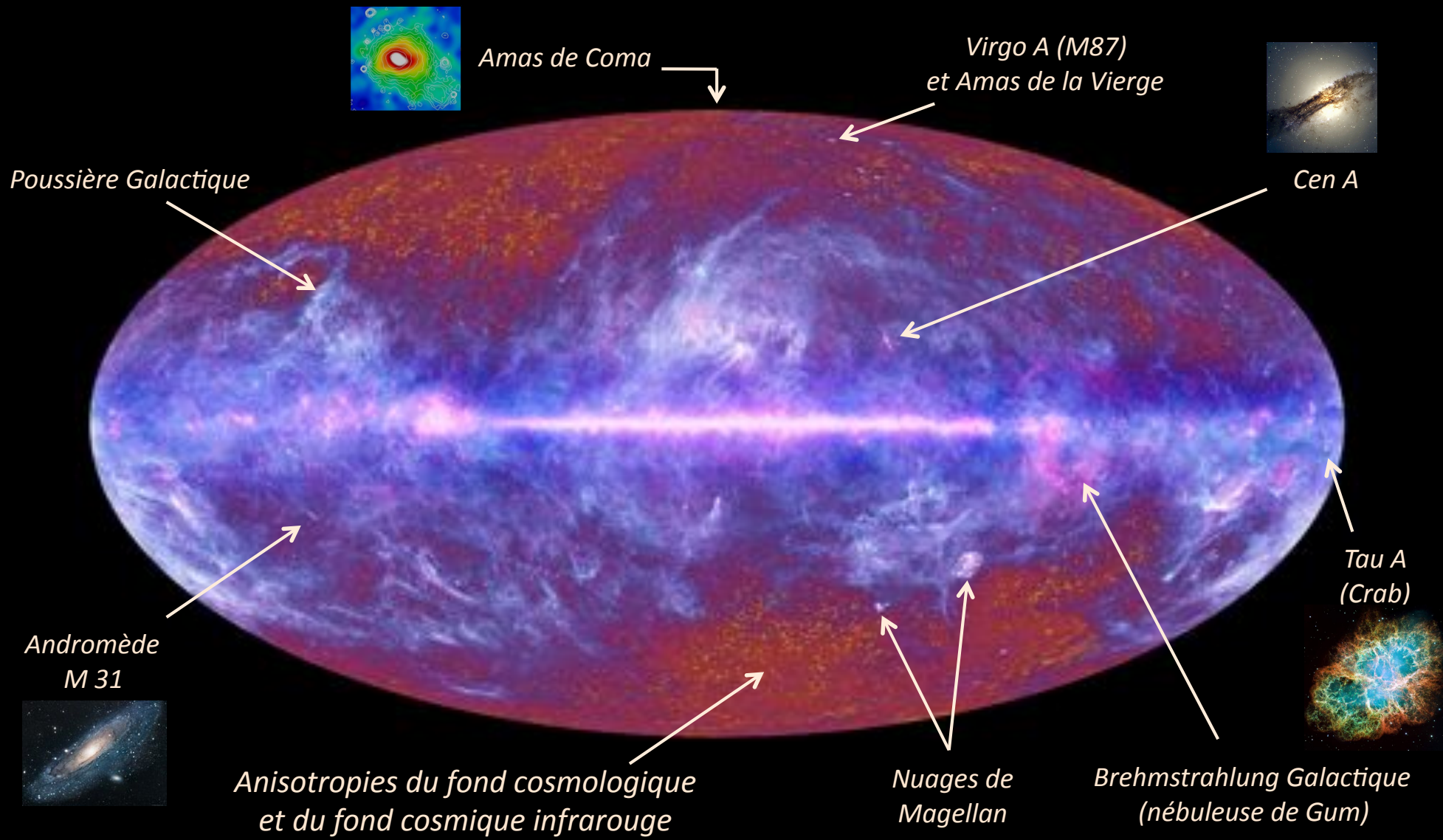


Image du rayonnement primordial de l'Univers prise par le satellite européen Planck.

Le ciel sub-millimétrique vu par *Planck*



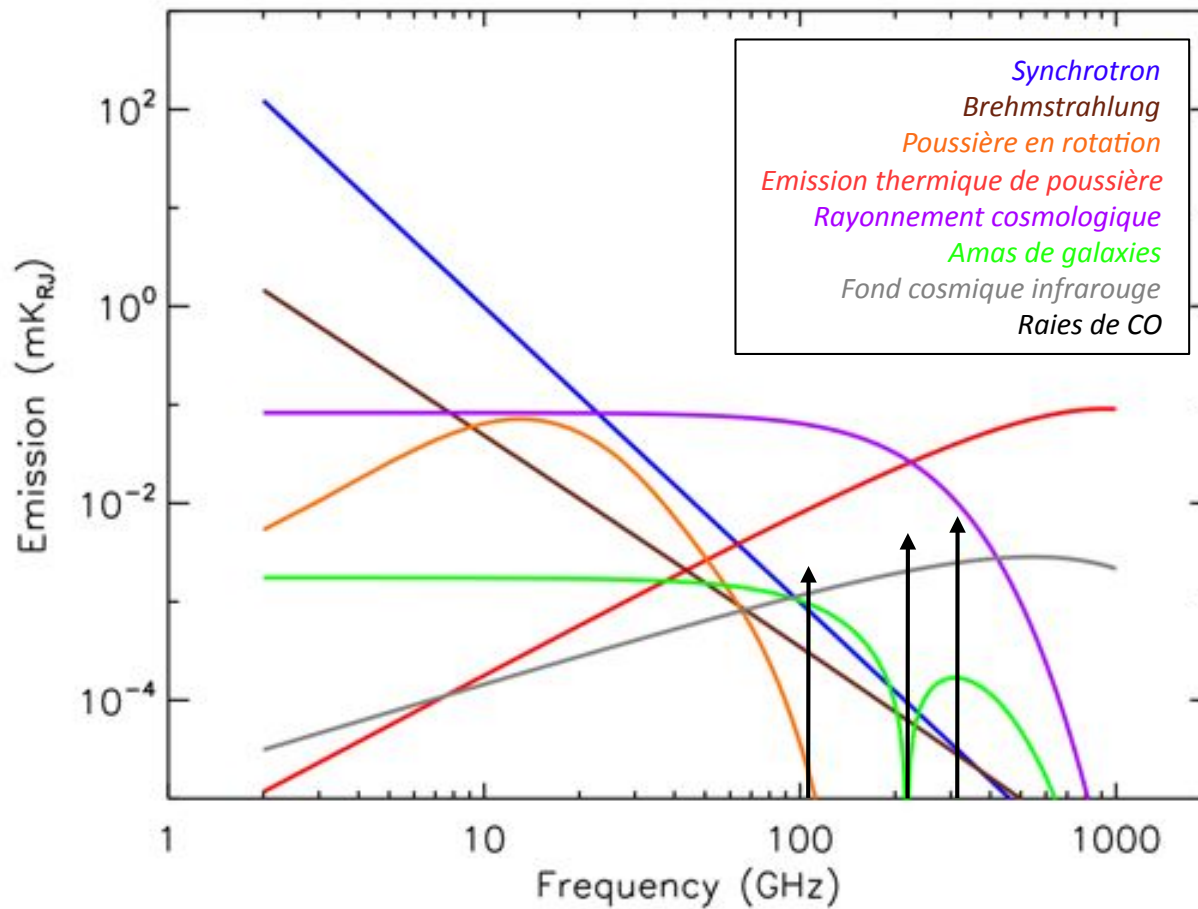
Le ciel multi-composantes

Nombreux processus et sources d'émission

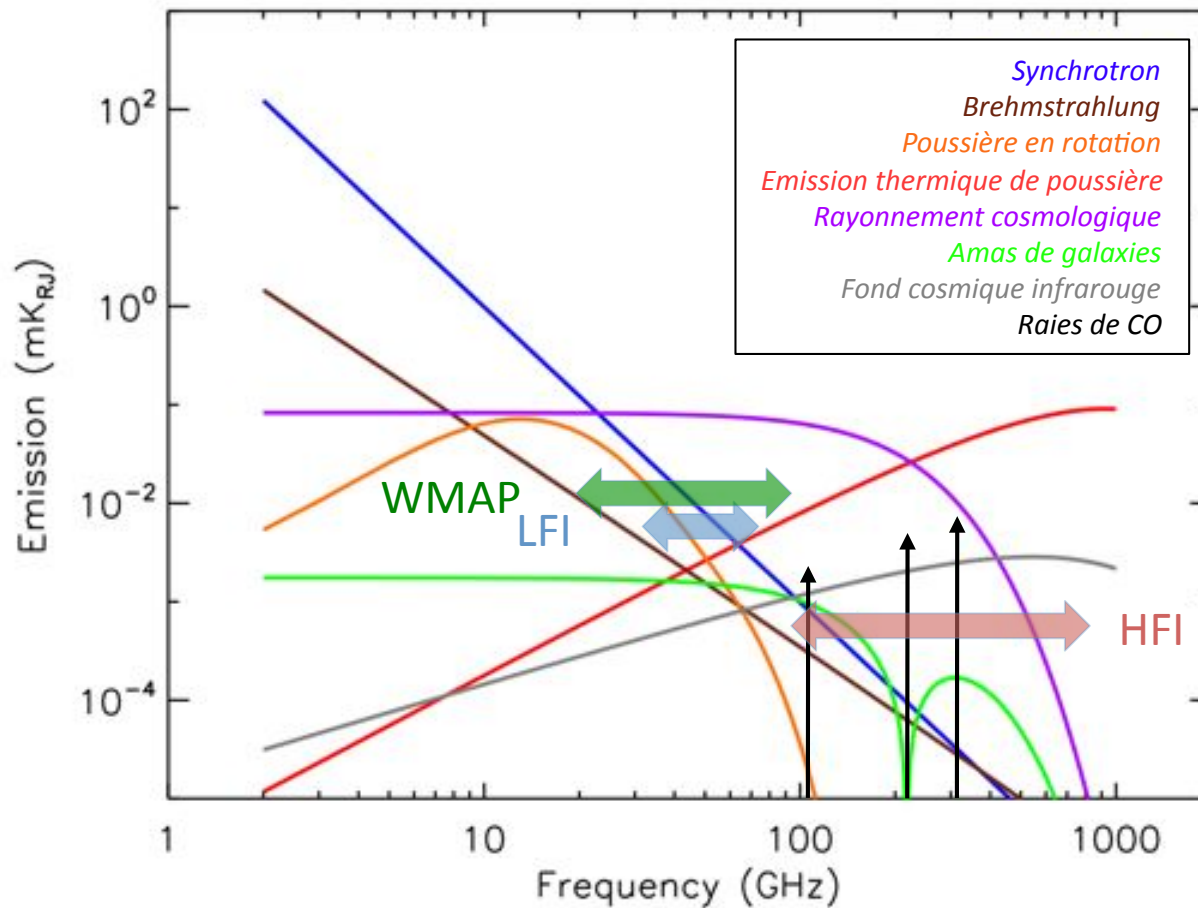
- *Anisotropies du fond cosmologique*
- *Emission de nombreuses sources extragalactiques*
 - *Radio galaxies*
 - *Galaxies infrarouges, résolues et non résolues (Fond cosmique d'émission infrarouge)*
- *Gaz chaud dans les amas de galaxies (effet Sunyaev-Zel'dovich thermique et cinétique)*
- *Emission du milieu interstellaire*
 - *Emission thermique des poussières*
 - *Emission Brehmstrahlung (free-free) du plasma galactique*
 - *Raies moléculaires (en particulier celles du monoxyde de carbone, CO)*
 - *Emission synchrotron des électrons énergétiques dans le champ magnétique galactique*
 - *Emission des poussières en rotation*
- *Lumière zodiacale*
- *Autre chose?*

Planck observe tous ces processus d'émission sur la totalité du ciel, dans une gamme de fréquences jamais explorée avec cette résolution et cette sensibilité !

Lois d'émission



Lois d'émission



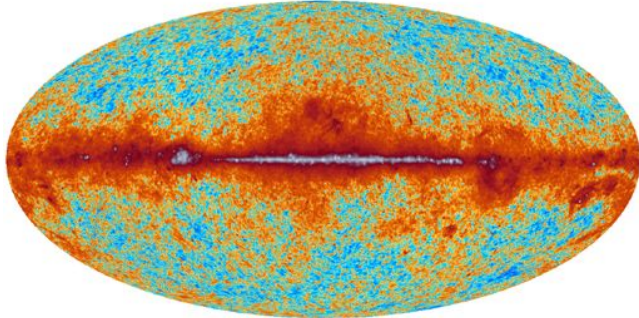
Loi d'émission connue avec des incertitudes relatives typiquement de l'ordre de

	$\pm 10\%$	
$\pm 1\%$		
		??
	$\pm 10\%$	
$\pm 1\%$		
	$\pm 10\%$	
		$\pm 100\%$
		$\pm 100\%$

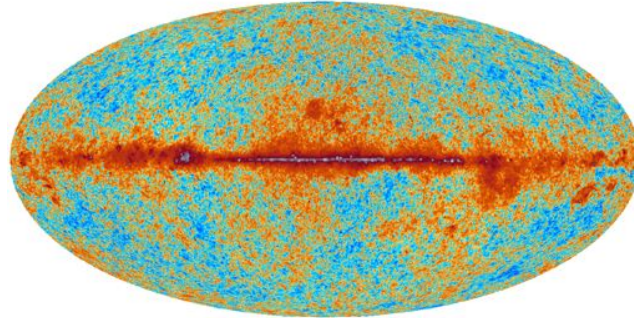
(chiffres très approximatifs, donnés uniquement dans un but illustratif)

Observations

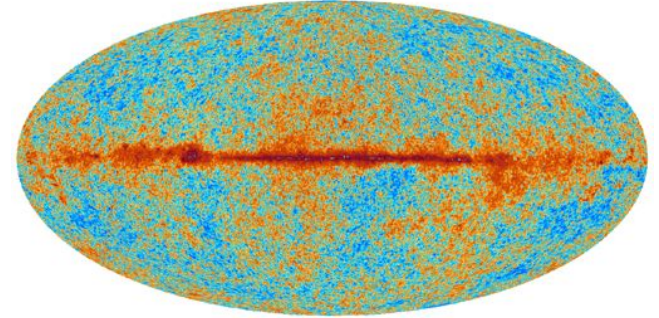
30 GHz



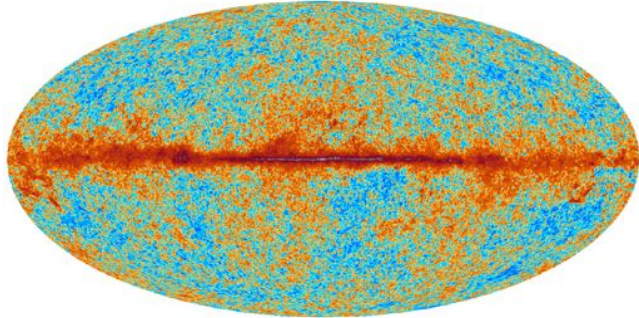
44 GHz



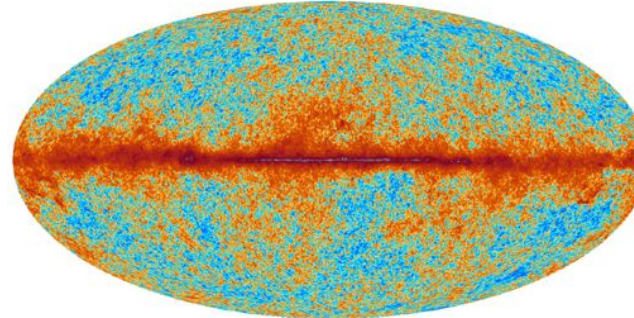
70 GHz



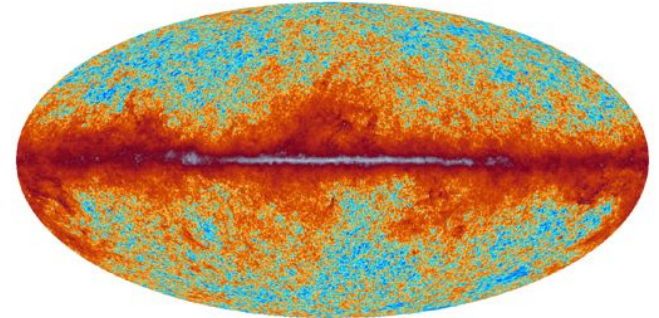
100 GHz



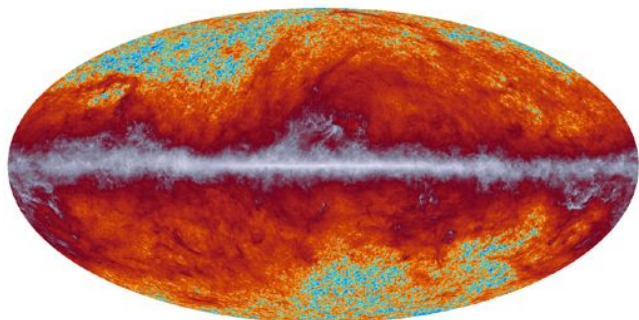
143 GHz



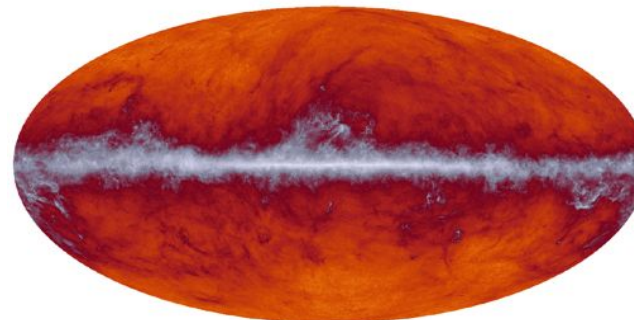
217 GHz



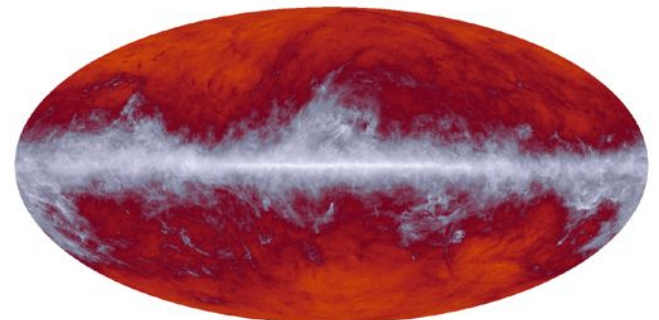
353 GHz



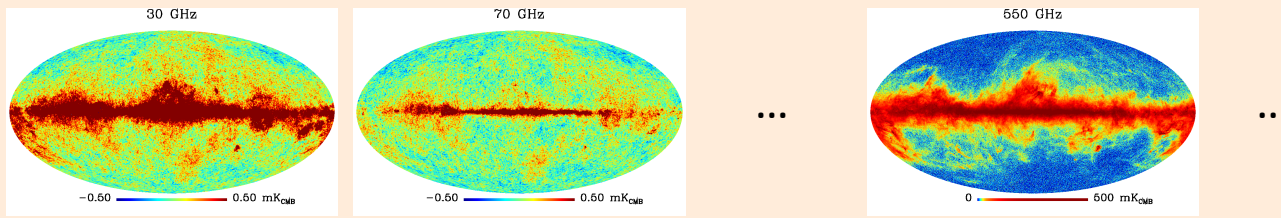
545 GHz



857 GHz



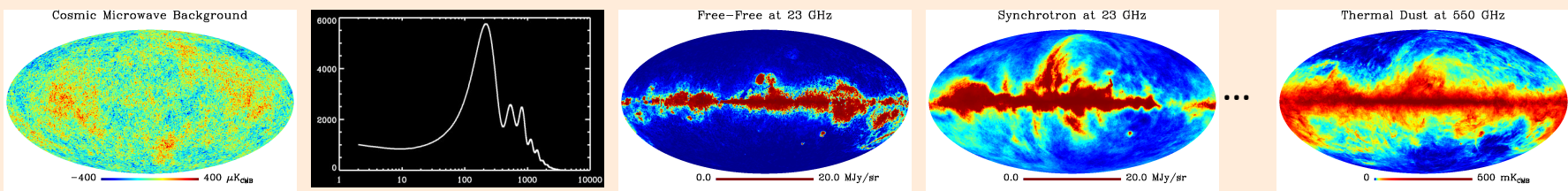
OBSERVATIONS MULTIFRÉQUENCE



Séparation des émissions

Interprétation

MODÈLE MULTICOMPOSANTES DE L'ÉMISSION DU CIEL



Scénario cosmologique: H_0 , Ω_M , Ω_B , n_s , ...;

Spectres, comptages, lois d'émission, ...

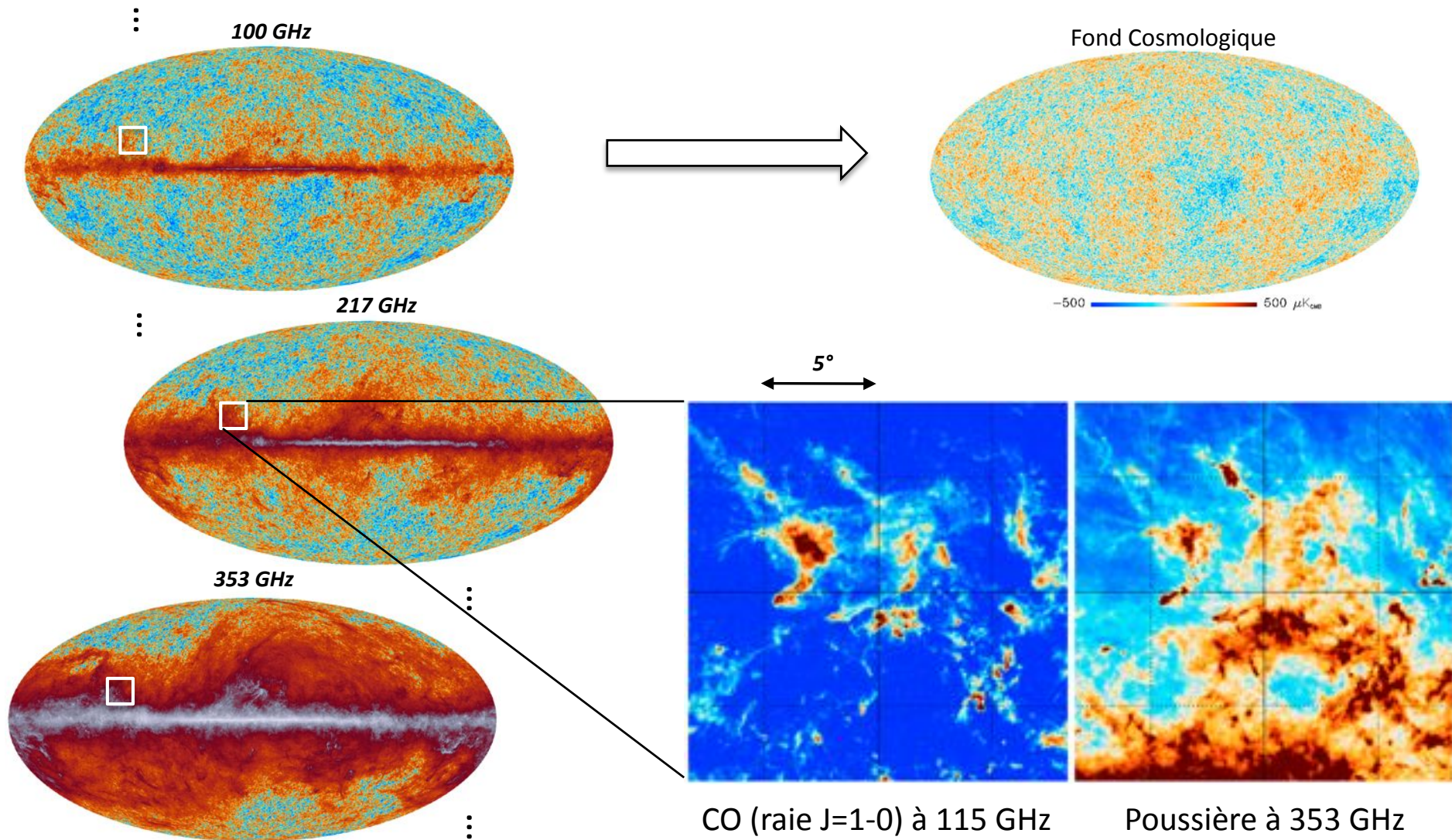
Observations simulées

Développement et test de méthodes de séparation

Comparaison: validation du modèle et/ou interprétation des observations

Milieu interstellaire

Observations... et différentes émissions

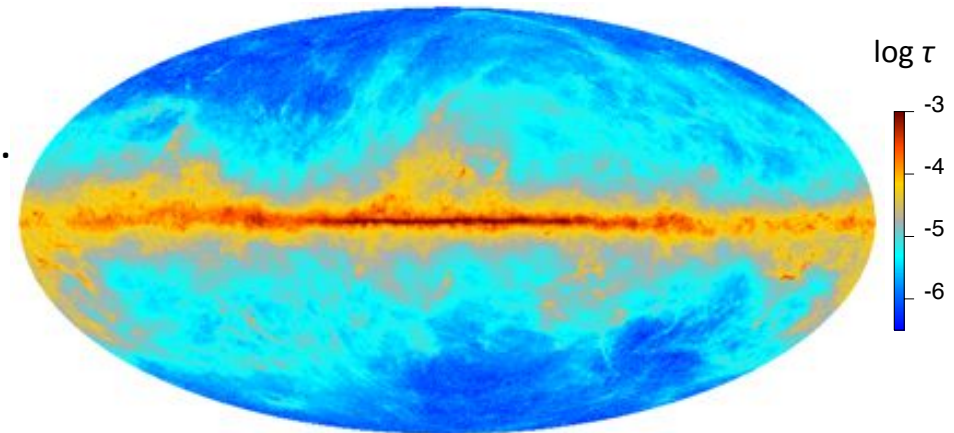


Poussière galactique

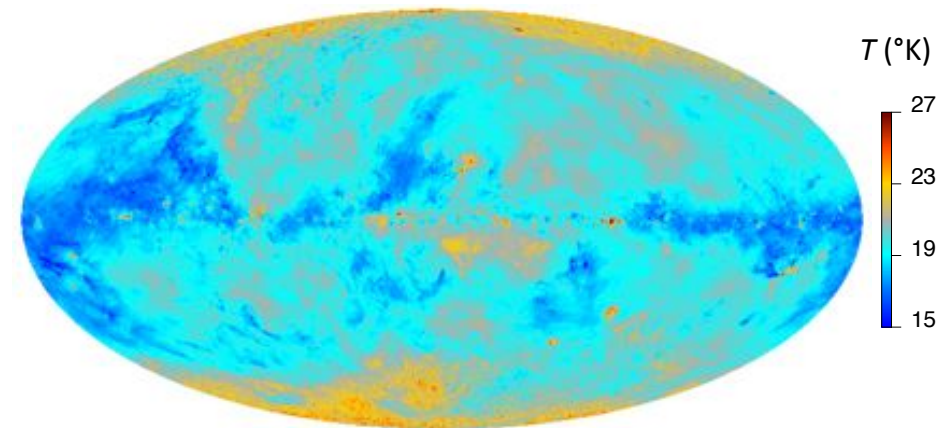
La poussière galactique absorbe et rougit le rayonnement visible et réémet dans l'infrarouge lointain et le submillimétrique.

C'est aussi une composante majeure du milieu interstellaire, fortement corrélée avec le gaz.

Épaisseur optique τ à 353 GHz



Température T



$$I_\nu = \tau B_\nu(T)$$

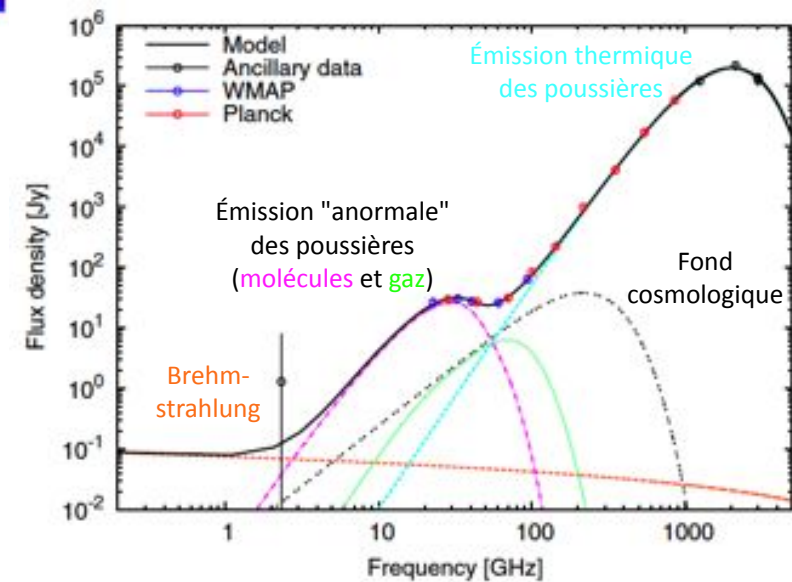
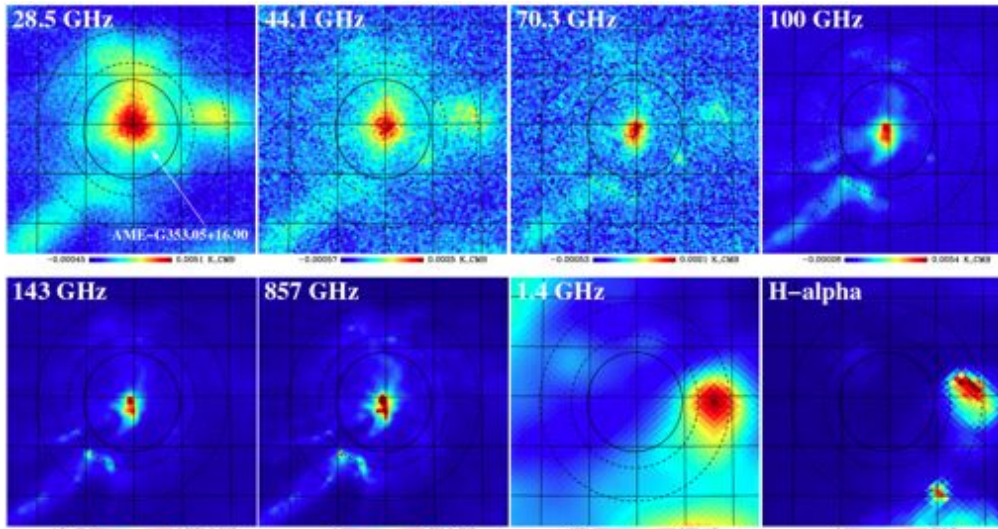
$$I_\nu = A \left(\nu/\nu_0\right)^\beta B_\nu(T)$$

\approx Quantité de
poussière intégrée

\approx Propriétés physiques
des grains de poussière

\approx Interaction avec le
rayonnement

Poussière galactique: émission "anormale"

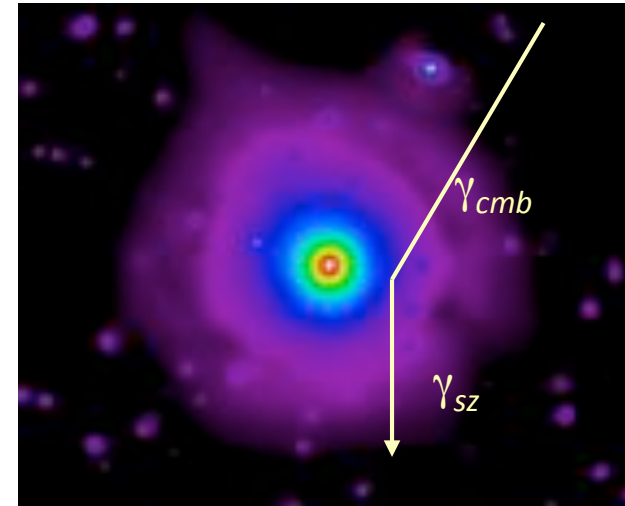
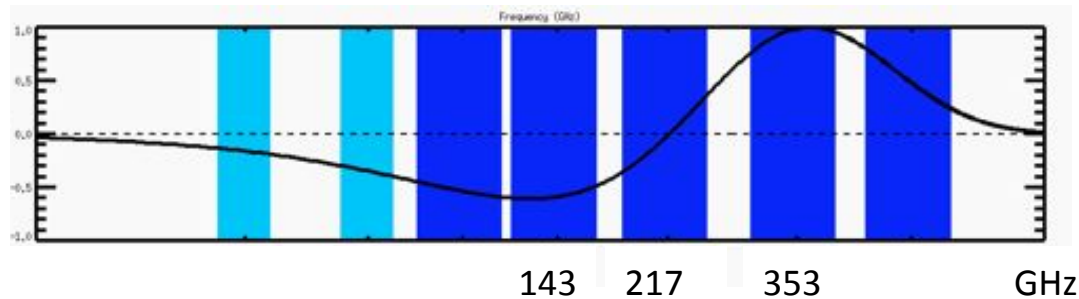


Amas de galaxies

Effet SZ

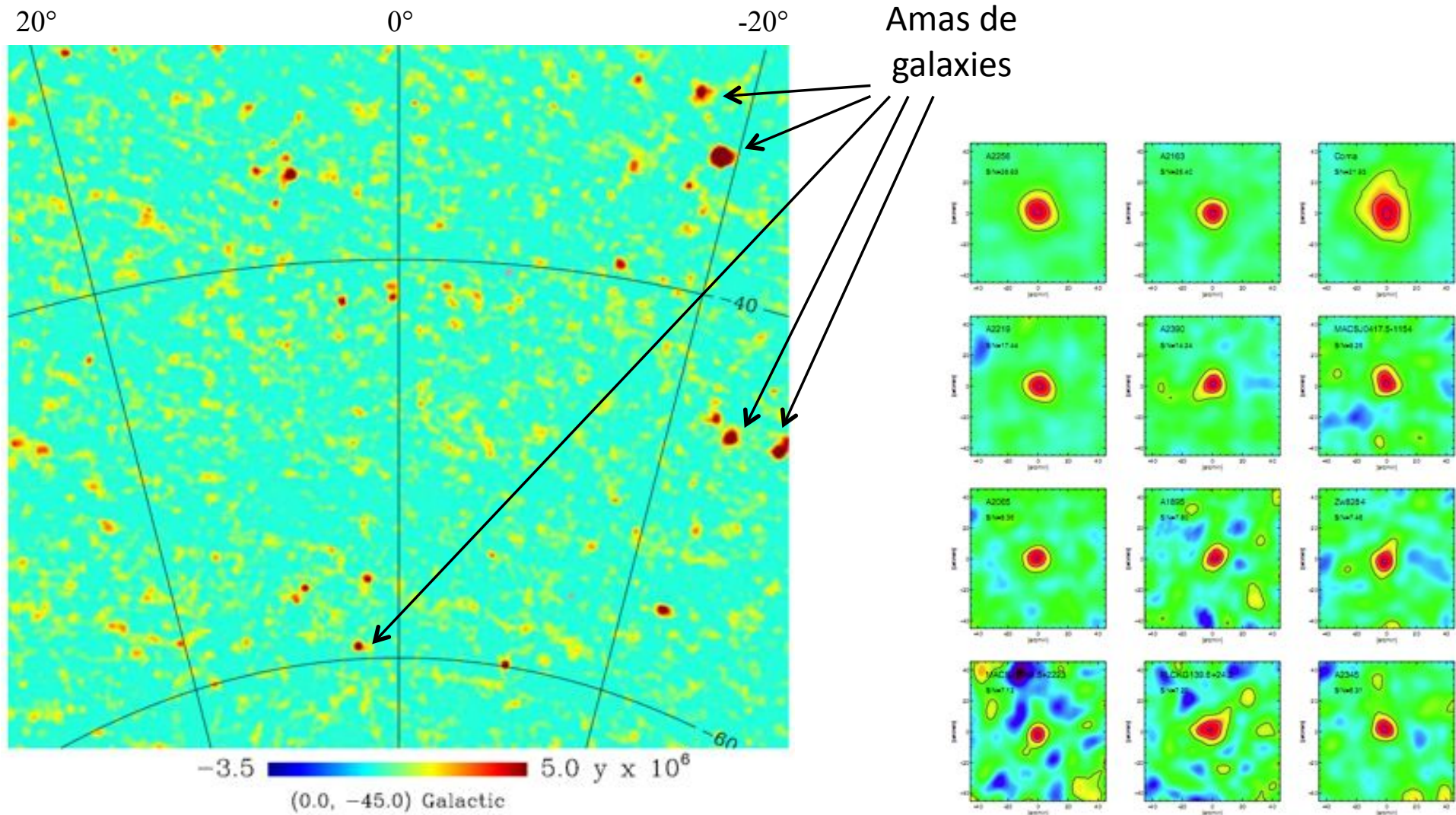
Les amas de galaxies sont les plus grandes structures gravitationnellement liées

- Sunyaev et Zel'dovich
 - Interaction Compton sur *le gaz chaud d'électrons*
 - Détection possible à grand décalage spectral z
 - L'effet SZ permet d'estimer la masse de l'amas

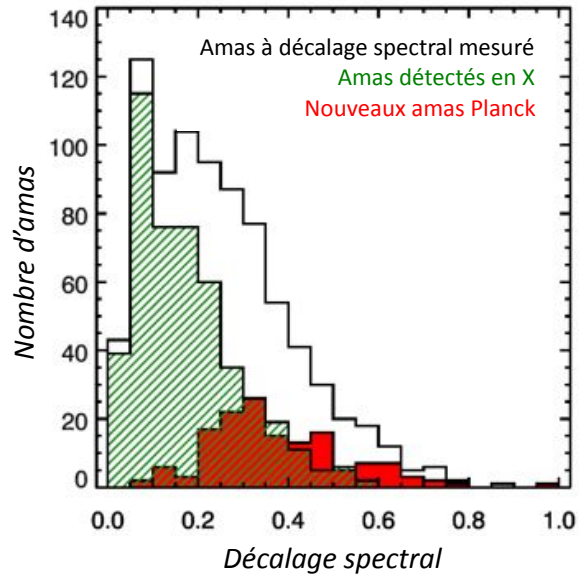


-
- Fraction de gaz $M_g/M_{tot} \rightarrow$ Rapport (universel) entre densité d'atomes et densité totale de matière (Ω_b/Ω_m)
 - Mesure de la taille angulaire et de la taille physique $\rightarrow D_A(z)$
 - Comptages d'amas $dN/dMdz \rightarrow$ Spectre $P(k)$ (contrainte en particulier de Ω_m et σ_8)

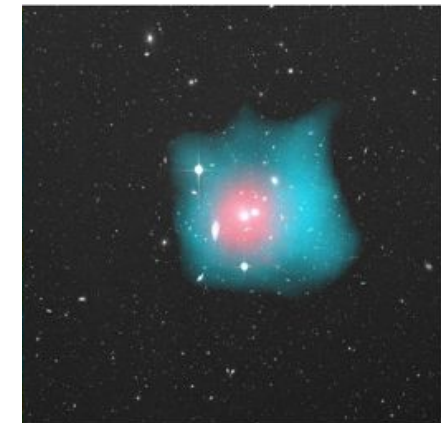
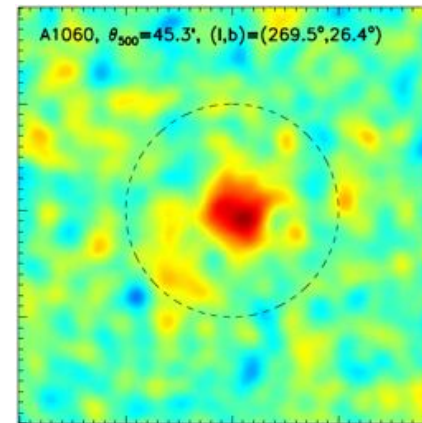
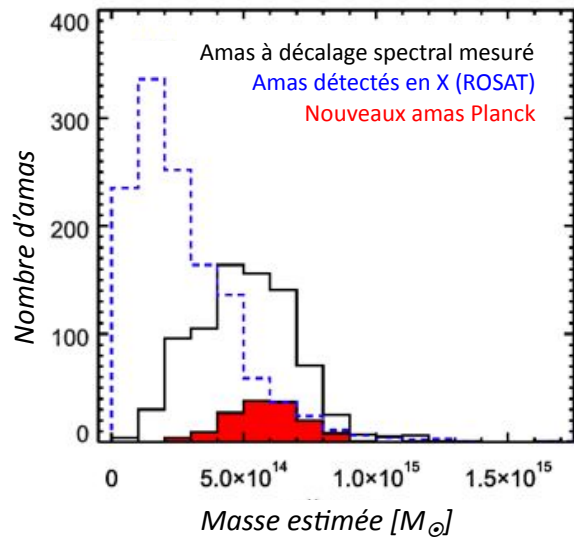
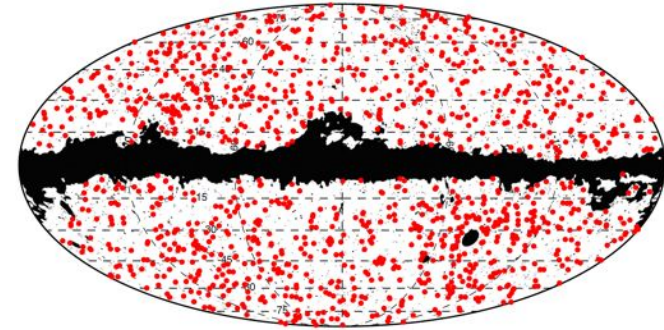
Carte d'effet Sunyaev Zel'dovich



Amas de galaxies

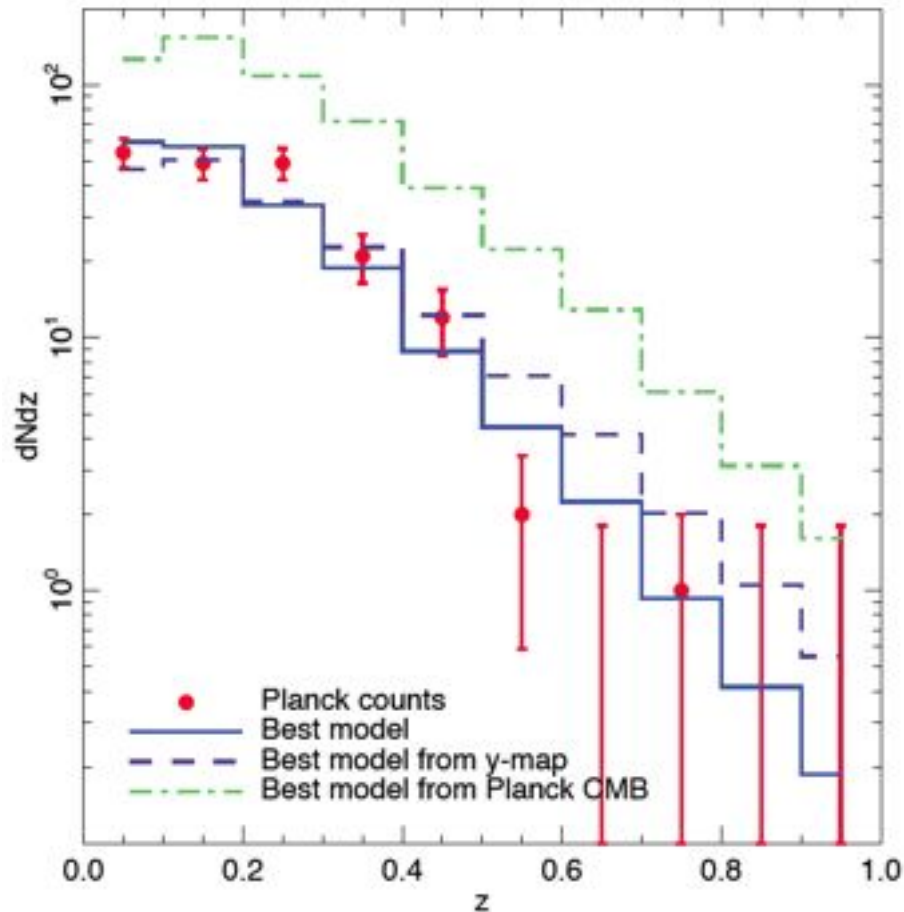


1227 + 5 détections
683 + 5 déjà connus
178 nouveaux confirmés
366 candidats non confirmés



Les amas détectés par Planck sont plus lointains et plus massifs que les amas connus précédemment

Comptages d'amas et contraintes cosmologiques



Sur la base de 189 amas bien détectés

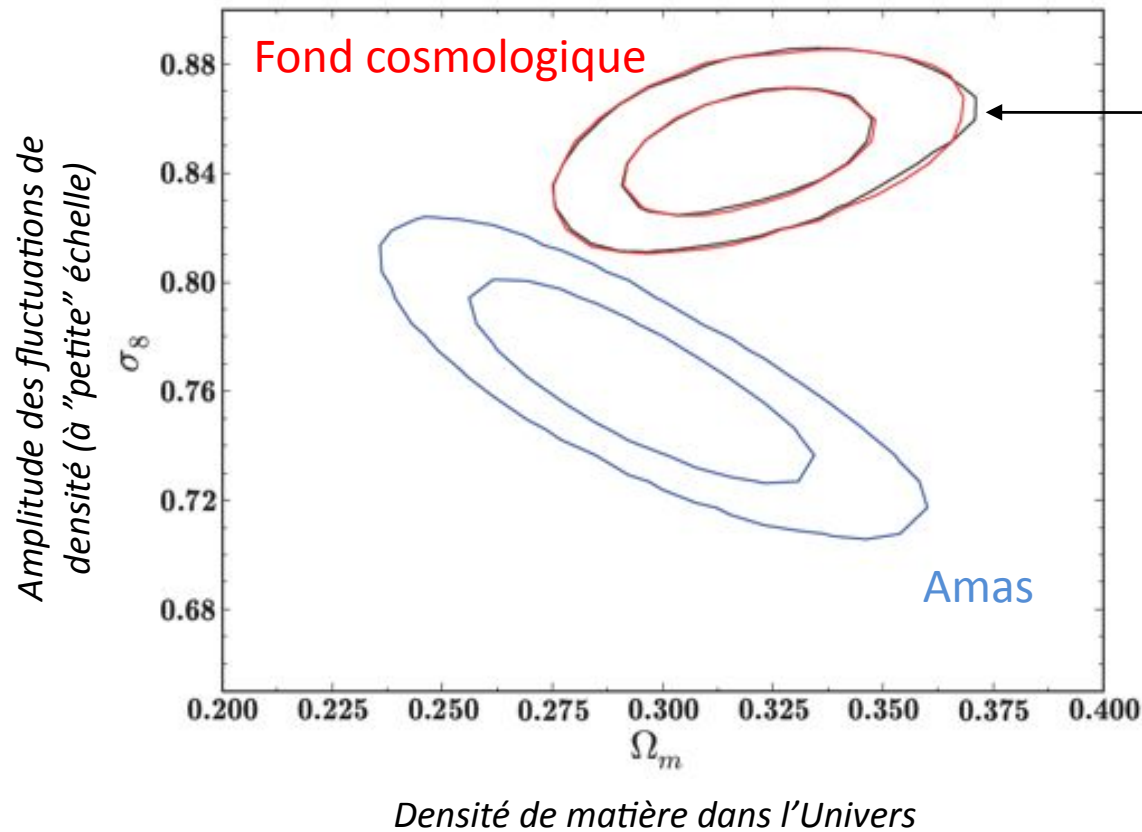
Les paramètres cosmologiques déduits du spectre du fond cosmologique impliquent un nombre d'amas détecté très au dessus de ce qui est effectivement observé !

Deux explications

- 1) Erreur possible sur la connexion entre flux des amas et masse.
Il faut revoir la physique des amas !
- 2) La physique des amas est bien comprise, c'est la connexion entre les fluctuations à $z=1000$ et à $z<1$ qui ne l'est pas.

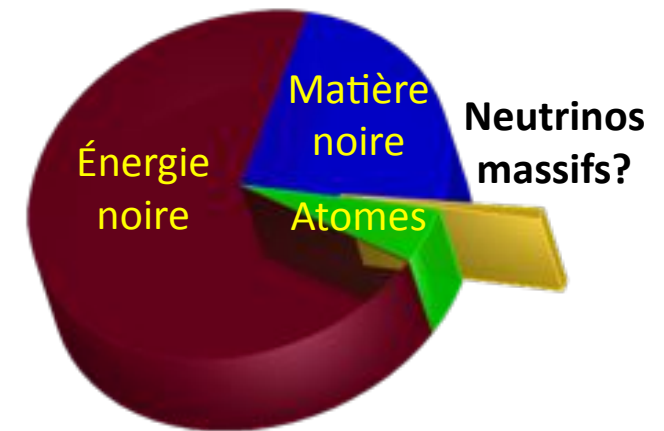
Il faut revoir un peu le contenu en matière et énergie de l'univers tardif.

Comptages d'amas et contraintes cosmologiques



Contrainte jointe en laissant libre la normalisation de la relation Y - M

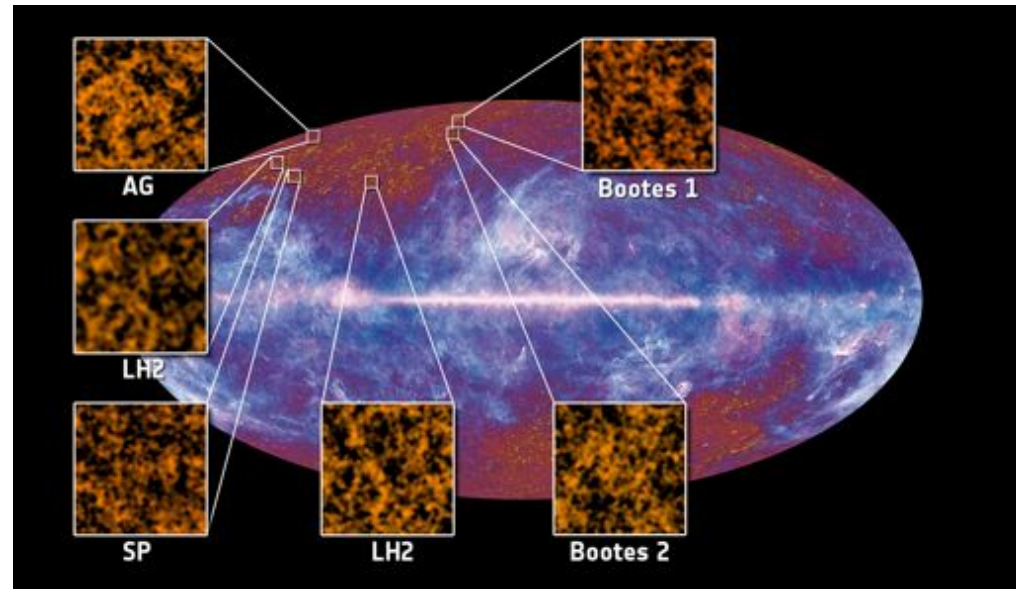
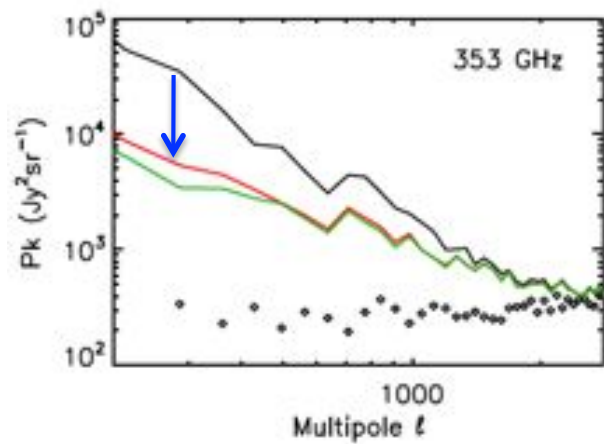
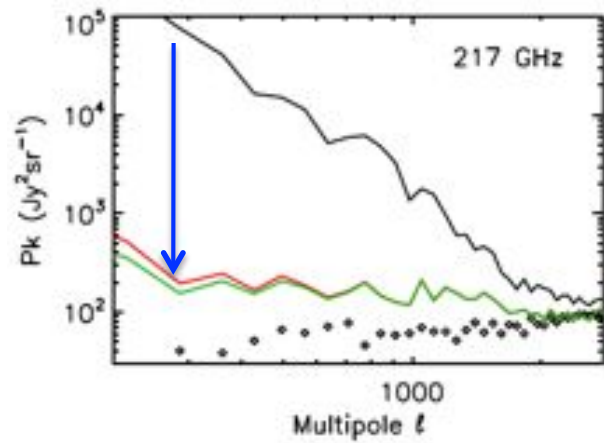
(on trouve $M_{\text{prédite}} = 0.55 M_{\text{vraie}}$)



Autre façon de réconcilier CMB et SZ
 $\Sigma m_\nu \approx 0.3 \text{ eV}$

Fond cosmique infrarouge (les premières galaxies)

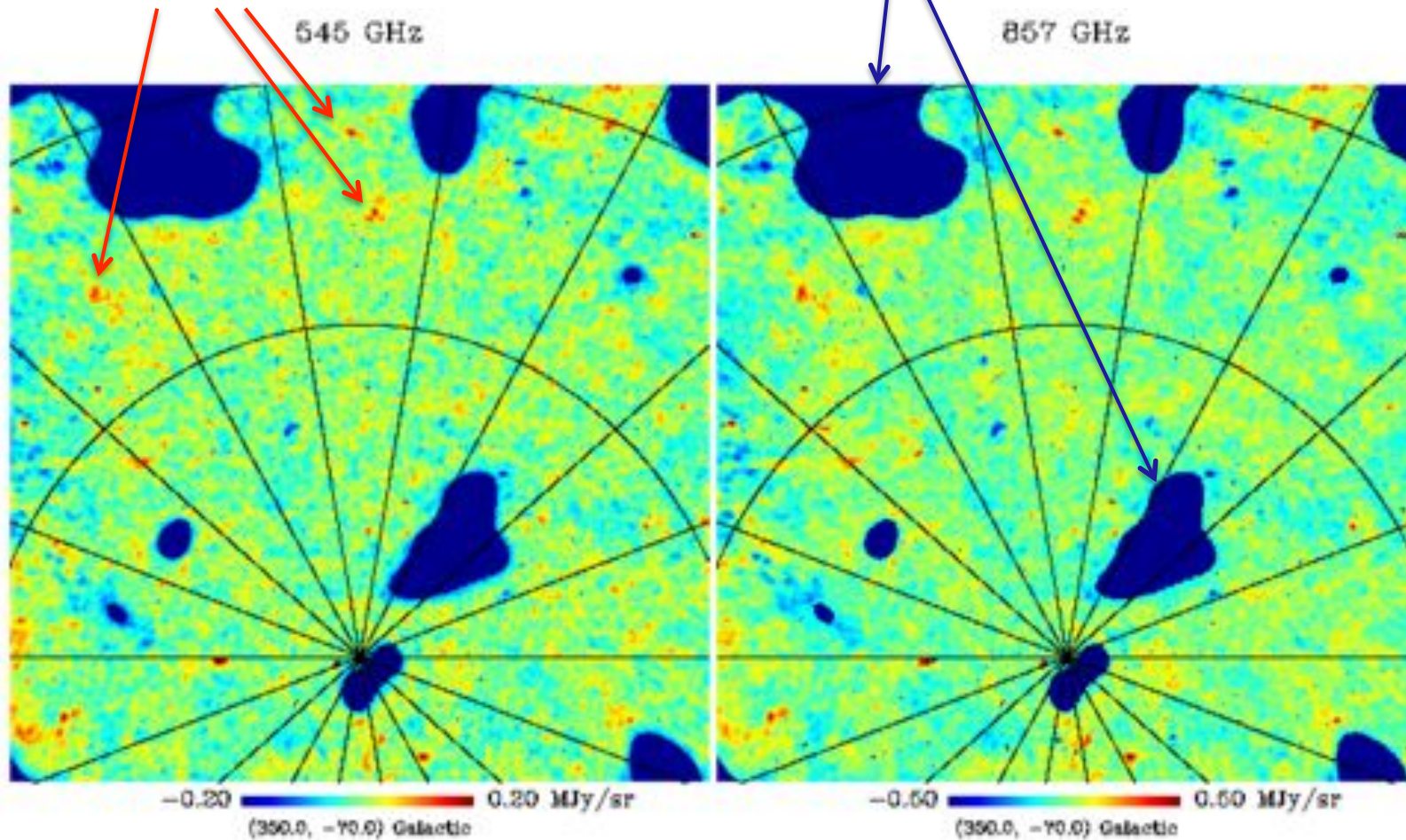
Les fluctuations du fond cosmique infrarouge



Les fluctuations du fond cosmique infrarouge

Excès d'émission associée
aux surdensités de matière ($z = 1$ à 3)

Zones masquées



Lumière zodiacale (notre système solaire)

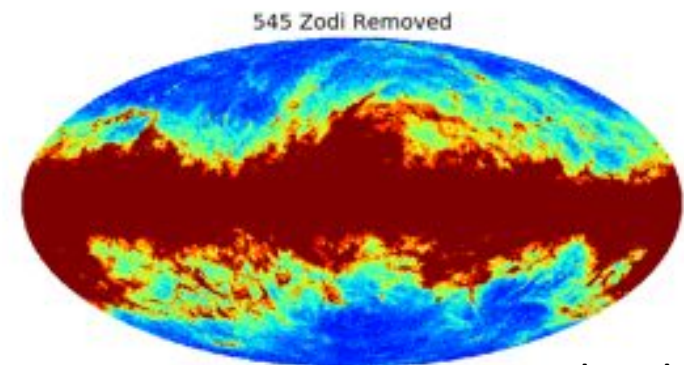
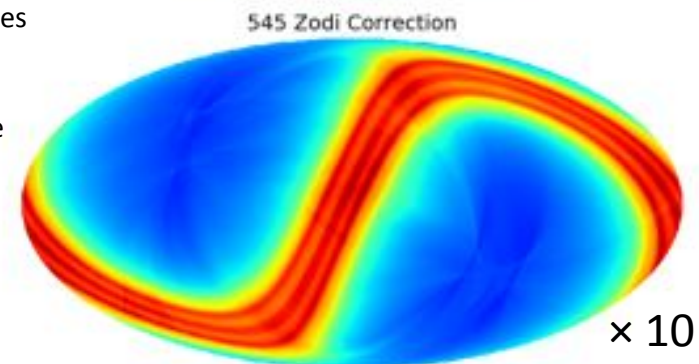
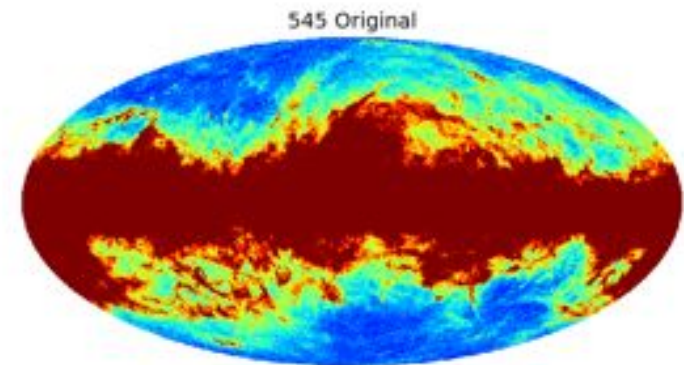
Lumière zodiacale

Emission intégrée des petites particules de poussière dans le système solaire



COBE-DIRBE

Une modèle 3-D multi-composantes est ajusté sur les observations de Planck et utilisé pour modéliser l'émission dans la gamme de fréquences de Planck

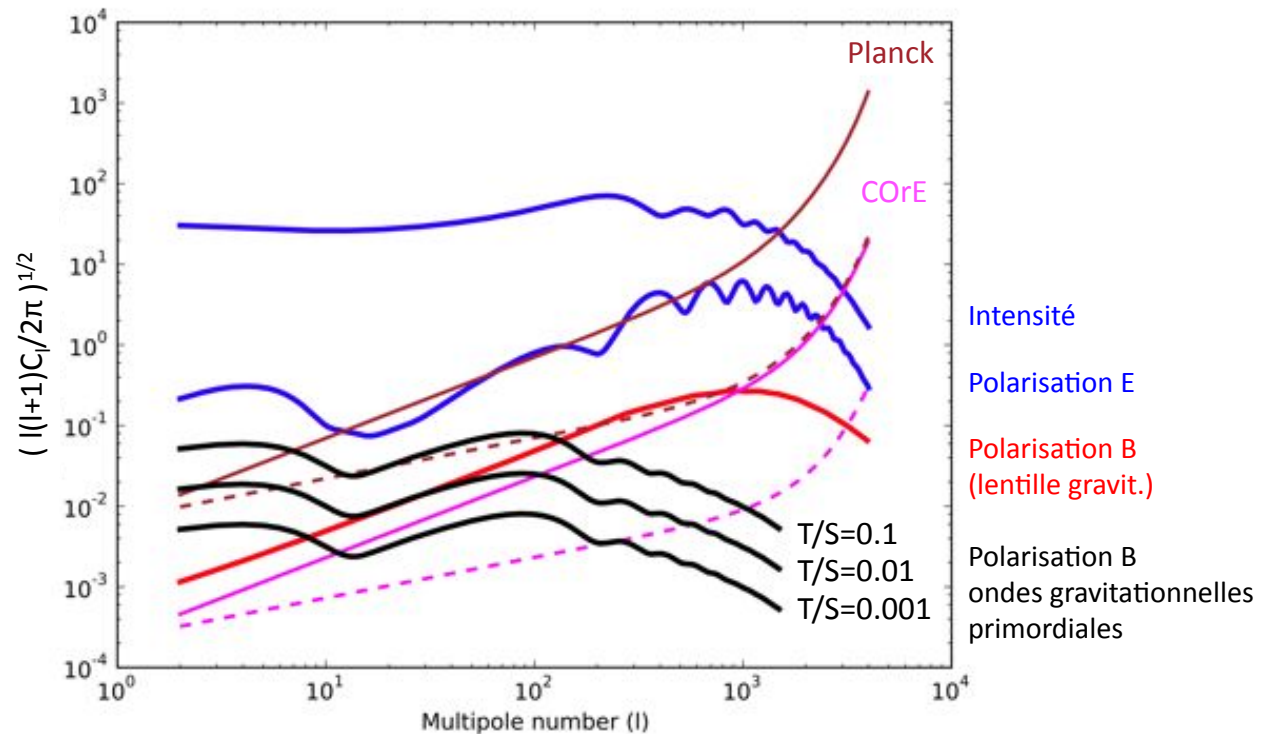
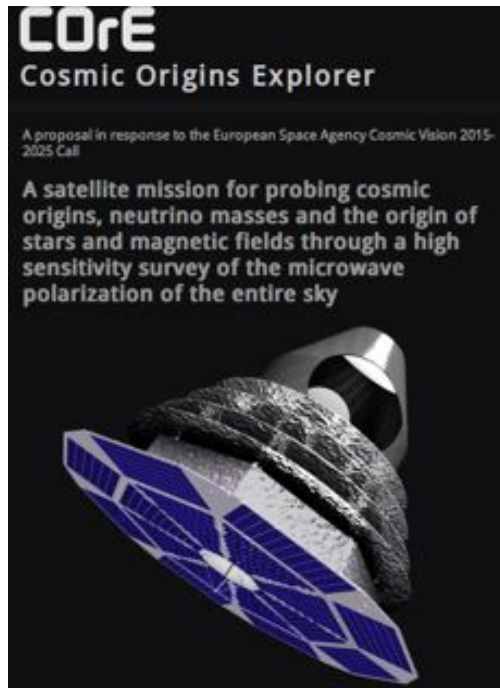


Planck

Le futur ...

Mission spatiale COre (mission de 4^{ème} génération)

- 30 fois plus sensible que Planck
- Mesure ultra-précise de la polarisation
- Nombre de canaux accru pour mieux caractériser les différentes émissions astrophysiques



FIN
(pour le moment)