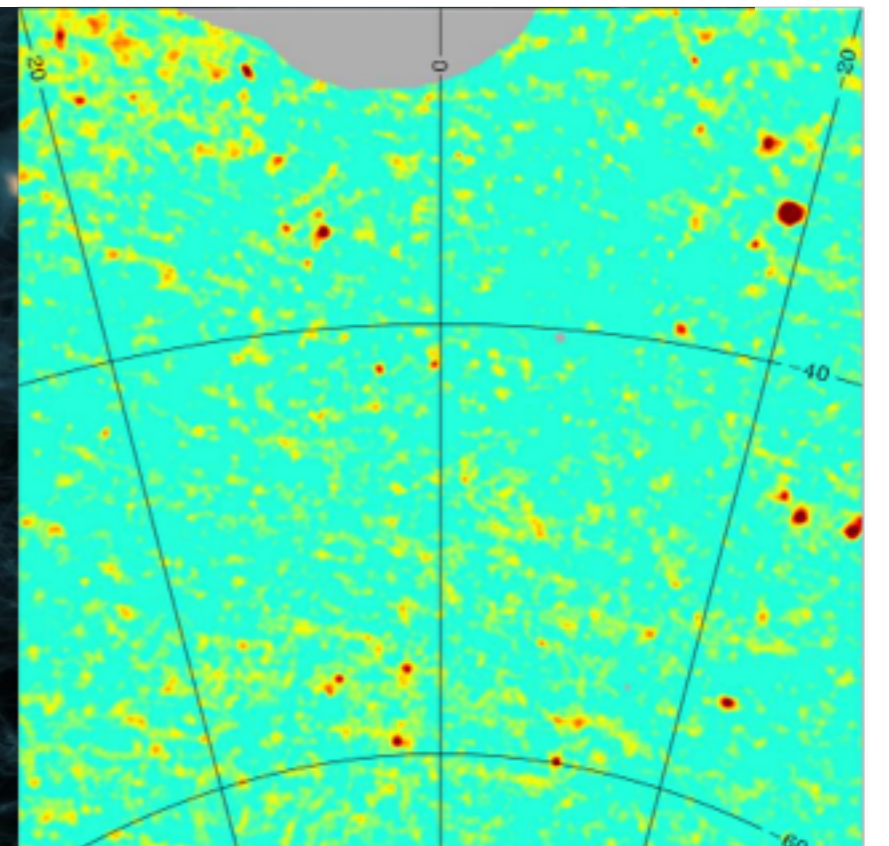
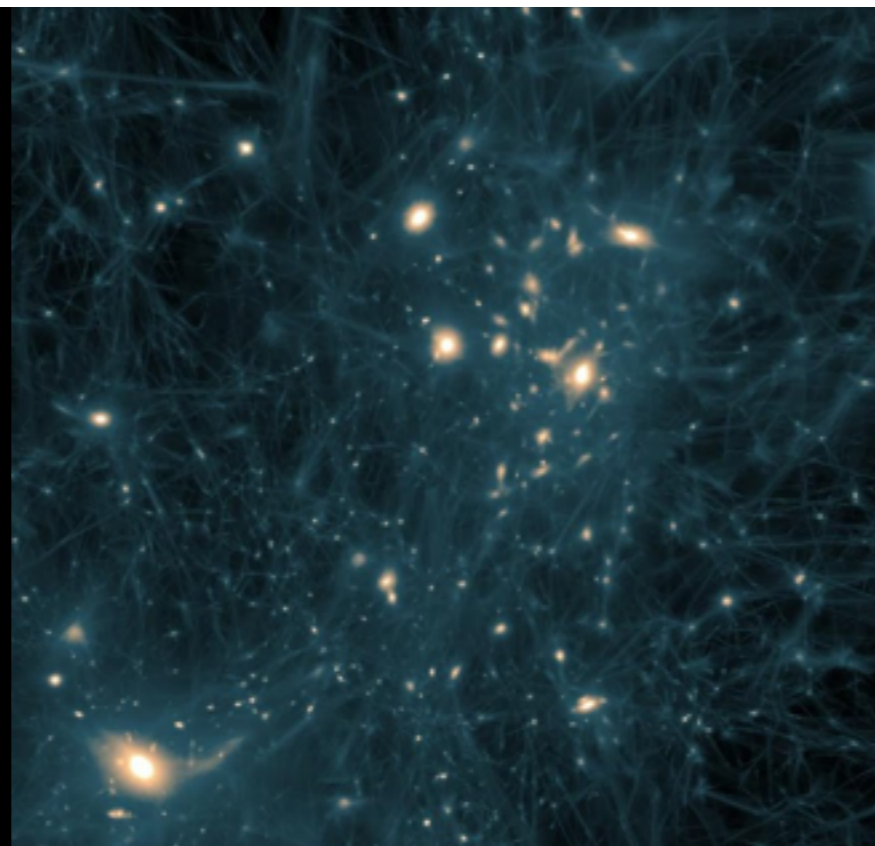
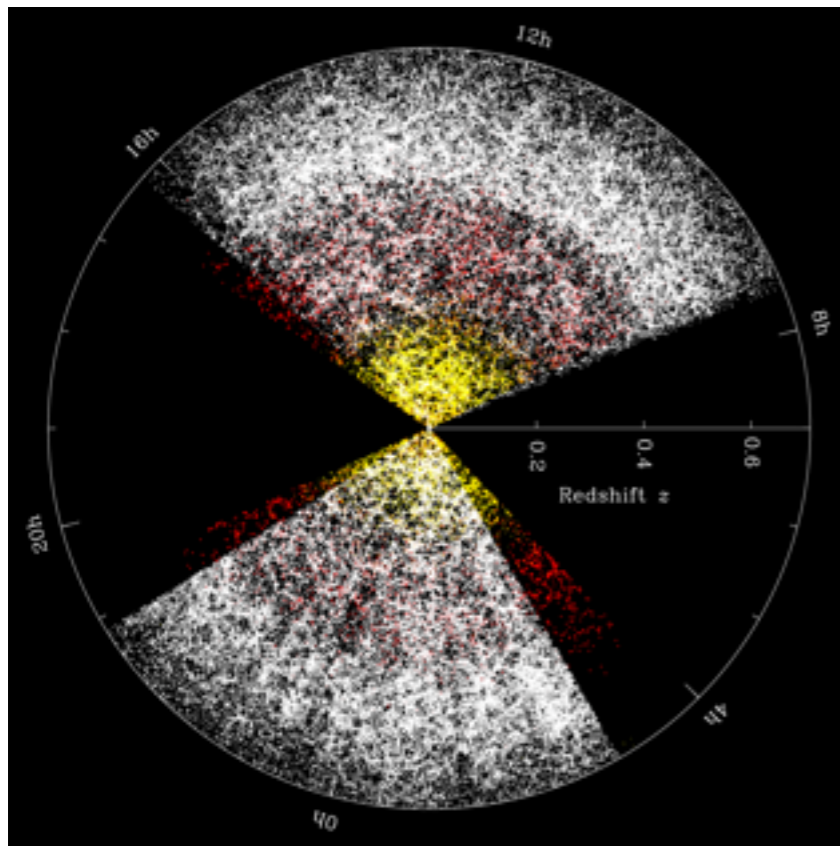


Missing baryons in the cosmic web revealed by the Sunyaev-Zel'dovich effect

Anna de Graaff¹, Yan-Chuan Cai¹, Catherine Heymans¹ & John A. Peacock¹

¹*Institute for Astronomy, University of Edinburgh, Royal Observatory, Blackford Hill, Edinburgh, EH9 3HJ, UK*
October 5, 2017





- Contenu matériel de l'Univers organisé sous la forme d'une **structure filamentaire**
- Galaxies et amas de galaxies ne représentent que **10% du contenu baryonique** estimé par analyse du CMB et BBN



Baryons manquants dispersés dans les filaments

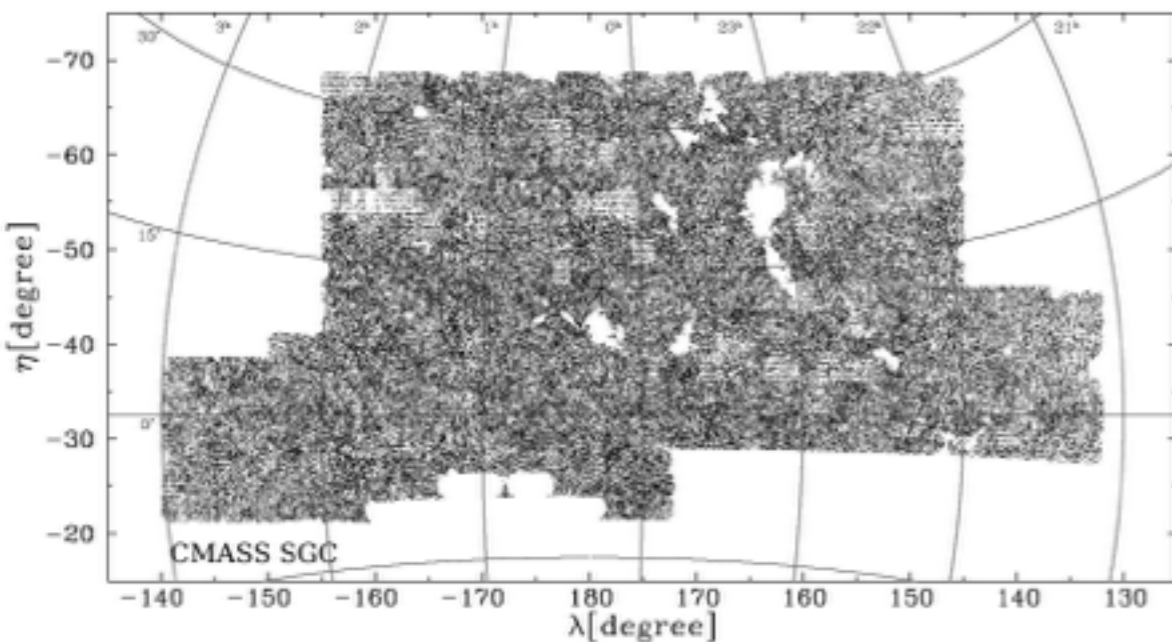
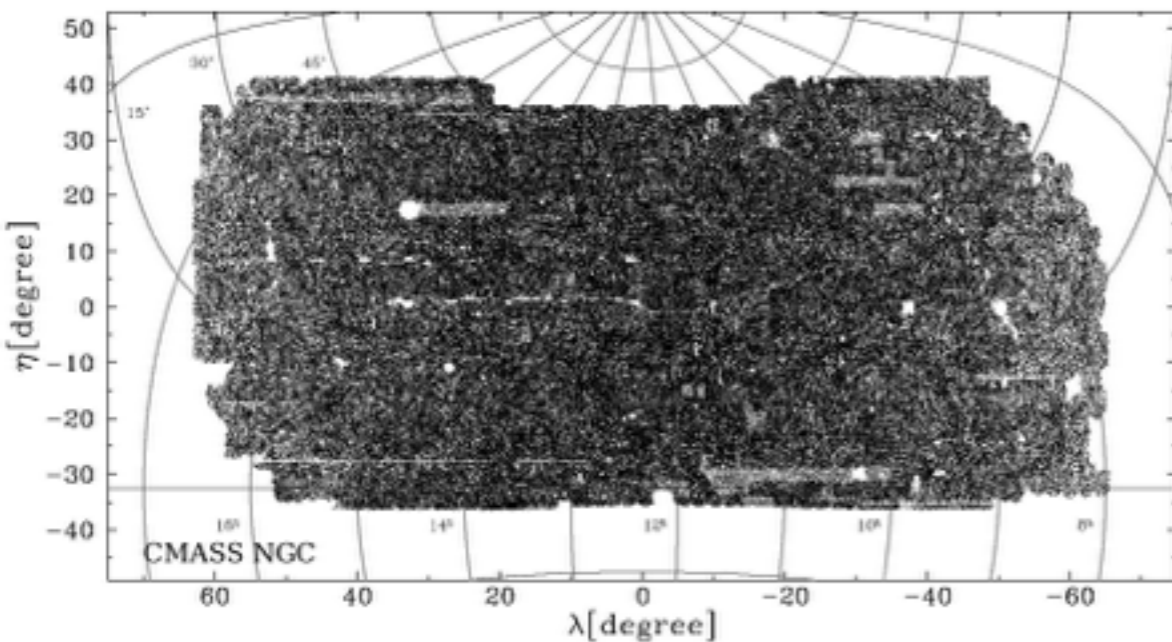
V. Springel *et al.*, Heidelberg Institute for Theoretical Studies

- Température attendue (simulations numériques) pour les filaments : $10^5 - 10^7$ K
- Tentatives de détection des filaments par observations de l'émission X ou de l'absorption dans les spectres de quasars
 —→ Pas de détection



Utilisation des données *Planck* (SZ) et SDSS (optique) pour détecter les filaments

- I – Carte du signal SZ de paires de galaxies
- II – Modélisation des halos principaux et carte du filament
- III – Significativité de la détection
- IV – Caractérisation des contaminants
- V – Conclusions



SDSS III *et al.* ApJS (2015)

- Utilisation des catalogues CMASS (Nord et Sud) de la 12ème release du SDSS
- Sélection de galaxies par coupure en magnitude-couleur
→ $0.43 < z < 0.75$
- Galaxies centrales dans des halos d'environ $10^{13} h^{-1} M_{\odot}$
- Rayon de viriel typique de $1 h^{-1} \text{ Mpc}$

Paires physiques :

- Vraisemblablement connectées par un filament
- Séparation projetée dans un intervalle de $6 - 14 h^{-1} \text{ Mpc}$
- Séparation le long de la ligne de visée inférieur à $5 h^{-1} \text{ Mpc}$



Identification de 1 020 334 paires *physiques* de galaxies

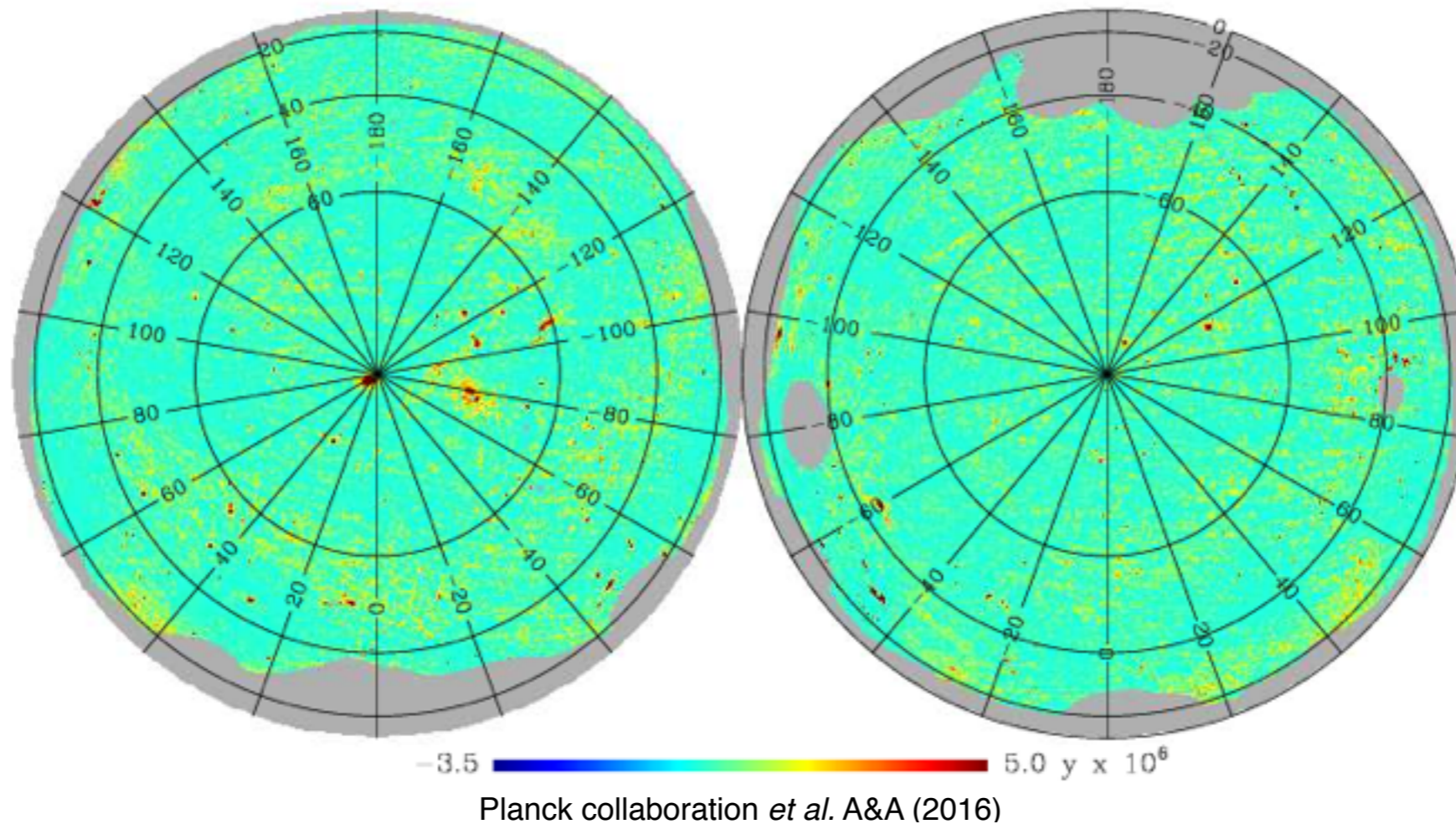
Paires non-physiques :

- Même séparation projetée mais séparation le long de la ligne de visée comprise entre $40 - 200 h^{-1} \text{ Mpc}$



Identification de 13 622 456 paires *non-physiques* de galaxies

MILCA tSZ map



- Utilisation de la y -map de *Planck* (résolution angulaire de 10 arcmin)
- Rotation de la zone de la y -map contenant chaque paire de galaxies
 - Axe principal aligné avec l'équateur et centre de chaque paire coïncide avec l'origine (coordonnées galactiques)
- Mise à l'échelle de chaque carte de paire pour qu'elles se superposent toutes



Stacking de toutes les cartes et de leur version mirror selon l'axe perpendiculaire à l'équateur

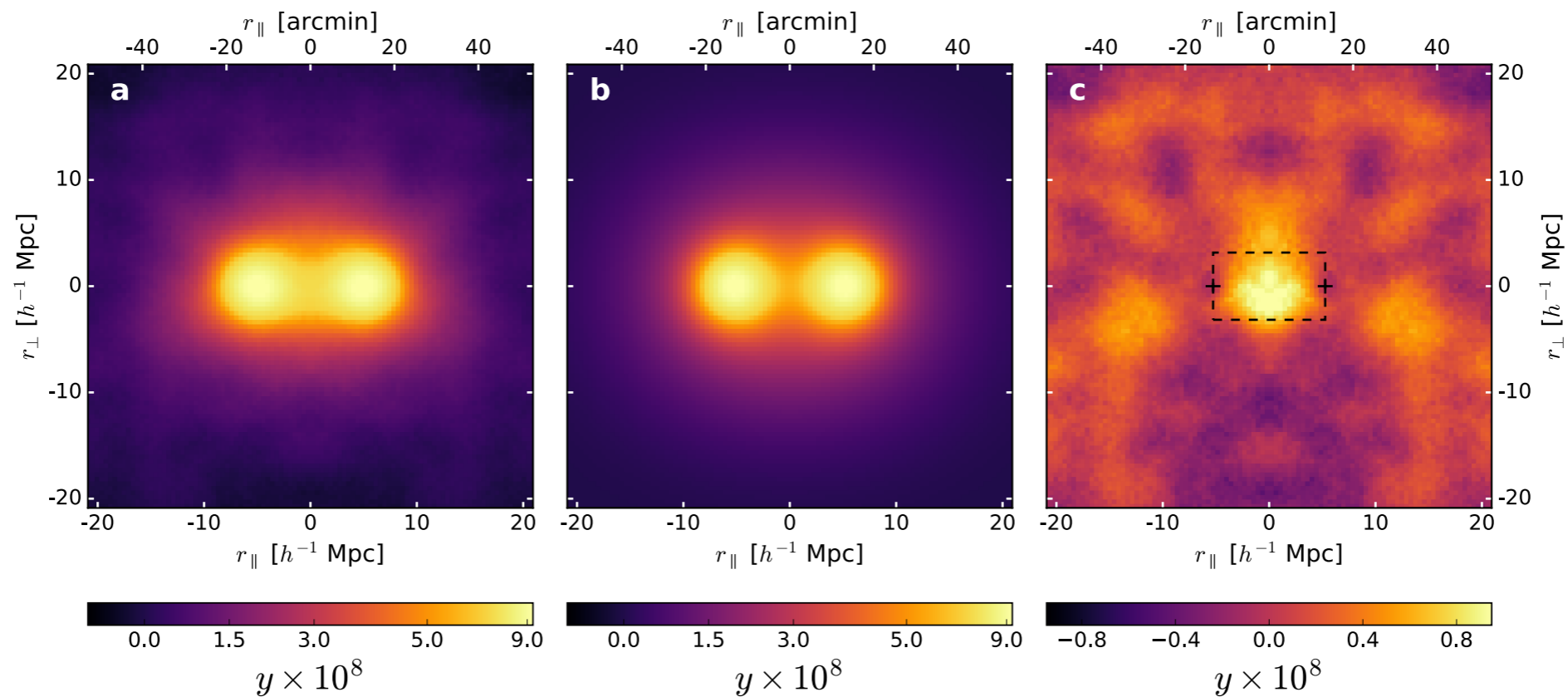


Figure 1: The SZ effect for 1 million stacked pairs of galaxies. (a) the symmetrically stacked Compton y -parameter maps for 1 million close pairs of CMASS galaxies; (b) the modelled signal from the galaxy host haloes only; and (c) the residual between the stacked data and model. The colour bar indicates the magnitude of the SZ effect through the dimensionless y -parameter, which is related to the pressure of the ionised gas. The indicated horizontal and vertical distance scales ($r_{||}$ and r_{\perp} respectively) are calibrated using the mean galaxy pair separation of $10.5 h^{-1}$ Mpc. The mean projected angular separations are also shown for the horizontal axis. There is a bridge connecting the pairs of galaxies in the data (a) but not in the model (b), which indicates the presence of a filament in (a). The detected filament is highlighted in panel (c) by a dashed box with plus signs indicating the positions of the galaxy pairs.

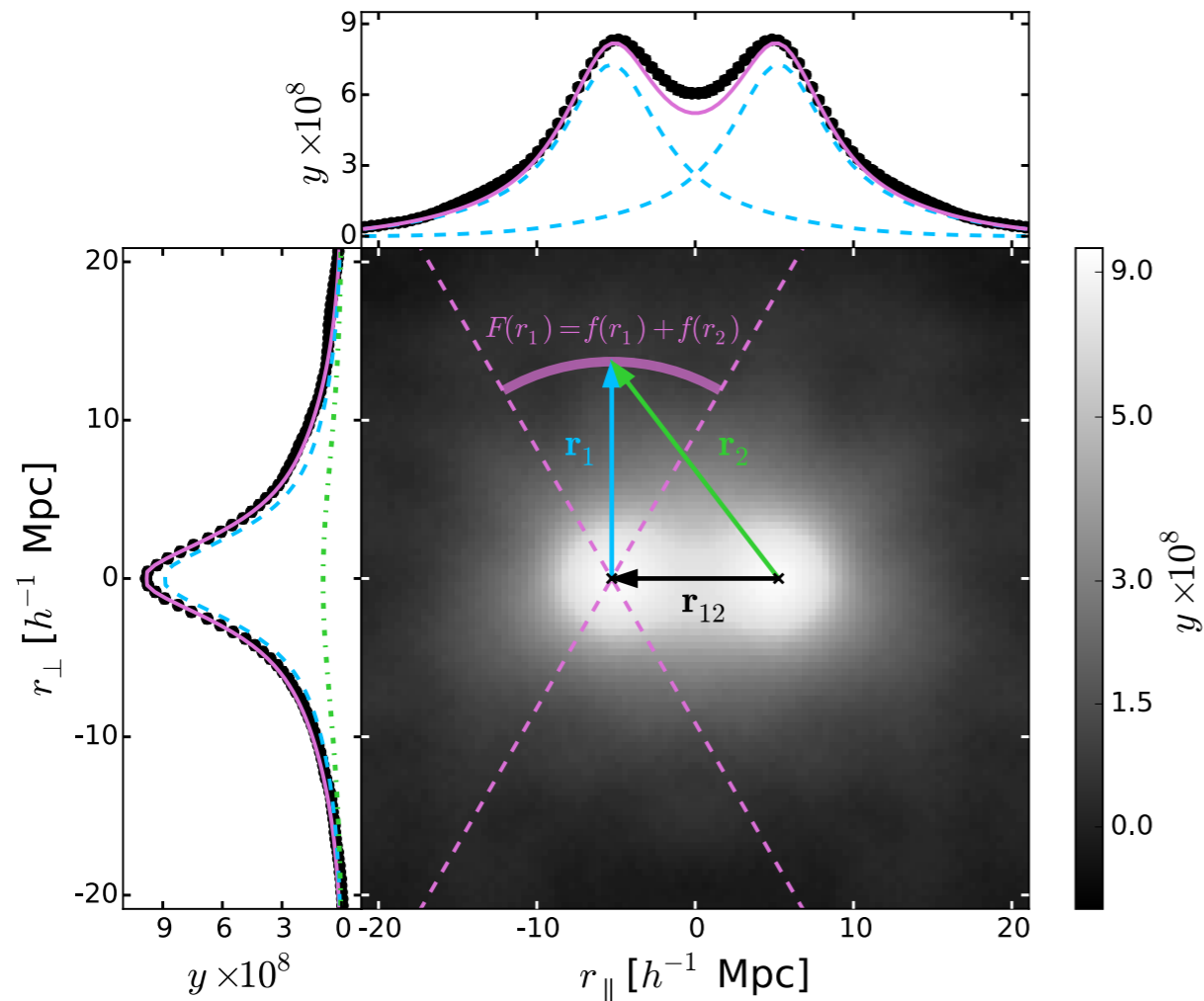


Figure 3: Construction of 1-dimensional profiles. Illustration for the fitting procedure to decompose the contribution from the isotropic haloes and the filament. The stacked CMASS galaxy pairs for the Compton y -map are shown in black and white in the main panel. The mean horizontal profile extracted from the 2D plot is in the upper panel. The pink dashed lines indicate the 60-degree subtended angle used to construct the mean radial profile in the left panel. The arrows demonstrate how the two haloes were decomposed for the halo modelling. Blue colours correspond to the primary halo contribution, green to the secondary halo, and pink to the combined contribution from the two haloes. $F(r)$ indicates the sum of the two isotropic halo profiles [$f(r_1)$ and $f(r_2)$] along the vertical direction. The good agreement between the model and the data points for the vertical profile allows us to estimate the filament signal indicated by the offset between the model and the data points in the upper panel.

Modélisation de la contribution des halos

- Profil SZ = moyenne du signal dans des portions d'anneaux situées dans 2 secteurs de 60 degrés
 - pas de contamination due au filament
- Carte symétrique suivant l'axe vertical
 - modèle identique pour les 2 halos
- Modèle à symétrie circulaire
 - fonction radial définie par un polynôme d'ordre 4 multiplié par une exponentielle $f(r)$
- Signal total pour un halo :

$$F(r_1) = f(r_1) + f(r_2)$$

$$r_2 = (r_1^2 + r_{12}^2)^{1/2}$$

paramètre fixé

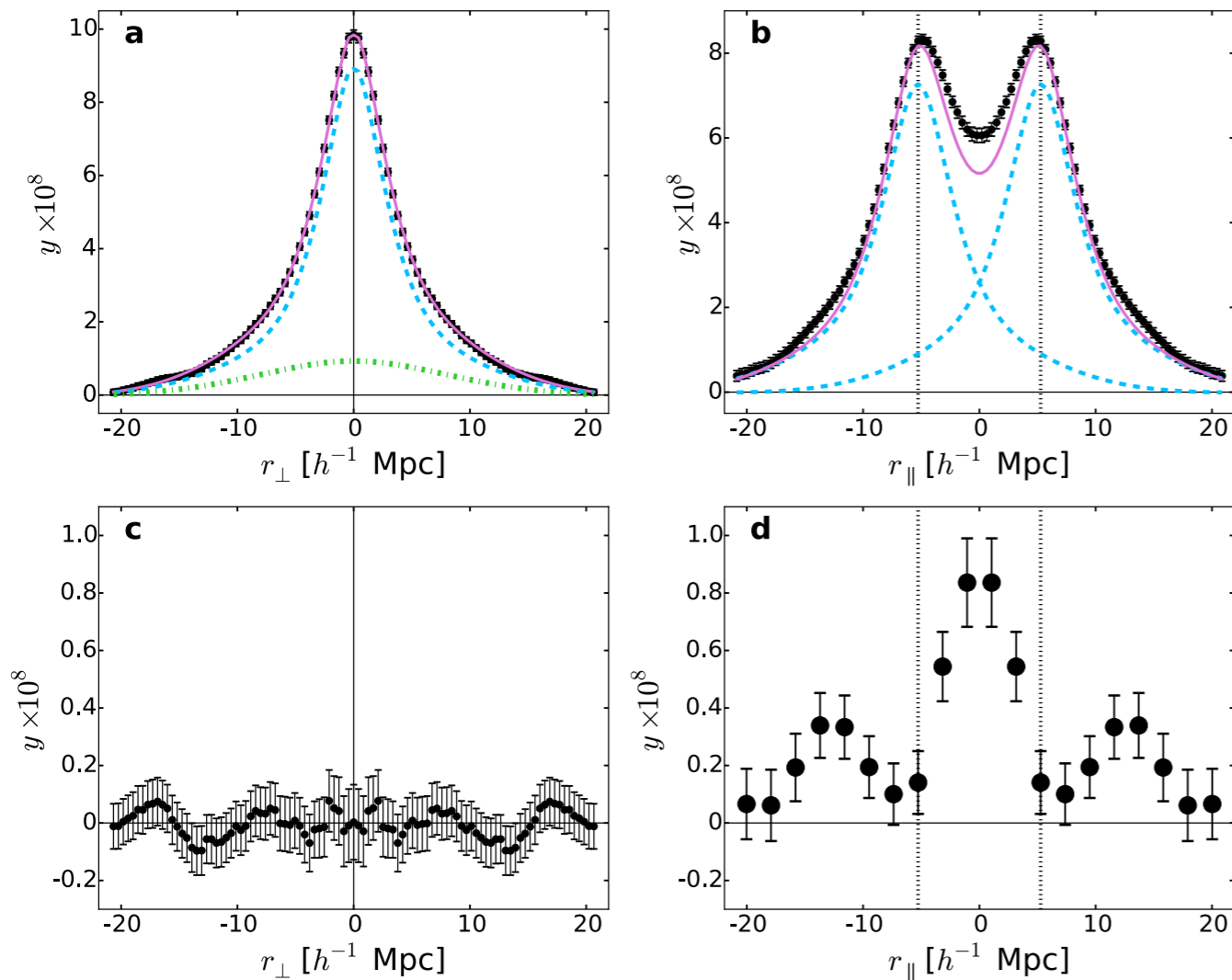


Figure 2: 1-dimensional profiles of the SZ signal from stacked galaxy pairs. (a) The mean radial SZ profile extracted along the vertical direction in the left-hand panel of Fig. 1; (b) the mean horizontal profile with a thickness of $6 h^{-1} \text{ Mpc}$ extracted from the left-hand panel of Fig. 1; the residual of (c) the radial profile and (d) the horizontal profile after subtracting the contribution from the two haloes. Error bars represent statistical uncertainties obtained from the individual profiles. The blue dashed lines and the green dash-dotted line indicate the modelled primary and secondary halo contributions respectively. The pink solid lines show the combined modelled contribution from the two haloes. The residual in (c) is consistent with zero, indicating the success of our modelling. The detected filament lies interior to the halo centres (dotted lines), shown by the offset between the solid pink line and the black data points in (b), and by the residuals in (d).

- Comparaison du profil mesuré suivant la direction **verticale** avec le modèle ajusté :
 → résidu au pourcent
- Comparaison du profil mesuré suivant la direction **horizontale** avec le modèle ajusté :
 → résidu significatif entre les deux halos



Signal du résidu = $\sim 10\%$ du signal de recouvrement des 2 halos



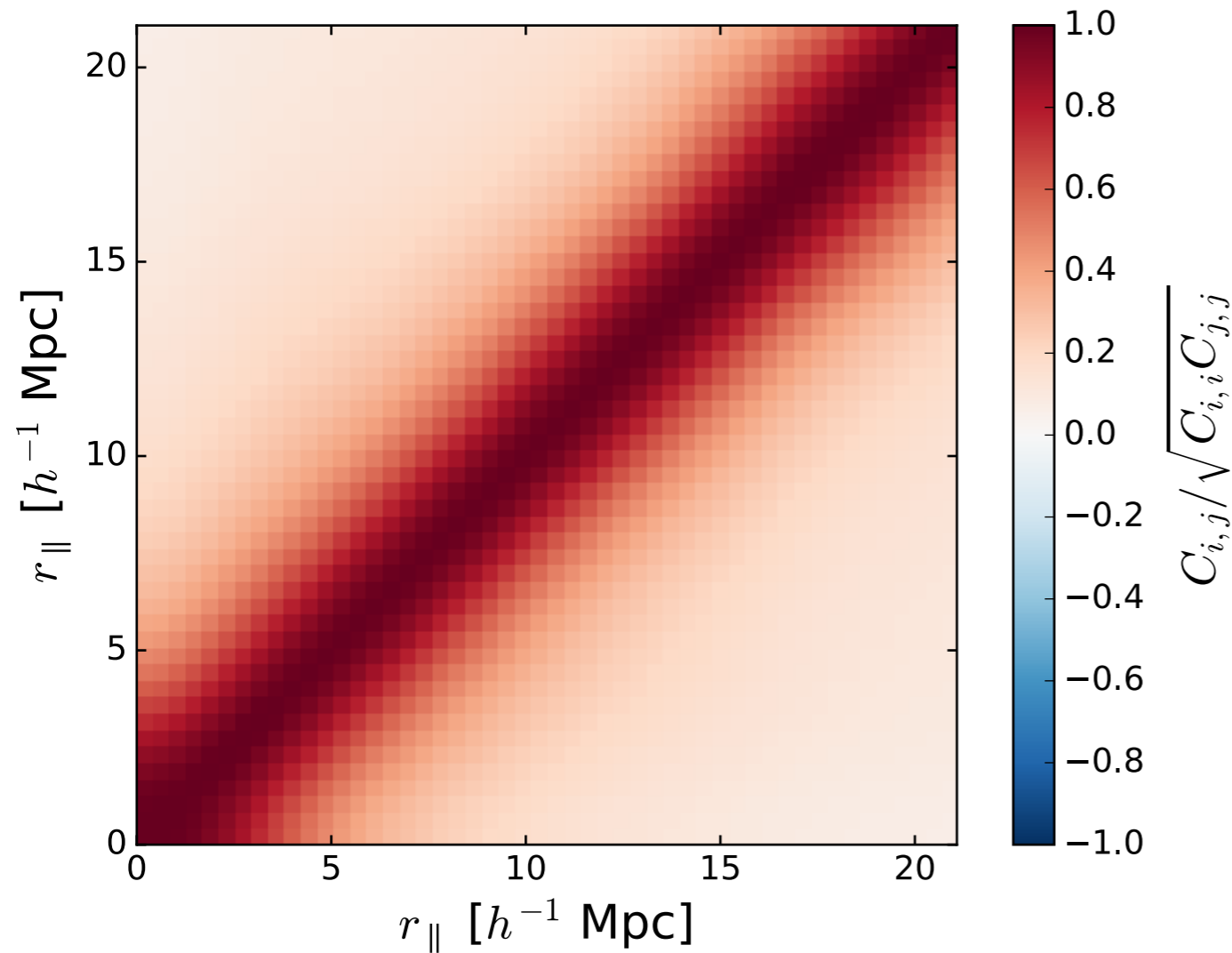
Paramètre de nuisance dans l'ajustement : expansion du profil de halo par un facteur s



Ajustement du modèle sur la carte complète dans l'hypothèse 0 (pas de filament)



Variation du signal du filament de $\sim 10\%$



- Etude du profil de résidu calculé dans une portion de $\sim 6 h^{-1}$ Mpc de large
- Calcul de la covariance entre chaque point en utilisant les cartes y de chaque paire de galaxies

$$C_{i,j} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_i^k - \bar{y}_i^k)(y_j^k - \bar{y}_j^k)$$

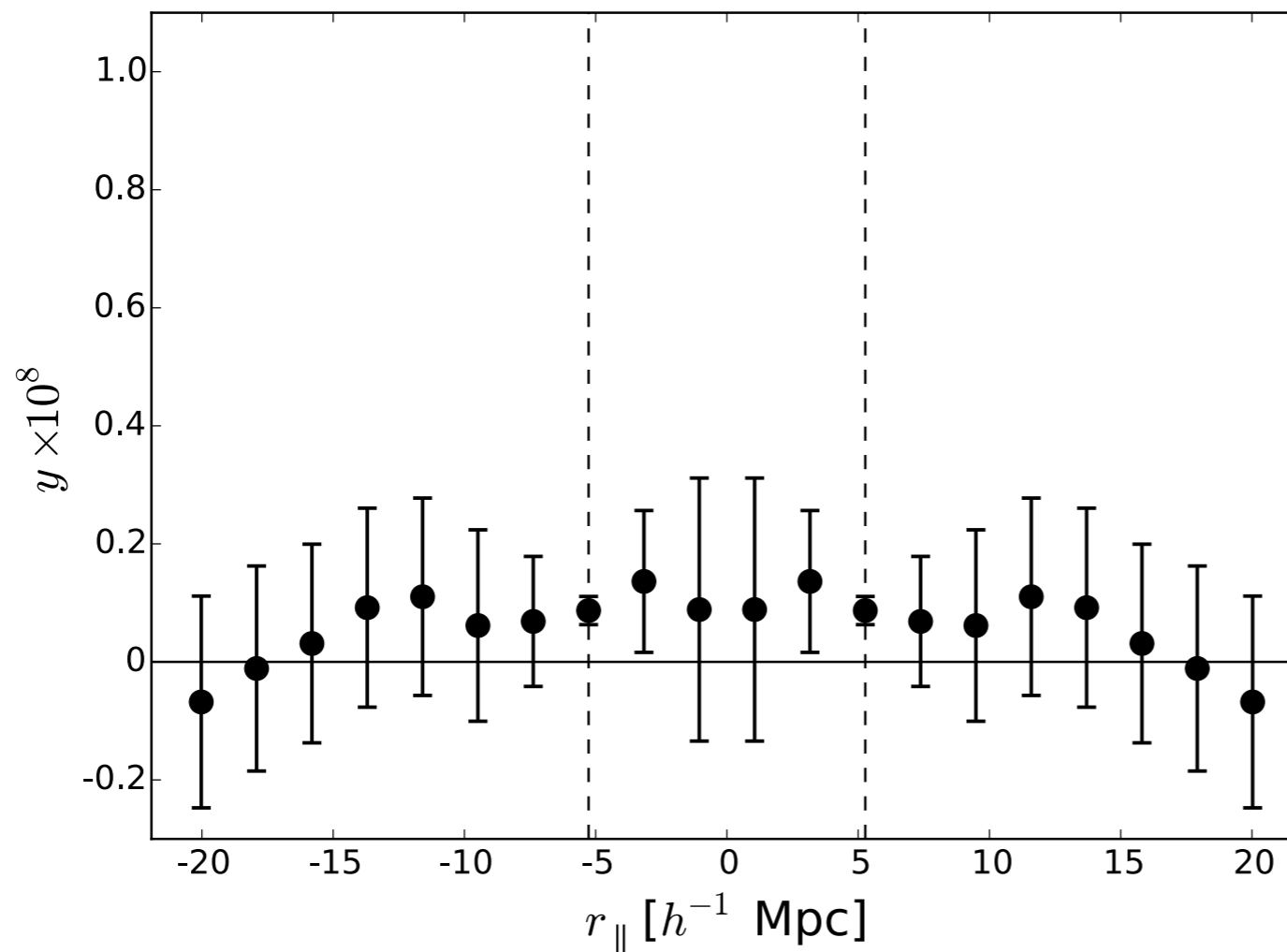
- Calcul du χ^2 :

$$\chi^2 = \sum_{i,j} \bar{y}_i C_{i,j}^{-1} \bar{y}_j$$

- Conversion du χ^2 en un écart-type gaussien (compte tenu du nombre de degrés de liberté)



Position des points du résidu entre les 2 halos à 5.1σ du niveau zéro

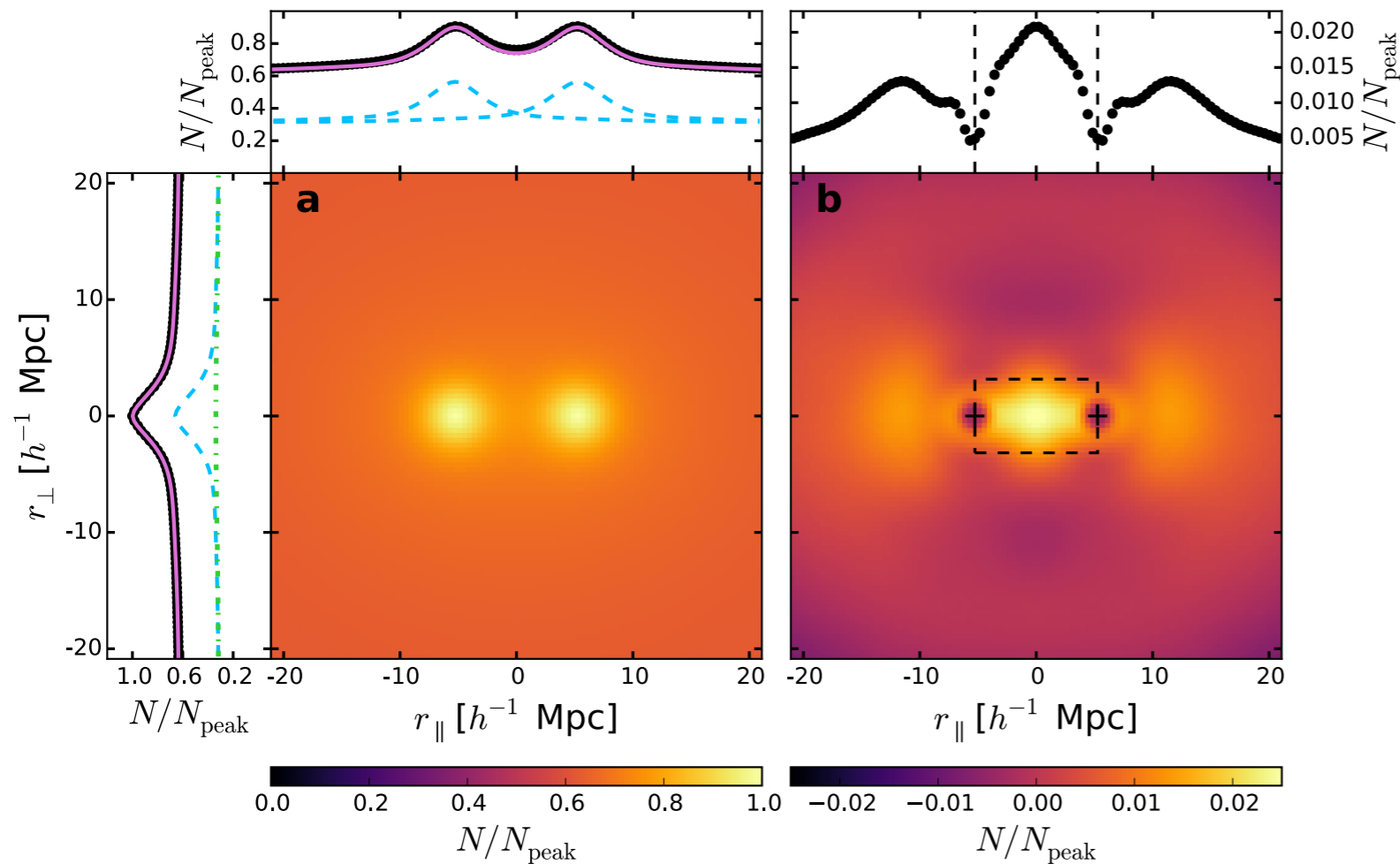


- Étude de la contamination due aux structures non-corrélées
- Même étude itérée 500 fois en utilisant les paires non-physiques



Résidu moyen des 500 sous-échantillons non-significatif (0.2σ)

Figure 5: Residual SZ signal of the non-physical pairs. The mean horizontal residual SZ signal of the 500 subsamples of non-physical pairs. Dashed lines indicate the positions of the galaxy pairs. The error bars show statistical uncertainties obtained from the 500 residual profiles. The residuals are consistent with zero within the errors, with $y = (6 \pm 3) \times 10^{-10}$ between the two haloes. This accounts for $\lesssim 10\%$ of the filament signal and is therefore subdominant.



- Possible contamination par des halos entre les paires de galaxies (proches)
- Carte de densité numérique de galaxies basée sur l'échantillon CMASS complet
- Convolution de la carte par le lobe *Planck*
- Répétition de l'analyse sur la carte obtenue et identification d'un filament
- Signal du filament de l'ordre de 1 – 2% de la valeur du pic des 2 halos



Ne permet pas d'expliquer le résidu SZ identifié ($\sim 10\%$ de la valeur du pic)

Figure 6: The mean galaxy number density around the galaxy pairs. (a) The main panel shows the stacked CMASS galaxy number density map for 1 million galaxy pairs, convolved with a Gaussian filter with FWHM= 10 arcmin and normalised by the peak value of the stacked map. The left and upper side-panels show the mean radial profile and horizontal profile respectively, and include the modelled contributions from the primary halo (blue, dashed lines), secondary (green, dash-dotted line) and the two haloes combined (pink, solid lines). (b) The residual between the stacked map and two isotropic halo profiles. The upper side-panel shows the residual profile extracted from the boxed region, with dashed lines indicating the galaxy pair centres. The residual haloes in the filament region are estimated to contribute approximately 10% of the filament signal.

Fraction de baryons dans les filaments :

- Selon les simulations numériques : gaz dans les filaments chauffé par des chocs jusqu'à 10^6 K
- Selon les observations : limite supérieure $T_e < 10^7$ K
- Modélisation du filament par un cylindre dans lequel la densité de gaz suit une gaussienne 2D

$$y = \int \frac{k_B T_e}{m_e c^2} n_e \sigma_T dl$$



Densité centrale dans le filament : $n_e(z) \simeq 6 \times \bar{n}_e(z)$

avec $\bar{n}_e(z)$ la densité électronique moyenne au redshift moyen de l'échantillon CMASS ($z = 0.55$)

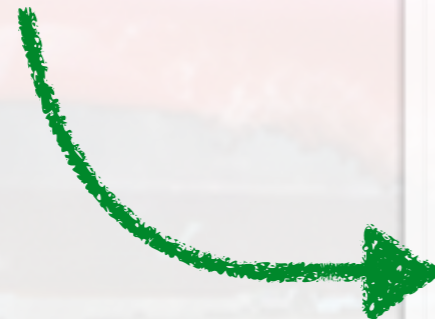
- Correspond à environ 30% de la densité moyenne de baryons dans l'Univers $0.3 \Omega_b$
compte tenu du volume couvert par le survey CMASS



- Fraction de baryon trouvée pour cette sélection très spécifique de paires de galaxies
- Valeur de la densité complètement dégénérée avec la température

Merci de votre attention

La première règle du Journal Club est :
"Il est important de participer au Journal Club"



Journal Club Astropart/Cosmo - Vendredi 11h

Sondage lancé par Celine | 5 | 0 | il y a 40 jours

Renseignez le ou les jours où vous souhaitez présenter un article. Pas plus de deux articles par séance pour laisser du temps aux discussions.

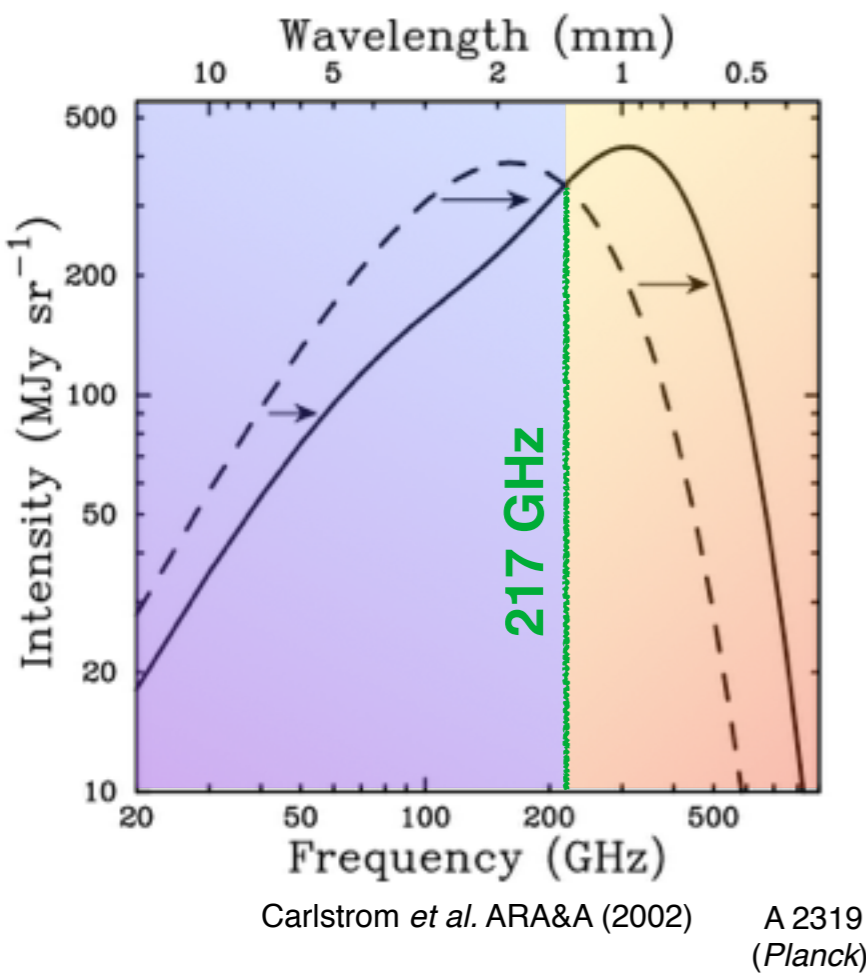
[Vue tableau](#)

Ce sondage est plus grand que d'habitude
Agrandir la vue pour participer au sondage.

[Montrer les 12 options](#)

5 participants	novembre 2016		janvier 2017			février 2017	mars 2017	
	ven. 18	ven. 25	ven. 13	ven. 20	ven. 27	ven. 10		ven. 31
Celine					✓			
Barbara			?	?	?	?		?
Vincent		✓	?	?	?	?		?
Florian			✓					
David	✓			✓				
<input type="text" value="Votre nom"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	1	1	1	1	0		0

[Indisponible](#) [Enregistrer](#)



- **Thermal Sunyaev-Zel'dovich effect (SZ)**

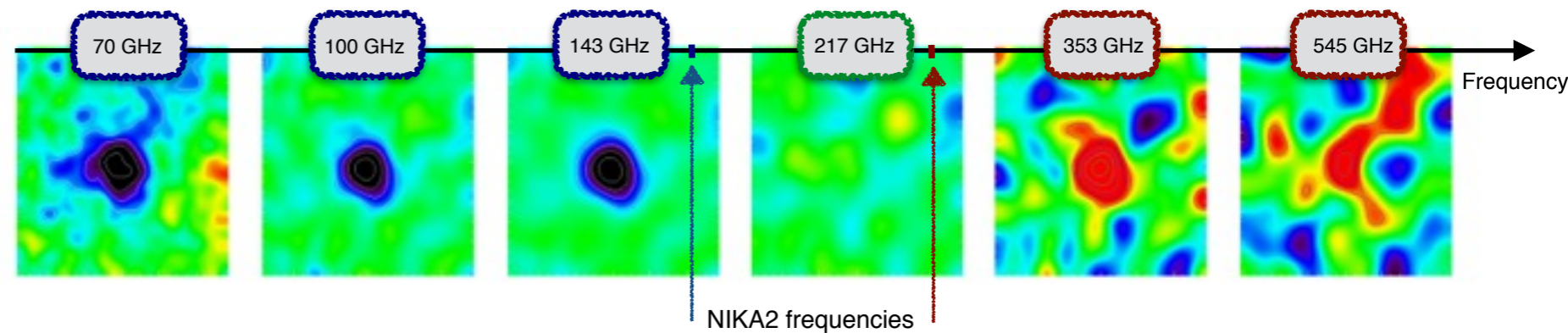
Sunyaev & Zel'dovich CoASP (1972)

Inverse Compton scattering of CMB photons on hot ICM electrons

→ CMB photons acquire energy

Study of the ICM from its imprint on the CMB (spectral distortion)

→ SZ effect is redshift independent



- SZ effect amplitude given by the Compton parameter:

$$y_{\text{SZ}} \propto \int_{\text{LOS}} P_e dl \rightarrow$$

Characterize the electron **pressure** within the ICM

- Integrated Compton parameter: $Y_{500} \propto \int_0^{R_{500}} P_e d^3r$ R_{500} : radius of a sphere containing 500 times the critical density of the Universe