



# EUCLID 2015

7-8 Janvier 2016

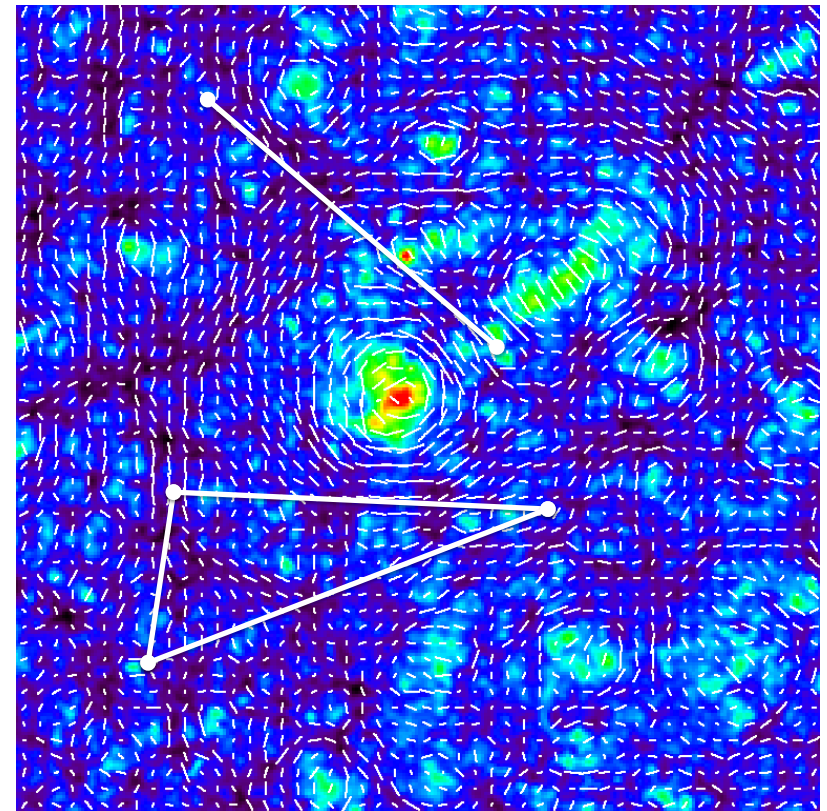
APC - Université Paris Diderot, Paris



**Francis Bernardeau,  
IAP**

La science au delà des statistiques  
d'ordre 2 (3-points et plus)

*"Higher Order Statistics" work package  
(Vincenzo F. Cardone)*



# 1. Quelles observables ?

Combinaison du shear et/ou de la densité de galaxies au delà de l'ordre 2,  $\langle \gamma\gamma\gamma \rangle \quad \langle \gamma\gamma\gamma\gamma \rangle \quad \langle \gamma\gamma n_g \rangle$

Connexions possibles avec d'autres observables (Minkowski, comptages/correlations de pics...)

# 2. Pourquoi les mesurer ?

Information complémentaire du spectre

Analyse biais/alignement intrinsèque

*Nouvelle fenêtre d'observation/de découverte*

# 3. Comment les mesurer?

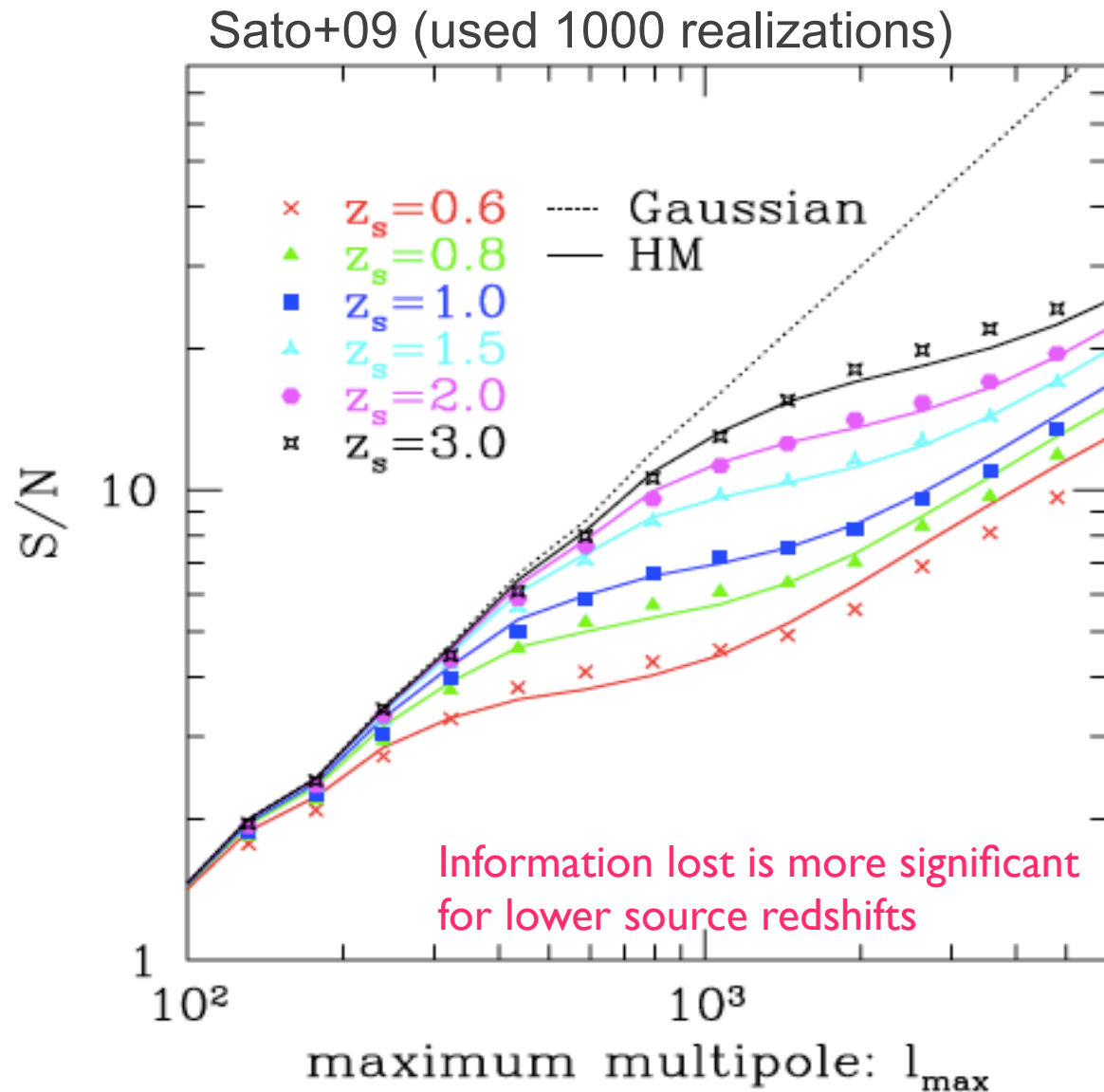
En espace réel, mais plus sûrement en espace Harmonique

# 4. Sait-on les décrire ?

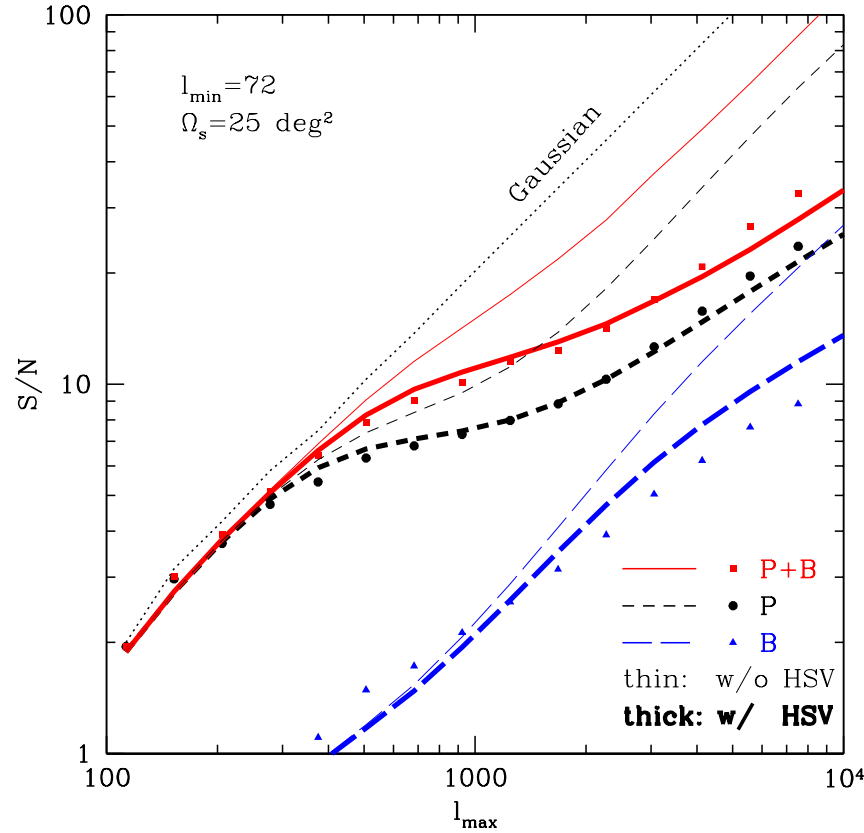
Théorie des perturbations et modèles phénoménologiques

## 2. Information (mode amplitudes) content from bispectra

- The information content of WL power spectrum is (significantly) smaller than the Gaussian expectation (also see Lee & Pen 08; MT & Jain 09; Yu+09)
- The power spectrum is not enough in WL case
- Where is the information contained in the initial field gone? The initial information is lost?



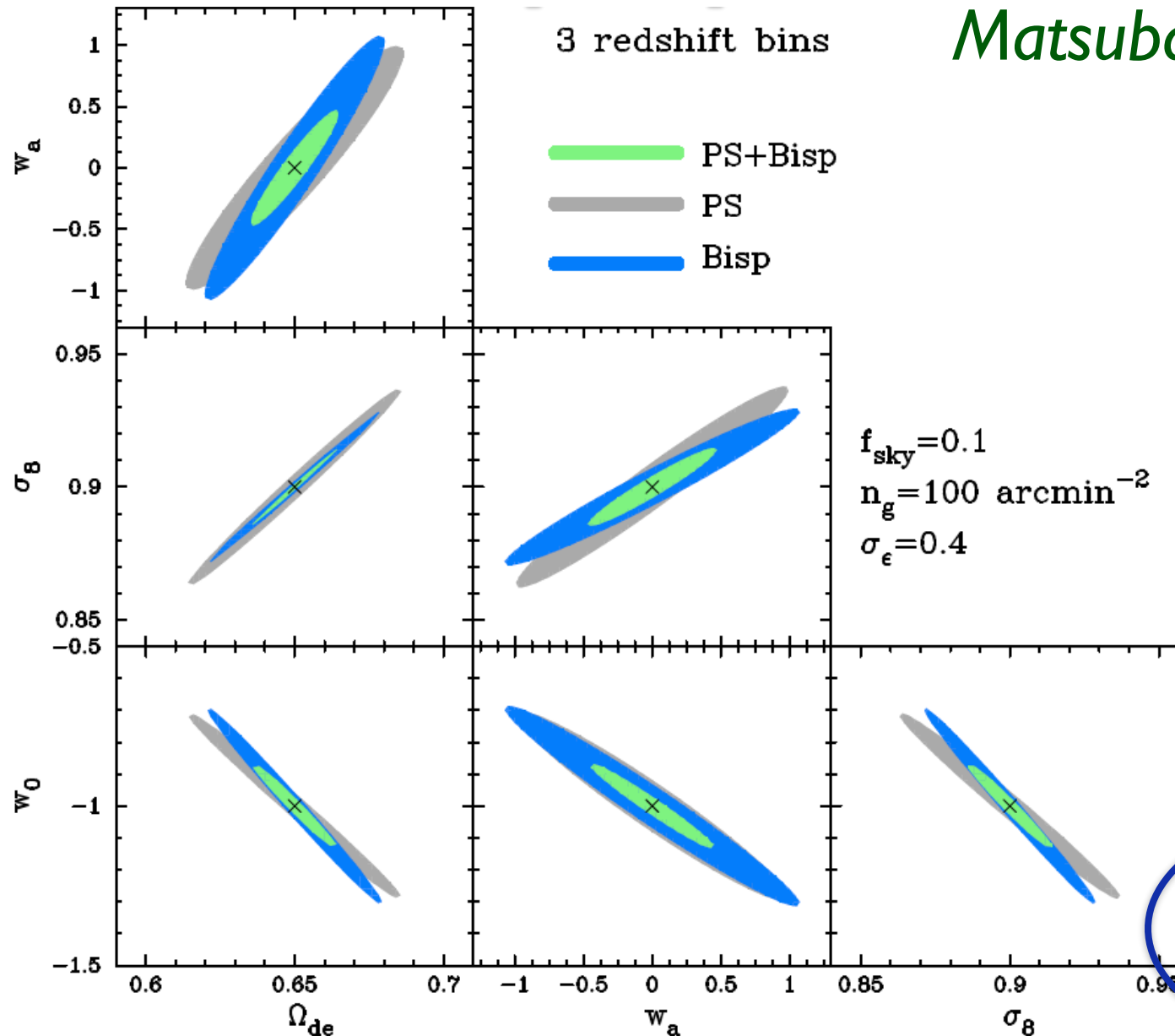
(Kayo, Takada & Jain 2012)



**Figure 10.** Cumulative S/N for the power spectrum ( $P$ ), the bispectrum ( $B$ ) and the joint measurement ( $P + B$ ) for a survey area of  $25 \text{ deg}^2$  and source redshift  $z_s = 1$ . They are shown as functions of the maximum multipole  $l_{\max}$ , where the power spectrum and/or bispectrum information are included over  $l_{\min} \leq l \leq l_{\max}$  (see equations 27, 28 and 31). The minimum multipole is set to  $l_{\min} = 72$ . We do not include the shape noise contamination here – it is shown in the next figure. The circle, triangle and square symbols are the simulation results for  $P$ ,  $B$  and  $P + B$  measurements, respectively, computed from the 1000 realizations. The thick short-dashed, long-dashed and solid curves are the corresponding halo model predictions. The corresponding thin curves are the results without the HSV contributions. For comparison, the dotted curve shows the S/N for the power spectrum for the Gaussian field, which the primordial density field should have contained. Note that the simulation results for  $B$  and  $P + B$  could be overestimated by about 10 per cent due to a finite number of the simulation realizations used to estimate the covariance matrices (Hartlap et al. 2007).

# Cosmic Shear, tomographic spectres & bispectres

*Matsubara & Jain '04*



A factor 2-3 improvement (by recovering the initial information content via 3pt function)

This forecast includes all the triangle configurations for a given  $l_{\text{max}}=3000$

Non-Gaussian errors need to be included

# Au delà des mesures de modes,

## 2pt functions

$$\langle \gamma\gamma \rangle \propto W_{\text{gl}}^2 P_{\delta}(k)$$

$$\langle \gamma h \rangle \propto b W_{\text{gl}} P_{\delta}(k)$$

$$\langle hh \rangle \propto b^2 P_{\delta}(k)$$

## 3pt functions

$$\langle \gamma\gamma\gamma \rangle \propto W_{\text{gl}}^3 P_{\delta}^2(k)$$

$$\langle h\gamma\gamma \rangle \propto b W_{\text{gl}}^2 P_{\delta}^2(k)$$

$$\langle hh\gamma \rangle \propto b^2 W_{\text{gl}} P_{\delta}^2(k)$$

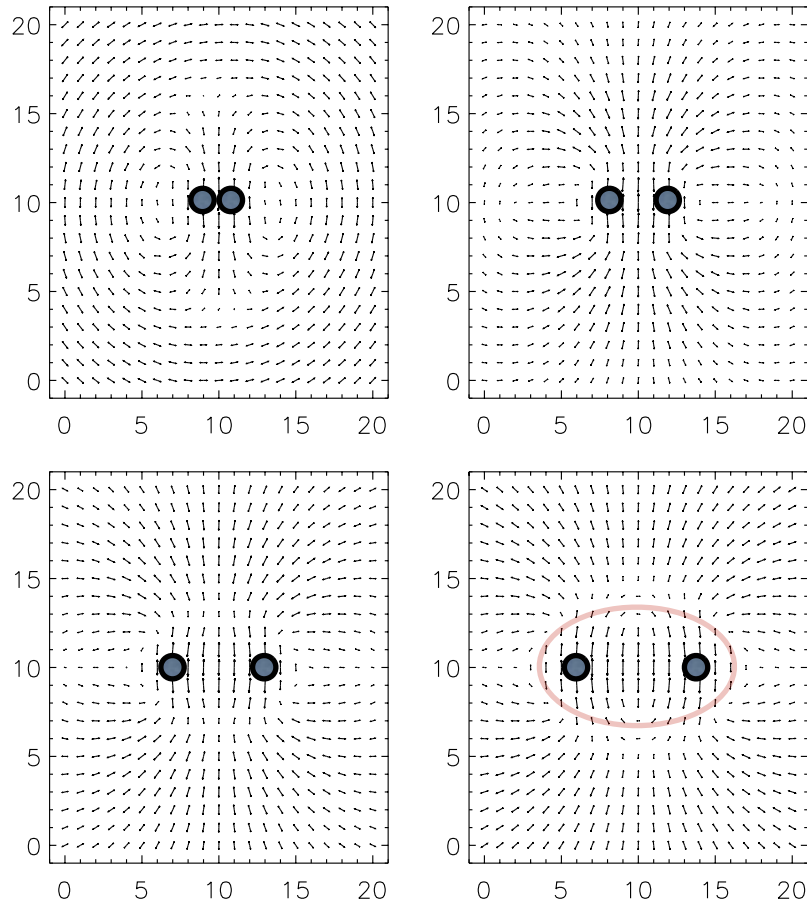
$$\langle hhh \rangle \propto b^3 P_{\delta}^2(k)$$

- Les différentes fonctions de corrélation dépendent des biais, du spectre de puissance, de la fonction d'efficacité des lentilles, des effets d'alignement intrinsèque, de manière différentes ;
- Besoin de mettre en place une analyse conjointe complète (déjà fait à l'ordre 2, jamais complètement pour l'ordre 3)
- Quelles combinaisons ? quels gains ? Sur quelles quantités ( $P(k)$ ,  $w_0$ ,  $w_1$ , modification de la gravité ?)

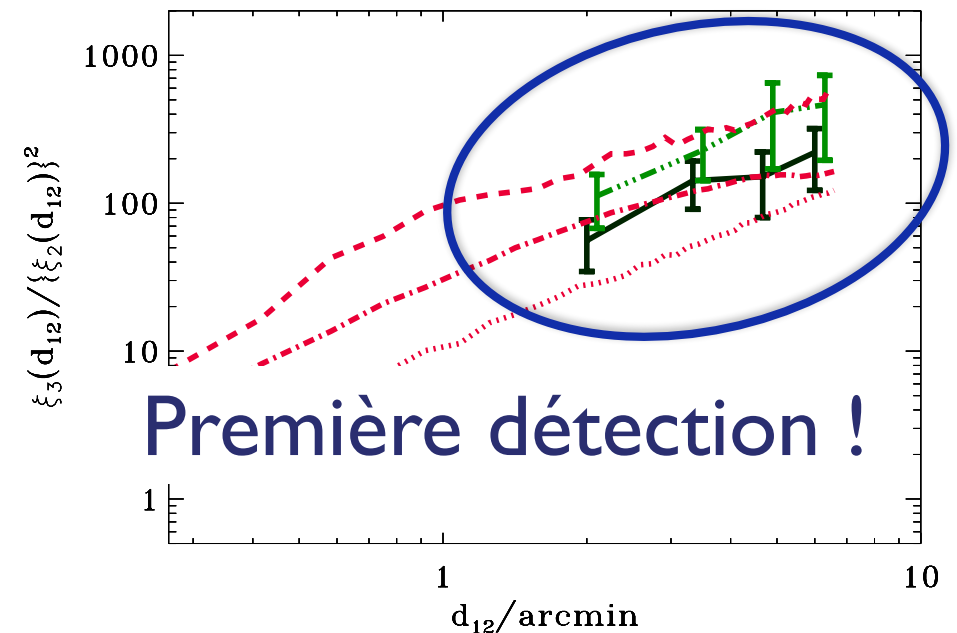
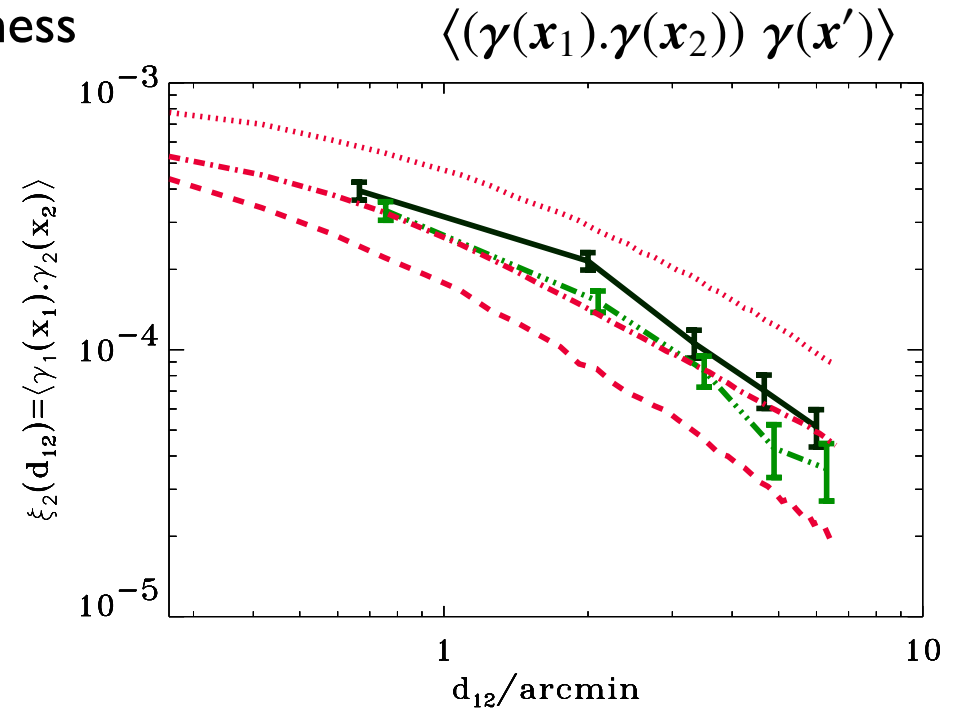
### 3. Comment les mesurer, quelques résultats :

Pen et al. (03) : detection de la MAp skewness  
à partir CFHT data

Bernardeau et al. 02 :



**Fig. 4.** The shear pattern of  $\langle(\gamma(x_1).\gamma(x_2))\gamma(x')\rangle$  measured in ray-tracing simulations (Jain et al. 2000) for increasing pair separation  $|x_2 - x_1|$ . The separations are, from top to bottom and left to right, 2, 4, 6, and 8 in plot units (1 unit corresponds to about  $10''$ ). The pair points are along the horizontal axis.

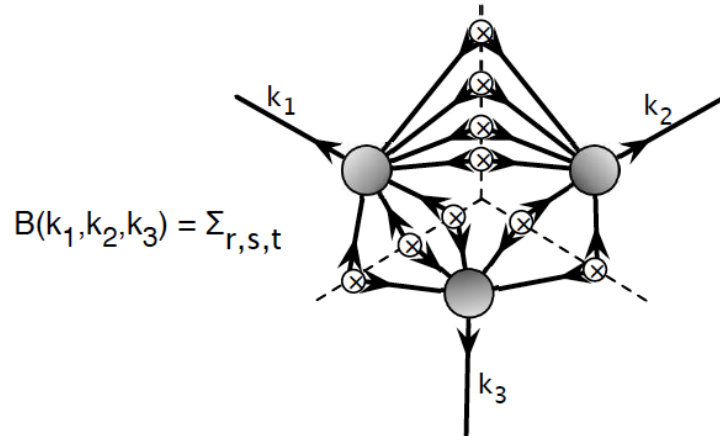


**Première détection !**

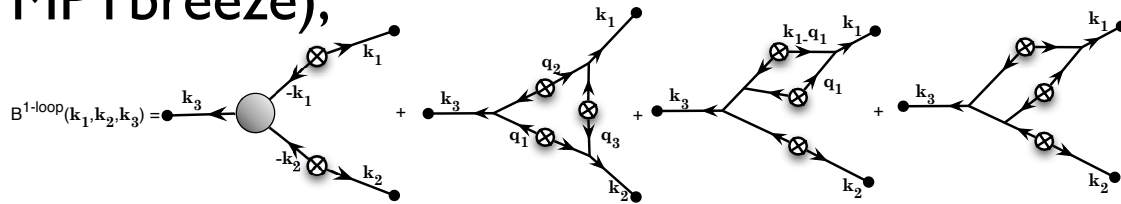
# 3. Descriptions : prédictions théoriques

*Lazanu et al. 2015*

Théorie des perturbations pour les grandes échelles

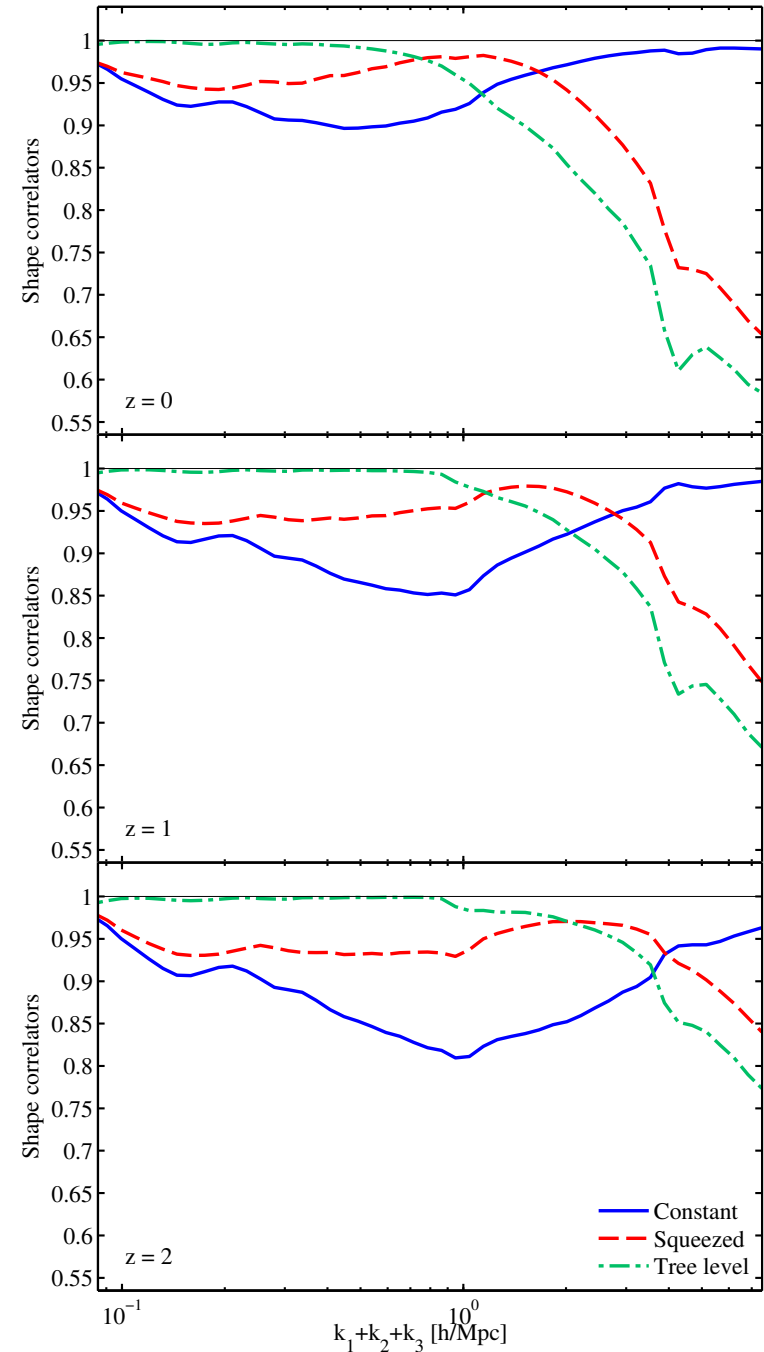


Résultat à l'ordre d'une boucle (RegPT, MPTbreeze),



Modèles des halos ou formes purement phénoménologiques pour les échelles intermédiaires et les petites échelles.

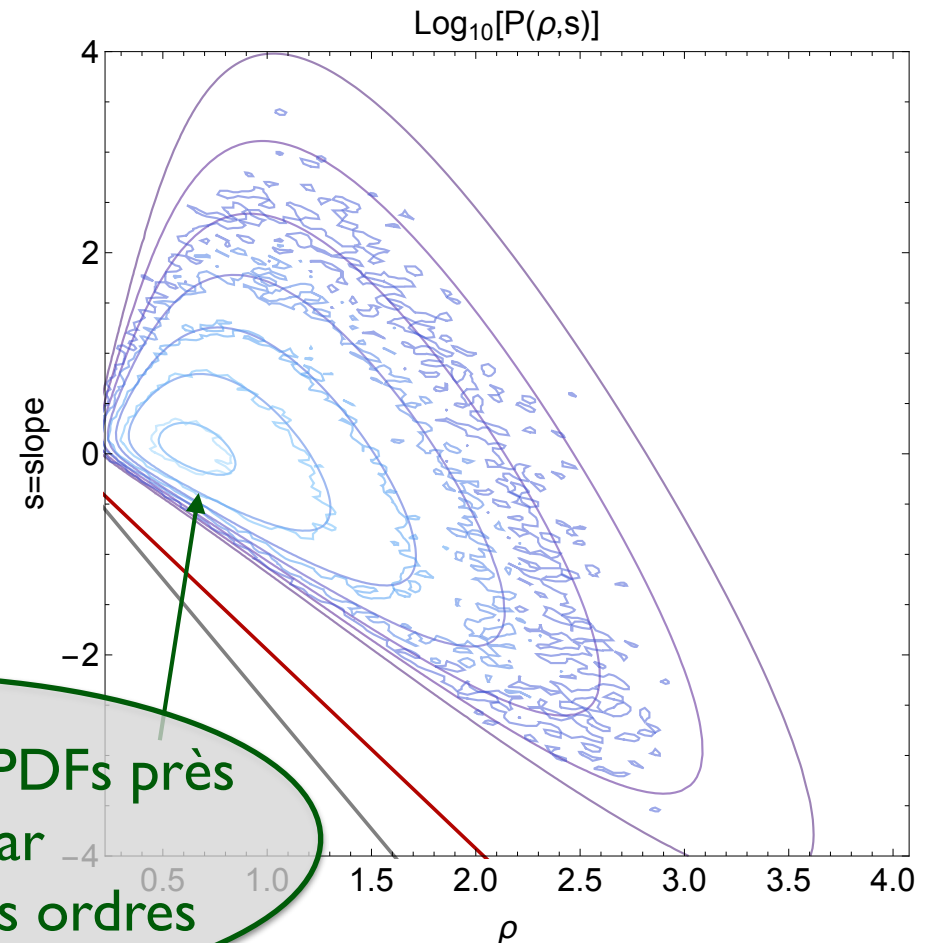
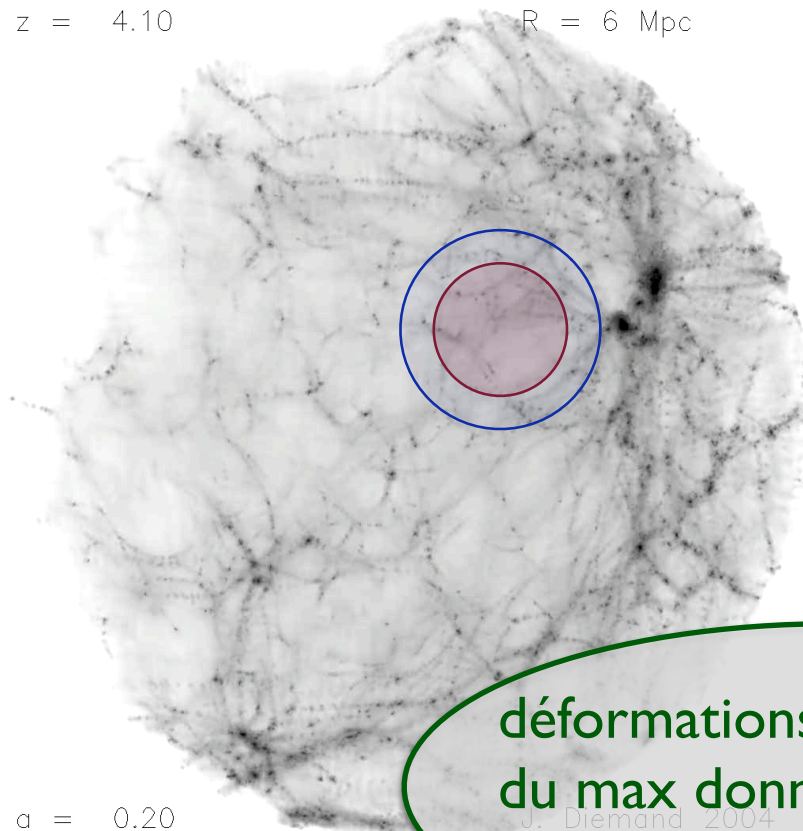
*Matrices de covariance ????*



# Au delà de fonctions à 3-points ?

- Fonctionnelles de Minkowski
- densité et corrélation de pics
- PDFs de densité/profiles

Collaboration avec  
P. Reimberg (postdoc IPhT)  
Ch. Pichon (IAP)  
S. Codis (IAP et CITA)  
C. Uhlemann (univ. Utrecht)



déformations des PDFs près  
du max données par  
corrélateurs de bas ordres

# Conclusions / Résumé :

- Quelle que soit la sonde des grandes structures de l'univers utilisée (WL ou galaxies), le spectre de puissance ne suffit pas à extraire toute l'information cosmologique : on ne peut se permettre d'ignorer les corrélations d'ordre plus élevé.
- En combinant les fonctions à 2-points et celles de plus grands ordres on peut (en principe)
  - améliorer les contraintes cosmologiques
  - **mieux calibrer les erreurs systématiques**
- Une nouvelle fenêtre sur les NG primordiales et/ou modification de la gravité (modification des couplages)
- Et tout reste à faire, groupe de travail “Higher Order Statistics” work package (Vincenzo F. Cardone)
- co-financement CNES pour une thèse