

Francis Bernardeau
SPhT Saclay

Cosmic shear : fonctions à trois points et skewness avec le CFHTLS

*Réflexions et travaux en cours avec K.
Benabed, L. van Waerbeke, Y. Mellier,...*

Cosmic shear : une carte de la distribution de masse

- Traceur direct de la distribution de matière, celle-là même qui est soumise à la dynamique gravitationnelle ;
- Avec ça on doit pouvoir :
 - Tester le paradigme d'instabilité gravitationnelle ;
 - Accéder aux conditions initiales - spectre de fluctuation primordial ;
 - Explorer la nature des conditions initiales (Gaussiennes ou non)
 - Mesurer certains paramètres cosmologiques (Ω , Λ , w , etc.)*;
 - Faire des tests de la gravité à grande échelle*

** Mieux peut-être qu'avec le CMB*

Pour faire court...

Ce que la théorie nous dit sur le champ de convergence...

Ordre linéaire : spectre

(FB, van Waerbeke, Mellier '97)

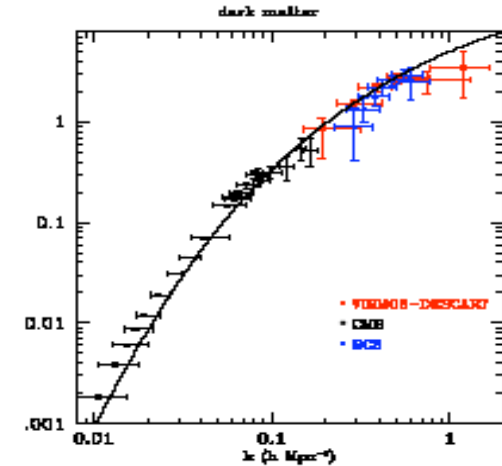
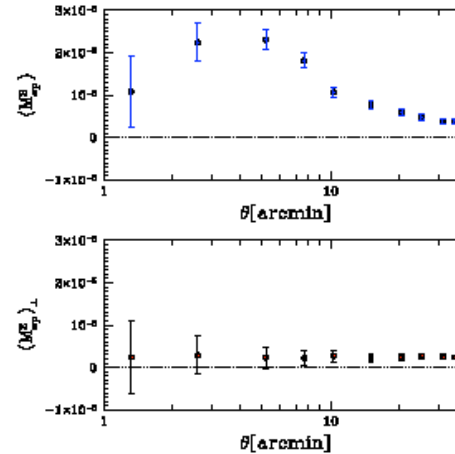
$$\kappa(\xi) \propto \int_0^{\chi_s} d\chi w(\chi) \rho_m(\chi) \delta_{\text{matter}}(\chi, \xi)$$

$$\langle \kappa(\mathbf{l}) \kappa(\mathbf{l}') \rangle = \delta_{\text{Dirac}}(\mathbf{l} + \mathbf{l}') P_\kappa(\mathbf{l})$$

$$P_\kappa(l) = \int \frac{d\chi}{D^2} w^2(\chi) P\left(\frac{l}{D}\right)$$

$$\propto \Omega^2 \sigma_8^2$$

$$\gamma(\xi)$$



Au delà de l'ordre linéaire : bispectre

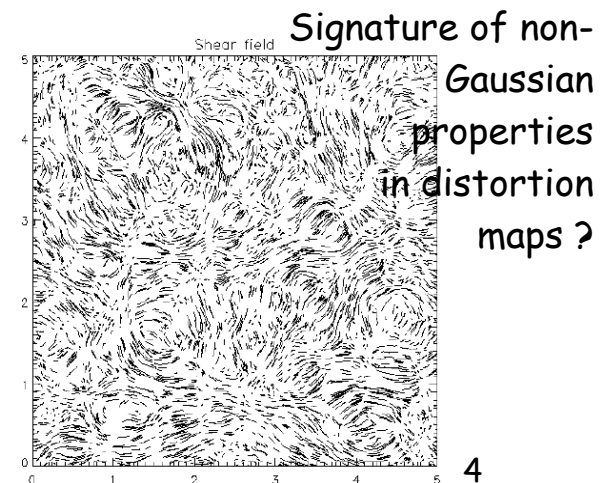
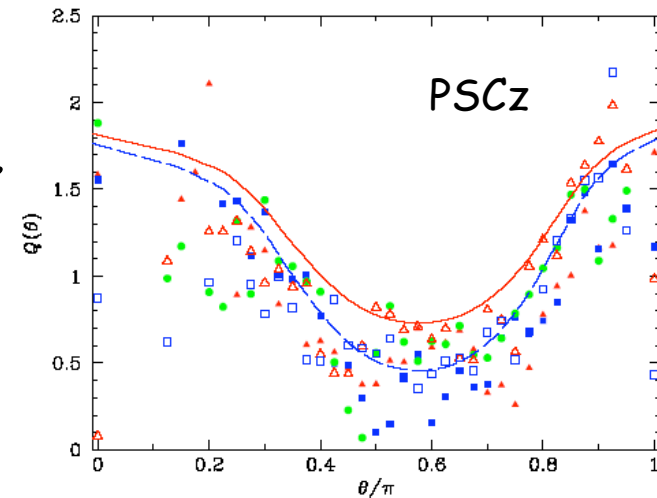
$$\langle \kappa(\mathbf{l}_1) \kappa(\mathbf{l}_2) \kappa(\mathbf{l}_3) \rangle = \delta_{\text{Dirac}}(\mathbf{l}_1 + \mathbf{l}_2 + \mathbf{l}_3) B_\kappa(\mathbf{l}_1, \mathbf{l}_2, \mathbf{l}_3)$$

forme fonctionnelle attendue (QL et NL) pour cond. init. Gaussienne :

$$B_\kappa(\mathbf{l}_1, \mathbf{l}_2, \mathbf{l}_3) = P_\kappa(l_1) P_\kappa(l_2) \left[a(l_1, l_2) + b(l_1, l_2) \frac{\mathbf{l}_1 \mathbf{l}_2}{l_1^2} + c(l_1, l_2) \frac{(\mathbf{l}_1 \mathbf{l}_2)^2}{l_1^2 l_2^2} \right] + \text{sym.} \iff s_3 = \frac{\langle \kappa^3 \rangle}{\langle \kappa^2 \rangle^2} \propto \frac{1}{\Omega}$$

Le bispectre

- Dans catalogue de galaxies
 - Test instabilité gravitationnelle
 - Test cond initiales
 - Mesure du biais
- Dans relevés cosmic shear
 - Test instabilité gravitationnelle
 - Test cond initiales
 - Mesure paramètre cosmologique, $\Omega_{\text{matière}}$



Quelques prédictions théoriques :

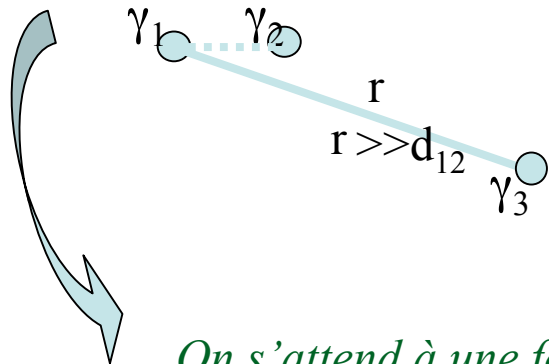
FB, Y. Mellier, L. van Waerbeke *astro-ph/0201029*

Les difficultés viennent

- du grand nombre de combinaisons possibles ;
- du fait que les corrélateurs sont nuls à séparation nulle.
- du passage du quasilinéaire au nonlinéaire (EPT; HEPT; Halo model)
 - la forme précédente est robuste mais les fonctions a, b, c dépendent du détail des modèles

Notre analyse s'est focalisée sur $\langle (\vec{\gamma}_1 \cdot \vec{\gamma}_2) \vec{\gamma}_3 \rangle$

Limite de grande séparation (1)



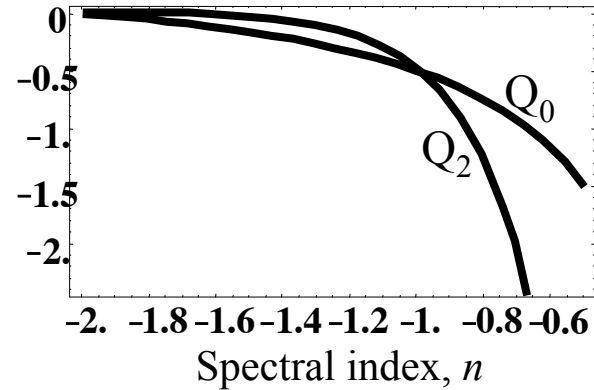
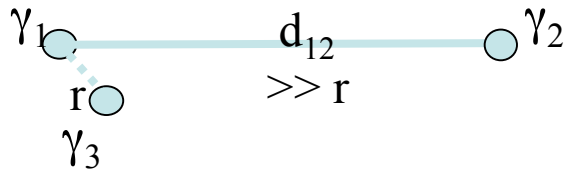
$$\langle (\vec{\gamma}_1 \cdot \vec{\gamma}_2) \vec{\gamma}_3 \rangle = c_{21} \langle \vec{\gamma}_1 \cdot \vec{\gamma}_2 \rangle \langle \kappa_1 \vec{\gamma}_3 \rangle = c_{21} \xi_{\kappa\kappa}(d_{12}) \xi_{\kappa\gamma}(r) \begin{pmatrix} \cos[2\phi] \\ \sin[2\phi] \end{pmatrix}$$

where c_{21} is the coefficient that characterizes the convergence three-point correlation function

$$\langle \kappa_1 \kappa_2 \kappa_3 \rangle = c_{21} \langle \kappa_1 \kappa_2 \rangle \langle \kappa_1 \kappa_3 \rangle = c_{21} \xi_{\kappa\kappa}(d_{12}) \xi_{\kappa\kappa}(r)$$

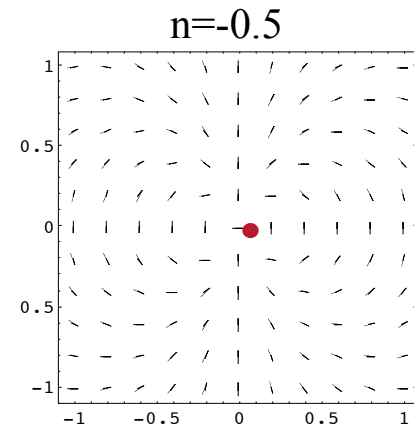
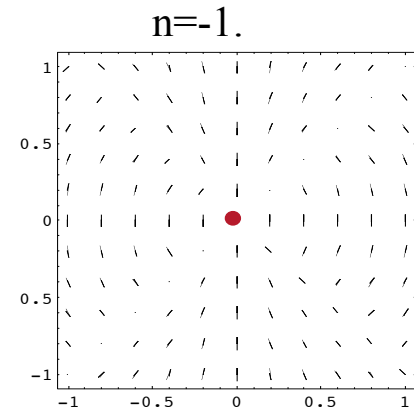
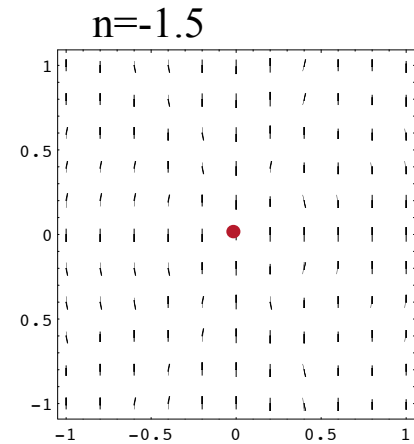
On s'attend à une forme circulaire à grande distance

Limite de grande séparation (2)



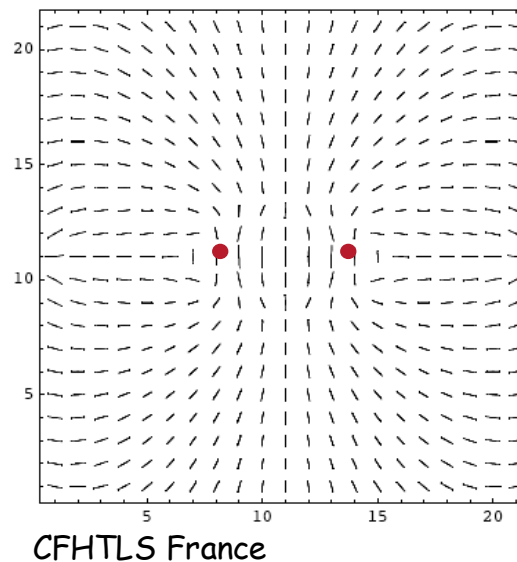
$$\langle (\vec{\gamma}_1 \cdot \vec{\gamma}_2) \vec{\gamma}_3 \rangle = \xi_{\text{KK}}(d_{12}) \xi_{\text{KK}}(r) \left[Q_0 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + Q_2 \begin{pmatrix} \cos[4\phi] \\ \sin[4\phi] \end{pmatrix} \right]$$

Shear uniforme + contribution de dipôle de masse



Le modèle "One-Halo" (FB, in prep)

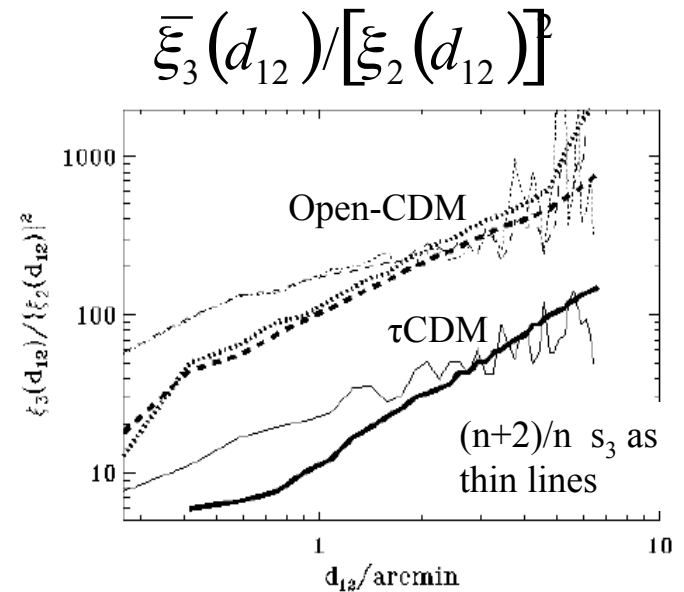
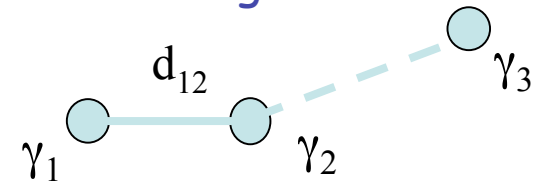
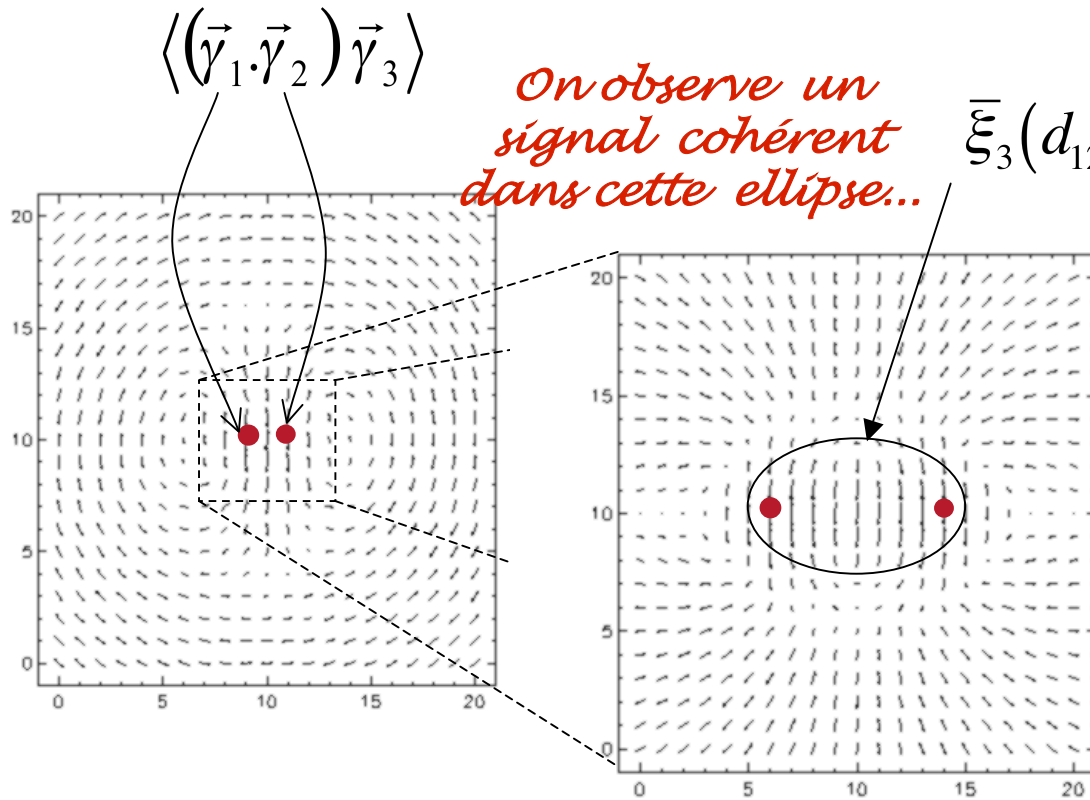
= la matière est supposée distribuée dans une collection de halo de profil donné ; cela permet de faire des prédictions analytiques pour toutes les configurations



Structure géométrique de la fonction de corrélation à trois points : résultats numériques

Une combinaison spéciale de vecteurs ...

pour différentes configurations.



Detection dans les données Descart-Virmos :

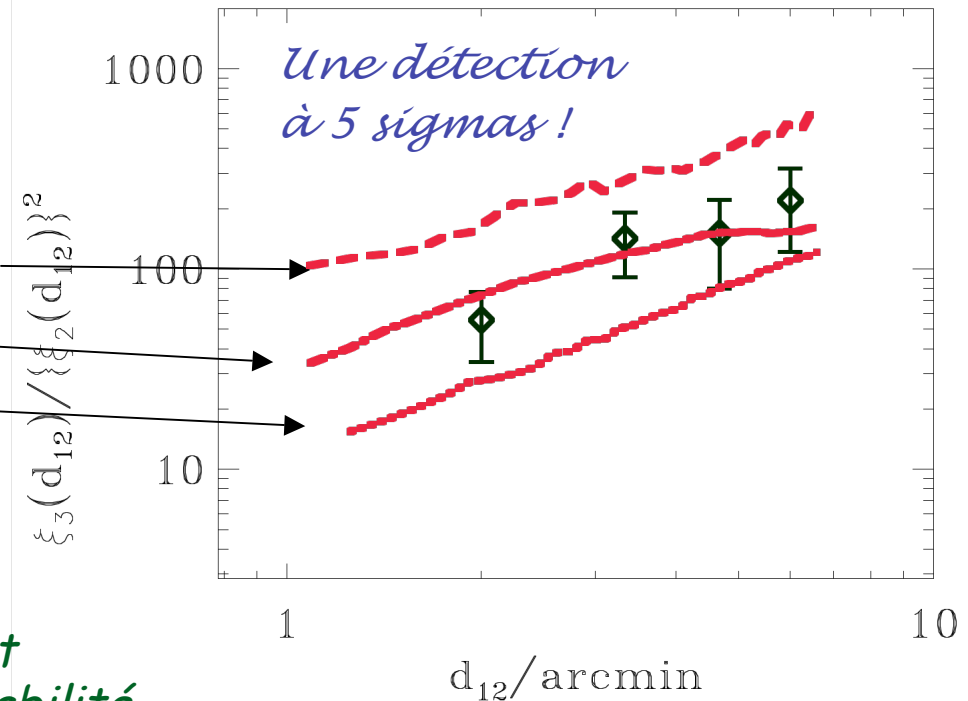
FB, Y. Mellier, L. van Waerbeke *astro-ph/0201032*

(avec 8.5 degrés carrés)

Open CDM : $\Omega_m=0.3; \Lambda=0.0; \sigma_8=0.85; H_0=70$

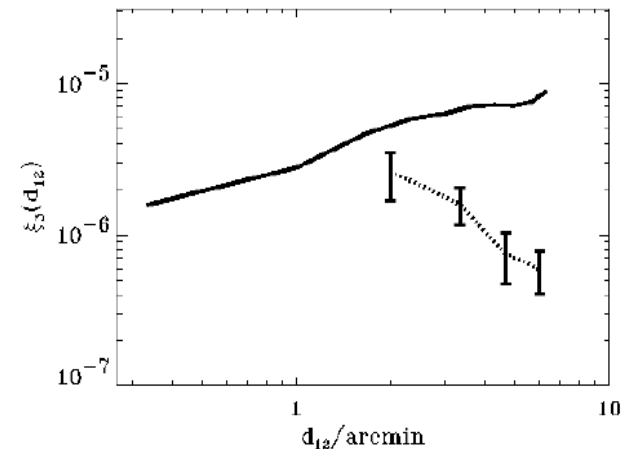
Λ -CDM : $\Omega_m=0.3; \Lambda=0.7; \sigma_8=0.85; H_0=70$

τ CDM : $\Omega_m=1.0; \Lambda=0.0; \sigma_8=0.6; H_0=50.$

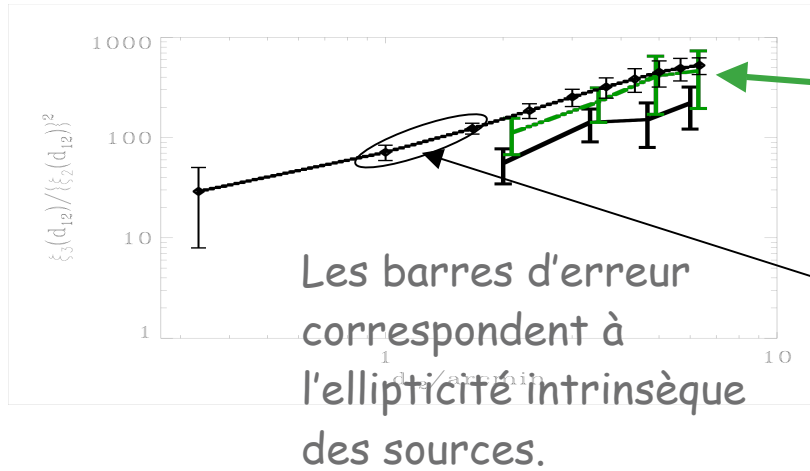


Quelques commentaires

- *Tout indique que le signal observé est authentique : test du mécanisme d'instabilité gravitationnelle pour des conditions initiales gaussiennes*
- *Très différent des effets de contamination par les étoiles*
- *Le signal a la forme et l'amplitude attendues.*



Un aperçu du budget des erreurs

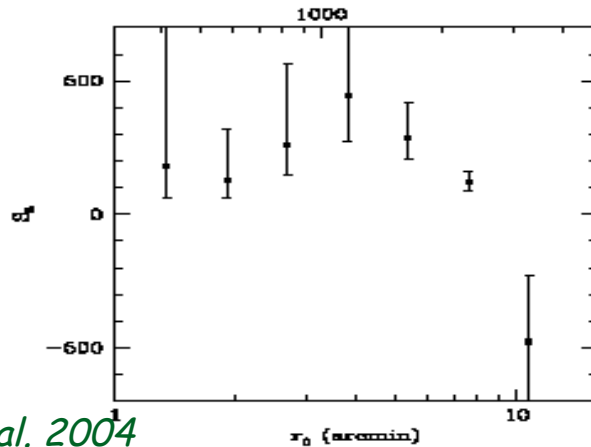


Effet des modes B

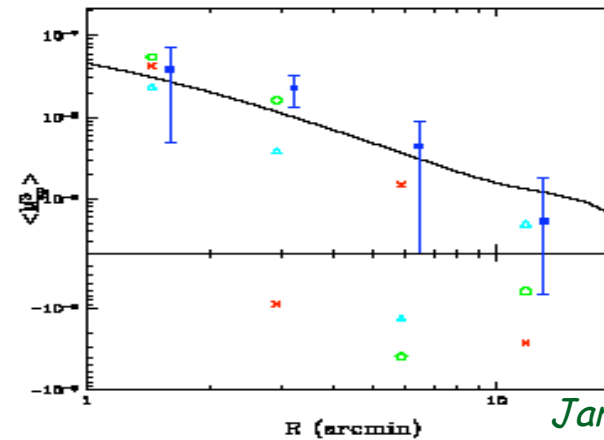
Variance cosmique

Variance cosmique et erreurs statistiques sont du même ordre

Signal confirmé par d'autres mesures (avec Map)



Pen et al. 2004



Jarvis et al. 2004

Conclusions provisoires

- Structures non triviales dans la fonction de corrélation à 3 points;
- La stratégie optimale de mesure reste à trouver*;
- L'amplitude du signal dépend plus de la forme du spectre que dans le cas de la skewness de la convergence ;

- Nous avons une détection authentique dans les données du relevé Virgos-Descart ;
- L'amplitude et la dépendance angulaire du signal sont en bon accord avec modèle concordant Λ -CDM ;
 - vers une mesure de Ω_{matter} (?) ...

Travaux théoriques supplémentaires, Schneider, P., & Lombardi, M. 2002, Zaldarriaga, M., & Scoccimarro, R. 2002, Takada & Jain, 2002 + travaux en cours avec K. Benabed

Plus ambitieux : test des lois de gravité par théorie des perturbations FB '04

- La théorie des perturbations permet d'estimer l'amplitude des couplages de modes ;
- Les mesures dans les champs de distorsions gravitationnelles permettent d'estimer l'amplitude de ces couplages ;

- Développement perturbatifs...

- On suppose que le champ de densité peut s'écrire :

$$\delta_k = \delta_k^{(1)} + \delta_k^{(2)} + \dots$$

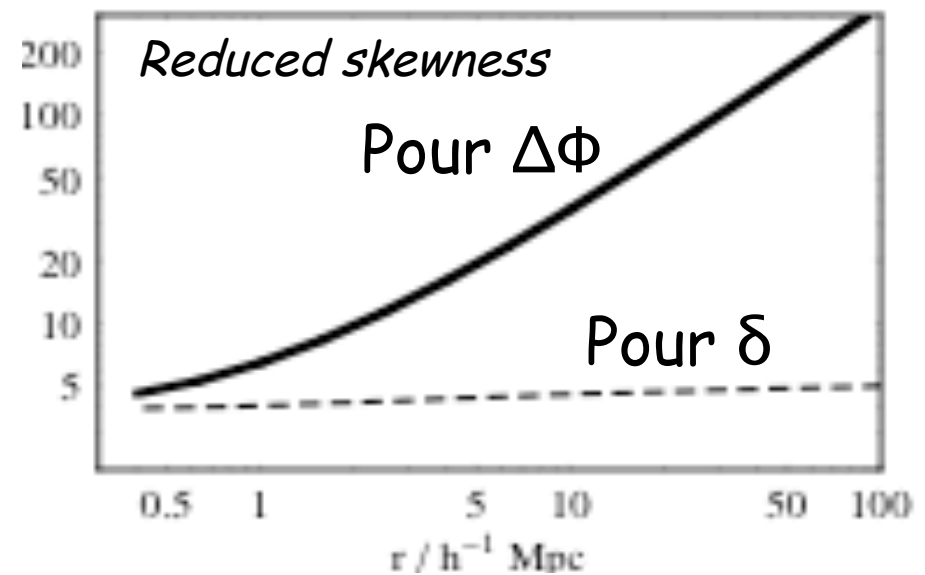
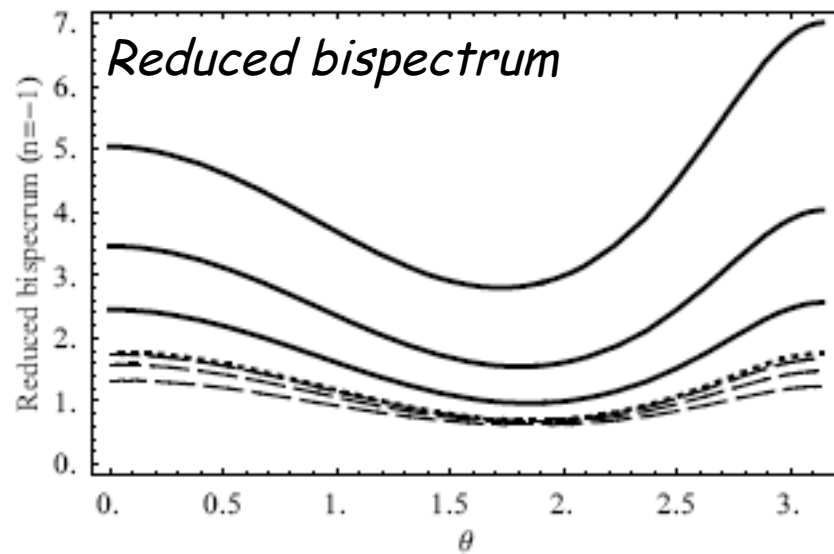
- Alors on a une équation d'évolution pour le 2^{ème} ordre :

$$\ddot{\delta}_{\mathbf{k}_1+\mathbf{k}_2}^{(2)} - 2H\dot{\delta}_{\mathbf{k}_1+\mathbf{k}_2}^{(2)} - \frac{3}{2}H^2\Omega(t)f_c\left(|\mathbf{k}_1+\mathbf{k}_2|\frac{r_s}{a(t)}\right)\delta_{\mathbf{k}_1+\mathbf{k}_2}^{(2)} =$$

$$\frac{4}{3}\dot{\delta}_{k_1}^{(1)}\dot{\delta}_{k_2}^{(1)} + \frac{3}{4}H^2\left[f_c\left(k_1\frac{r_s}{a(t)}\right) + f_c\left(k_2\frac{r_s}{a(t)}\right)\right]\delta_{k_1}^{(1)}\delta_{k_2}^{(1)}$$

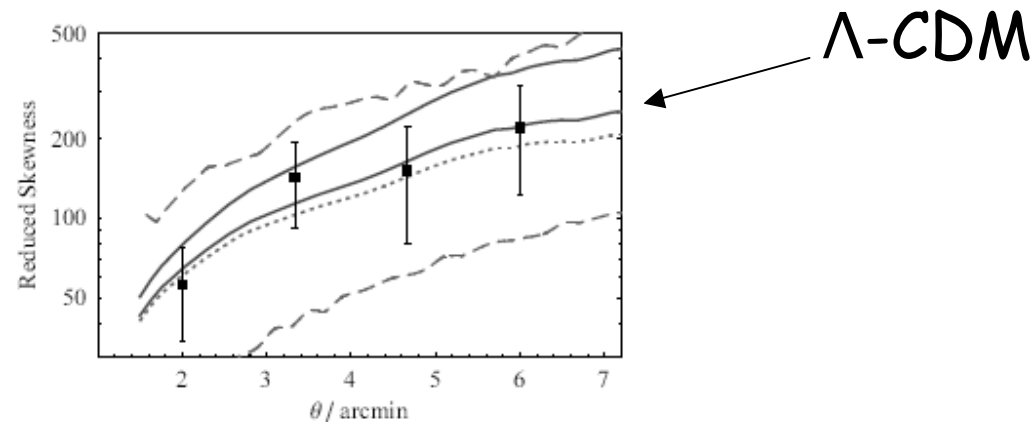
Conséquences phénoménologiques

- Une skewness réduite insensible à la modification de la gravité pour le champ de densité
- Une skewness réduite qui croît avec l'échelle pour le potentiel



Et les données ...

- Pour l'instant en bon accord avec un Λ CDM et une gravité normale...



- Le CFHTLS est le sans doute le premier relevé de cosmic shear où il sera possible de scruter le mécanisme d'instabilité gravitationnelle en détails...