

Grandes Structures avec LSST

S. Plaszczynski (LAL)

19 décembre 2017



But de l'exposé

- expliquer ce qu'on fait au LAL
- reconstituer l'histoire des grandes structures (refs)
- est ce que ca vaut la peine de s'y engager | eBOSS/DESI ?
- ma vision personnelle



Pourquoi

Le but n'est **pas** d'obtenir une mesure concurrentielle de la *position du pic BAO* (ou des *RSD*) mais d'étudier **l'évolution des structures**

$$P(k, z) = D^2(z) P(k, 0) \quad D(z) = \frac{g(z, \Omega_\Lambda \dots)}{(1+z)}$$

$$\frac{d \ln D}{d \ln(1+z)} = f(z) = \Omega_m(z)^\gamma$$

$$\sigma_{stat}^2[\hat{P}_k] \propto \frac{1}{k^2 \Delta k V} \left(P_k + \frac{1}{\bar{n}} \right)^2$$

points forts LSST: volume+ multi-sonde

- analyse cosmo *globale avec WL* : fait sauter pas mal de systés(eg. biais): DES-1
- analyses cosmo *locales* (systés, pic BAO)



Comptage de galaxies (données)

on compte le nombre de galaxies dans des petites boites sur(sous)-densités

$$\Delta_i = \frac{N_i - \bar{N}}{\bar{N}}$$

Corrélations entre 2 régions à différentes échelles:

$$\langle N_{pair} \rangle_r = \bar{N}^2 [1 + \xi(r)] \delta V_1 \delta V_2$$

Spectre de puissance

$$P(k) = T F[\xi(r)] \propto \int_0^\infty dr r^2 \xi(r) \sin_c(kr) \quad (1)$$

- le champ doit être filtré
- on ne mesure par (r_i, θ, ϕ_i) mais $(z_i, \theta, \phi_i) \rightarrow \text{cosmo}$



En 2D (sphère)

$$\begin{aligned} < N_{pair} >_\theta &= \bar{N}^2 [1 + \textcolor{red}{w(\theta)}] \delta V_1 \delta V_2 \\ \textcolor{red}{C_\ell} &= 2\pi \int_{-1}^1 d \cos \theta P_\ell(\cos \theta) w(\theta) \end{aligned}$$

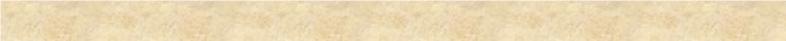
→ on obtiens ξ_g (ou $w_g(\theta)$) qui ne décrit pas forcement la corrélation de la *matière* sous-jacente (problème du *bias*).
 Pour l'instant on suppose qu'à grande échelle $\xi_g \sim b\xi_m$.



Comptage de galaxies (théorie)

Théorie linéaire complète (2011)

$$\Delta(\hat{n}, z) = \frac{N(\hat{n}, z) - \bar{N}(z)}{\bar{N}(z)} = \frac{\rho(\hat{n}, z) - \bar{\rho}(z)}{\bar{\rho}(z)} + \frac{\delta V(\hat{n}, z)}{\bar{V}(z)}$$



$$\begin{aligned} \Delta^{(N)}(\mathbf{n}, z, m_*) &= D_g(L > \bar{L}_*) + (1 + 5s)\Phi + \Psi + \frac{1}{\mathcal{H}} [\Phi' + \partial_r(\mathbf{V} \cdot \mathbf{n})] + \\ &\quad \left(\frac{\mathcal{H}'}{\mathcal{H}^2} + \frac{2 - 5s}{r_S \mathcal{H}} + 5s - f_{\text{evo}}^N \right) \left(\Psi + \mathbf{V} \cdot \mathbf{n} + \int_0^{r_S} dr (\Phi' + \Psi') \right) \\ &\quad + \frac{2 - 5s}{2r_S} \int_0^{r_S} dr \left[2 - \frac{r_S - r}{r} \Delta_\Omega \right] (\Phi + \Psi). \end{aligned}$$

$$D_g \rightarrow bD + (f_{\text{evo}}^N - 3)\mathcal{H}V/k - 3\Phi$$

- | | |
|--|--|
| — Density
— RSD (Kaiser)
--- Doppler
— lensing | — Potential (ou « relativistic corr. ») |
|--|--|

Si pas dévolution en ft de la Luminosité: $s(z) = f_{\text{evo}}(z) = 0$

C. Bonvin R. Durrer Di Dio Montarini Lesgourgues Durrer

K=0

7

(JEC)

Tomographie

on projette les mesures sur des coquilles en bin de redshift.

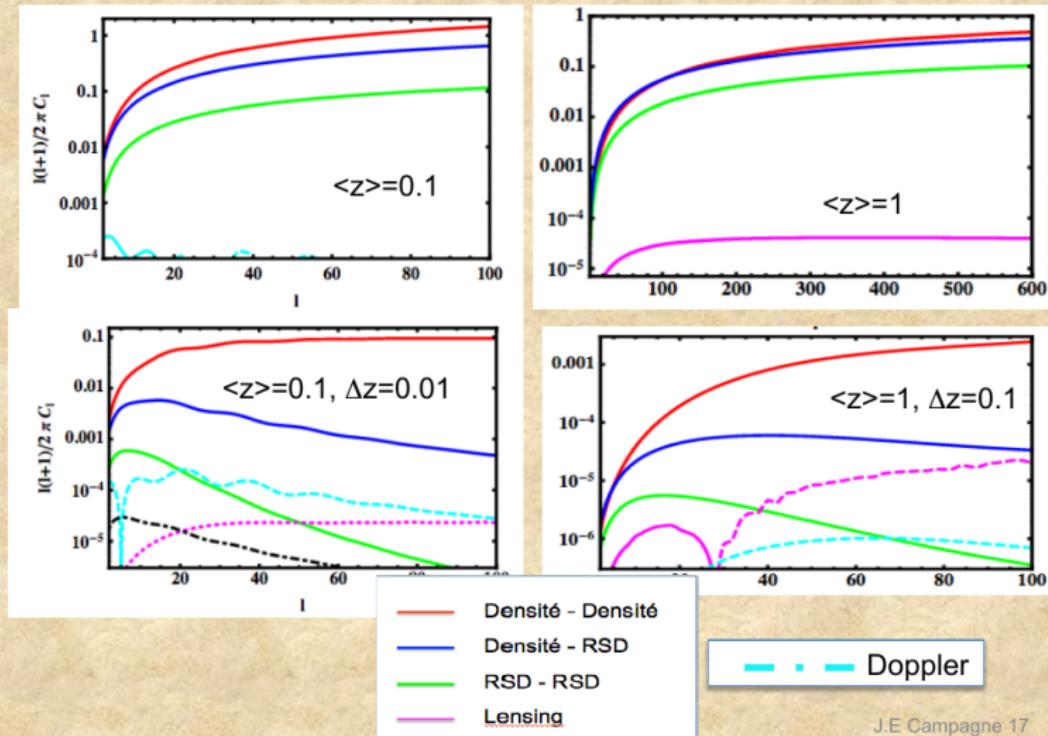
→auto (cross) corrélations entre coquilles $w^{i,j}(\theta), C_\ell^{i,j}$

- ❶ on ne perd a peu près rien en PZ
- ❷ comme le weak lensing
- ❸ n'introduit aucune cosmo
- ❹ stat C_ℓ bien connue (CMB)
- ❺ tests systés.
- ❻ biais (galactiques) différents par couche b_i



$$\ell(\ell+1)/2\pi C_\ell(z)$$

Bonvin 2012(14)



J.E Campagne 17



Du modèle aux données

Règle d'Or des stats: transformer le modèle pas les données

- ➊ modèle (théorie)= $P(k), f(z) \dots$ (de CLASS)
- ➋ données: en $(z_i, \theta_i, \phi_i) \rightarrow C_\ell^{z_A \times z_B}, w^{z_A \times z_B}(\theta)$

$$\text{cosmo} \xrightarrow{\text{CLASS}} P(k, z), f(z) \xrightarrow{?} C_\ell, w(\theta)$$

precis+rapide ($\mathcal{O}(s)$ pour du MCMC).

ClassGal très lent hors approximation Limber

Première étape: faire un code pour ça.



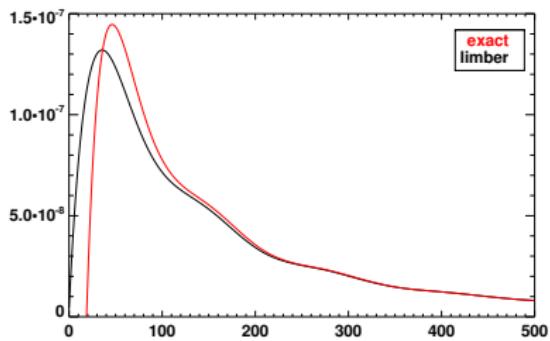
Terme de Densité

$$\begin{aligned}
 C_\ell^{\text{thick}}(z_1, z_2) \propto & \\
 b^2 \int \int_0^\infty dz dz' W_1(z; z_1) W_2(z'; z_2) D(z) D(z') \\
 \times \int_0^\infty dk \ k^2 P(k, 0) j_\ell[k r(z)] j_\ell[k r(z')]
 \end{aligned}$$

- j_ℓ =Spherical Bessel : très oscillant (+battements en cross)
- Limber: $j_\ell(x) \approx \sqrt{\frac{\pi}{2\ell+1}} \delta^D \left(x - \left(\ell + \frac{1}{2} \right) \right)$



Angpow



algorithme "3C": quadratures +FFT

auto-Dirac	0.09 s
cross-Dirac	0.15 s
auto-Gauss	0.64 s
cross-Gauss	1.60 s

(OMP 8threads)

+ne peut pas représenter les
anti-corrélations

code publique: <https://gitlab.in2p3.fr/campagne/AngPow>

Campagne et al. (2017a)



RSD

(Shun Saito, *Galaxy Clustering in Redshift Space*)

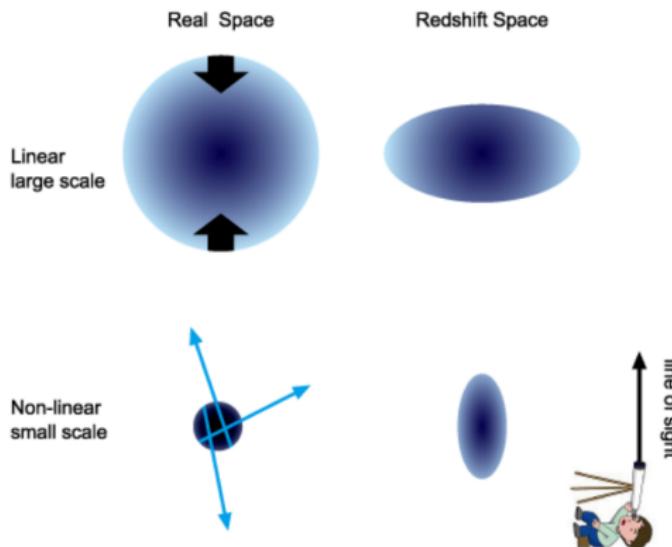


FIG. 1: The schematic picture of RSD. Picture courtesy of my wife, Kimika Saito.



RSD

$$1 + z_{obs}(\mathbf{r}) = \frac{1 + z_{cosmo}(\mathbf{r})}{1 - v_{\parallel}(\mathbf{r})/c}$$

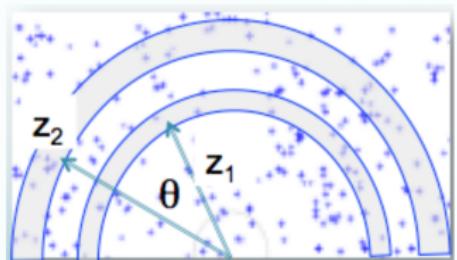
- A grande échelle, dans la théorie linéaire $v_{\parallel}(\mathbf{r})$ connu: terme dit de ‘Kaiser’ (1984) Sargent & Turner (1977)
- FoG: $\xi(r) \lesssim 30$ Mpc(spectro)

$$C_{\ell}^{z_1 \times z_2} = \dots \int_0^{\infty} dk \ k^2 \ [\textcolor{red}{b} j_{\ell}(kr_1) + \textcolor{red}{f(z_1)} j''_{\ell}(kr_1)] \\ \times [\textcolor{red}{b} j_{\ell}(kr_2) + \textcolor{red}{f(z_2)} j''_{\ell}(kr_2)]$$

→ implémenté dans `Angpow` (extra temps de calcul négligeable)



Espace réel: Angcor



$$w^{z_1 \times z_2}(\theta) = \frac{1}{4\pi} \sum_{\ell=0}^{\infty} (2\ell+1) P_\ell(\cos \theta) C_\ell^{z_1 \times z_2}$$

Calcul direct (nouvelle formulation JEC)

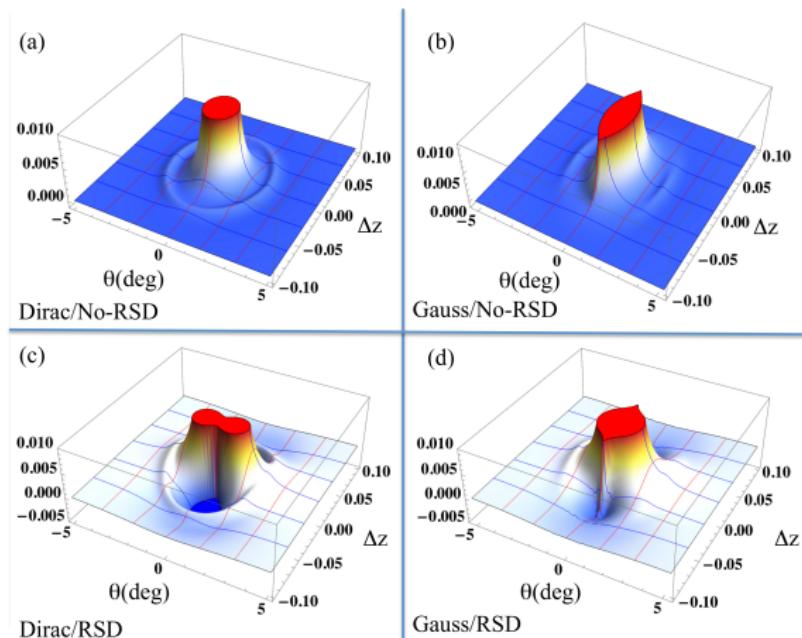
$$\begin{aligned} w^{z_1 \times z_2}(\theta) &= \dots \int_0^\infty dk \ k^2 \ A(kr_1, kr_2, \theta) \left[b + f(z_1) \frac{\partial^2}{\partial(kr_1)} \right] \\ &\quad \times \left[b + f(z_2) \frac{\partial^2}{\partial(kr_2)} \right] \end{aligned}$$

$$A \equiv \sin_c(k|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|)$$

→publié dans ApJ [Campagne et al. (2017b)] (600\$!)



forme de $w(\theta, \Delta z)$ pour $z_1 = 1, \sigma(z) = 0.02$



→connaître la *précision* sur paramètres PZ



dev Angpow

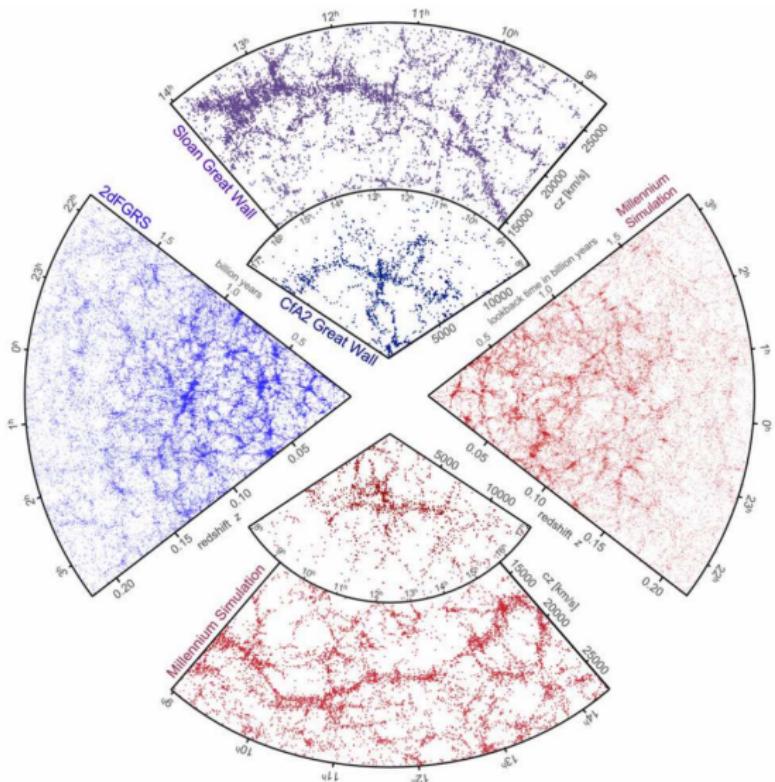
- DESC: version stable incluse dans la CCL (JN)
- modèle multi-couche /Limber (JEC) : done
- lien avec **CAMEL** (SP) done
- terme Doppler (JEC) : done
- termes lensing (JN+JEC en cours)



Limitations théoriques

- ❶ non linéarité/gaussianité
- ❷ biais



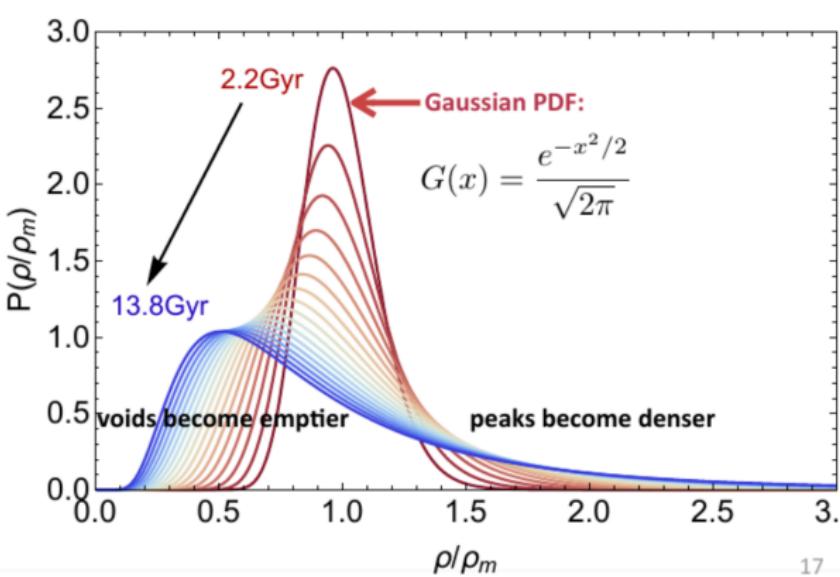


Springel et al. (2006)



Non gaussianité (fonction à 1pt)

le champ de sur-densité de la matière aujourd’hui n’est pas (plus) Gaussien *car les équations d’évolution sont non-linéaires.*

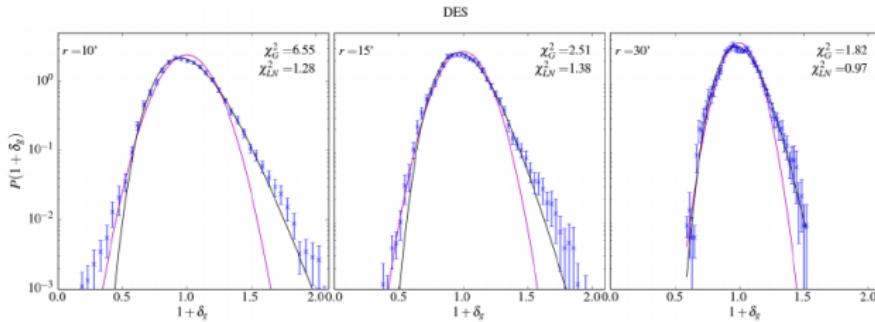


(S. Codis, Euclid school, Frejus 2017)



Log-normale?

- $\rho_{log}(x) = e^{\delta_G(x)}$
- empirique + champ "simple" à générer/analyser
- confirme par DES [Clerkin et al. (2017)] (aussi shear) mais biais.
- pas vraiment si on regarde de près: simus Ncorps
[Klypin et al. (2017)] et données VIPERS [Bel et al. (2016)].
- Count in Cell (CiC) → permet aussi de faire de la cosmo
[Uhlemann et al. (2016)]



Non-linéarités

- ➊ pic BAO on arrive déjà au % précision (BOSS)
- ➋ RSD $f\sigma_8 \simeq \mathcal{O}(10\%)$

→ on entre déjà aujourd’hui dans le domaine des **systèmes théoriques**

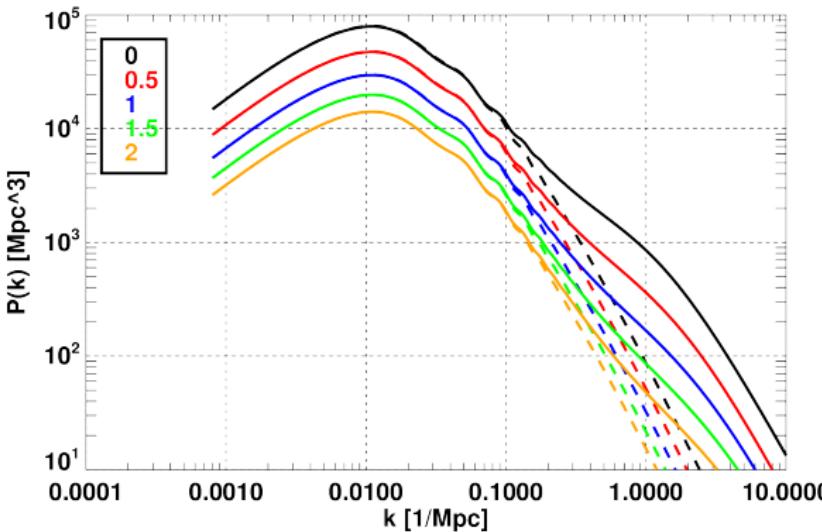
- position pic commence à être affectée par NL
- RSD: champ de vitesse + Jacobien non linéaires
- champ actif de recherche pour BOSS/DESI



Fonction a 2pt NL

paramètres fittés/interpolation (émulation) a partir de simus
Ncorps

HaloFit (dans `class`), CosmicEmu [Heitmann et al. (2014)] (no m_ν):
→les 2 en accord

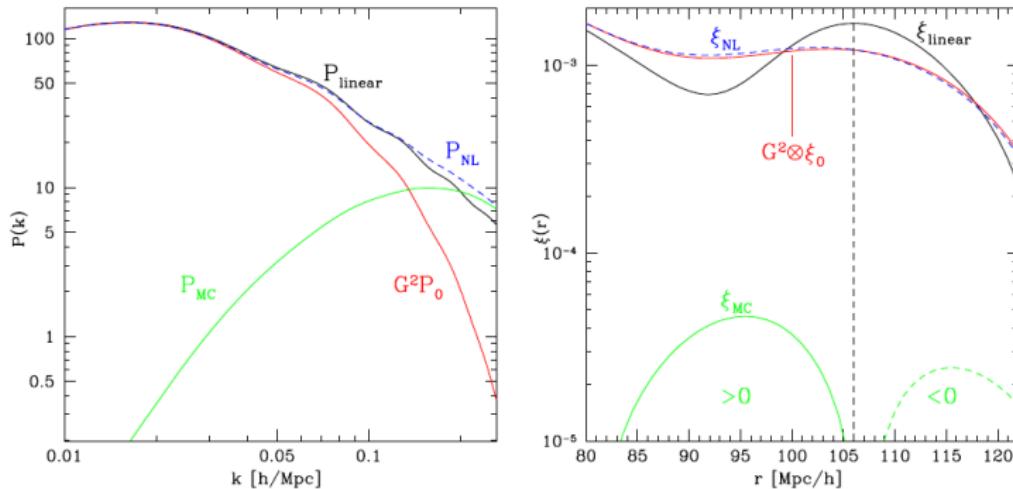


pic BAO

couplages entre modes

Crocce & Scoccimarro (2008)

4



Méthodes perturbatives

- PT:
 - ❶ Euler: SPT, 1-2 boucles, RegPT...
 - ❷ Lagrange: LPT, 1(Zeldovitch) -2 boucles, RPT...
- comparaison: [Carlson et al. (2009)]
- peut être complété en rajoutant des symétries (EFT)
- utile aussi pour RSD, biais, alignement intrinsèque...

→ paramètres de nuisance [Crocce et al. (2011)], [Sánchez et al. (2017)] ...



Biais

- ❶ les galaxies se forment aux pics de sur-densités de la matière (modèle linéaire a symétrie sphérique : $\delta > 1.68$)
- ❷ Kaiser (1984) $\xi_{>\nu\sigma}(r) \simeq \nu^2 \xi(r)$ à grande échelle
- ❸ Coles (1993) généralise a toute transformation locale
- ❹ mais ça ne marche pas (bulk flows, marées..): modèles de Halo : beaucoup de paramètres libres (HOD)
Cooray & Sheth (2002)
- ❺ PT $\delta_g \simeq b\delta + c_2\delta^2 + \gamma_2 g_2(x)$ Desjacques et al. (2016)

→nuisances Sánchez et al. (2017)



Simulations

- ① rapide
- ② N/corps - mocks → collab CPT



Simulations rapides

DESC/LSS: CoLoRe(A. Slozar, D. Alonso)

- OMP+MPI
- incl RSD
- transformation en champ "physique"
- +shear (lensing convergence, ISW,intensity mapping..)

2pt-validation

- d'abord valider CoLoRe → DESC/LSS très intéressé.
- MPI permet : LSST10Y@NERSC (J. Sanchez) → a tester @DEC
- calcul fonction à 2pt → technologie Spark (CA)



Méthode CoLoRe

- ➊ tirage champ gaussien sur grille 3D selon $P(k)$
- ➋ évolution en z selon $D(z)$
- ➌ calcul z_{obs}
- ➍ transformation physique
- ➎ échantillonnage Poissonnien dans chaque cellule
- ➏ calcul shear (et autres)
- ➐ écriture FITS/HDF5



Transformation en champ physique

$$\delta_G \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$$

pour $\sigma_8 \simeq 0.8$ environ 10% des samples $\delta_G < -1 \rightarrow \rho < 0!$
→ on applique une transformation locale $L(\delta_G)$ pour avoir
 > -1 .

- ❶ log-normale $\rho_{log}(x) = e^{\delta_G(x)}$
 - ❷ clip à -1
 - ❸ 1LPT, 2LPT
- il faudra corriger l'effet sur les $P(k, z)$

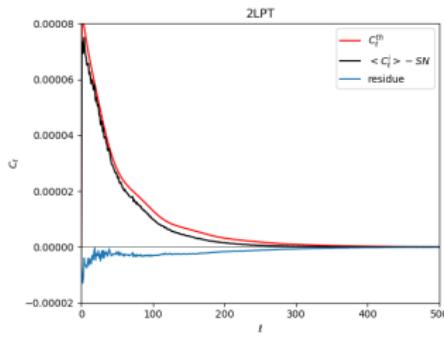
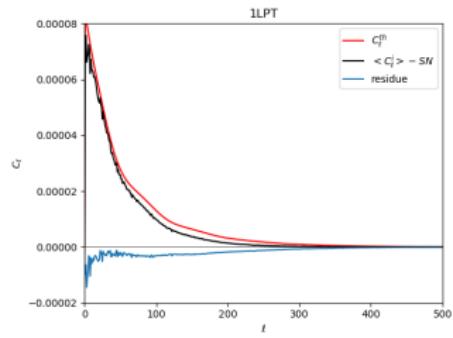
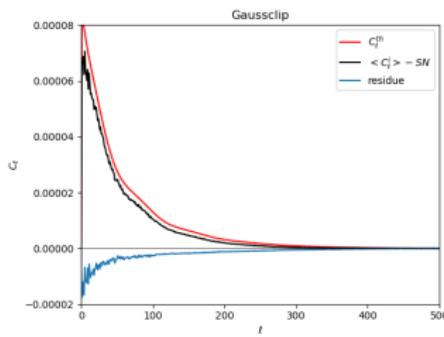
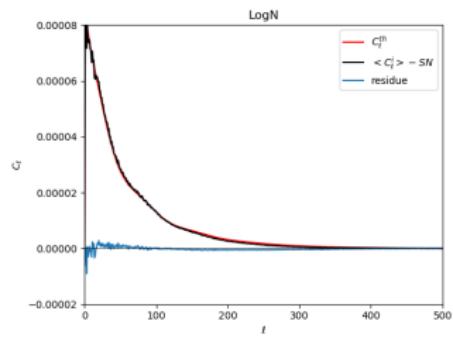


Validation

- ➊ génère 100 simus ($z < 0.5$) @CC (qq s/simu)
- ➋ projette galaxies $0.4 < z < 0.5$ dans carte Healpix (nside=256)
- ➌ calcul C_ℓ (anafast)
- ➍ moyenne
- ➎ compare à C_ℓ^{th} de Angpow pour même cosmo



Premiers résultats (teaser LSST-France...)



Matrice de covariance

- modèle gaussien pas suffisant: RSD+ shot noise NL+biais
... → mocks
- dépend de la cosmo
- trop énorme à faire pour futur grands relevés

Howlett & Percival (2017)

$$\sigma_\ell^2 \propto \frac{1}{k^2 \Delta k V} \left(P_k + \frac{1}{\bar{n}} \right)^2 + \dots \quad (2)$$

$$\rightarrow \sigma_\ell^2(\text{grand}) = \sigma_\ell^2(\text{petit}) \frac{V_{\text{grand}}}{V_{\text{petit}}} \quad (3)$$

- plein de petits mocks plutôt!
- super-sample covariance (couplage NL modes du survey avec modes > taille relevé → correction du tri-spectre)
- masque de l'instrument → analytique



Combinaison Weak-Lensing

Shear aussi calculé sur des coquilles

$$C_\ell^{\epsilon\epsilon}(z_1, z_2) \propto \int \frac{dk}{k^2} I_\ell^{z_1}(k) I_\ell^{z_2}(k) \quad (4)$$

$$I_\ell = \int \frac{dr}{r} (1 + z(r)) j_\ell(kr) \sqrt{P(k, z)} \quad (5)$$

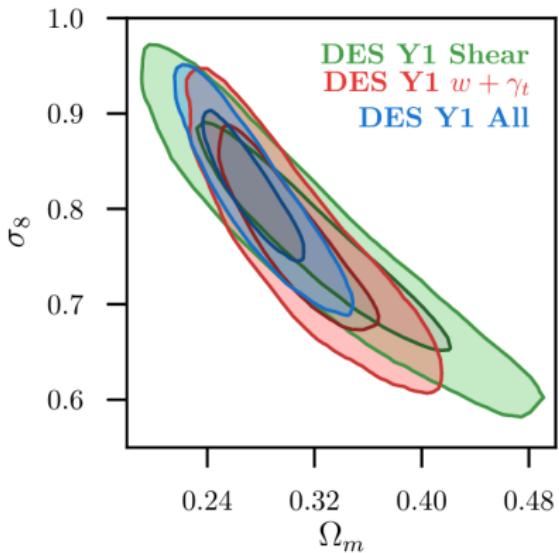
- ➊ $C_\ell^{gg}(b^2, b, 1)$
- ➋ $C_\ell^{\epsilon\epsilon}((1 + m)^2)$
- ➌ $C_\ell^{g\epsilon}(b, 1 + m)$

→cf: DE school J. Dunkley, Rhodes et al. (2013):



DES Y1

Parameter	Prior
Cosmology	
Ω_m	flat (0.1, 0.9)
A_s	flat (5×10^{-10} , 5×10^{-9})
n_s	flat (0.87, 1.07)
Ω_b	flat (0.03, 0.07)
h	flat (0.55, 0.91)
$\Omega_\nu h^2$	flat(5×10^{-4} , 10^{-2})
w	flat (-2, -0.33)
Lens Galaxy Bias	
$b_i (i = 1, 5)$	flat (0.8, 3.0)
Intrinsic Alignment	
$A_{IA}(z) = A_{IA}[(1+z)/1.62]^{\eta_{IA}}$	
A_{IA}	flat (-5, 5)
η_{IA}	flat (-5, 5)
Lens photo-z shift (red sequence)	
Δz_l^1	Gauss (0.001, 0.008)
Δz_l^2	Gauss (0.002, 0.007)
Δz_l^3	Gauss (0.001, 0.007)
Δz_l^4	Gauss (0.003, 0.01)
Δz_l^5	Gauss (0.0, 0.01)
Source photo-z shift	
Δz_s^1	Gauss (-0.001, 0.016)
Δz_s^2	Gauss (-0.019, 0.013)
Δz_s^3	Gauss (+0.009, 0.011)
Δz_s^4	Gauss (-0.018, 0.022)



Data

- data DES-3Y dispo fin décembre (a vérifier)
- refaire l'analyse pour tout comprendre
- re-Spark (comparaisons perfs CosmoHub)



Relations avec DESC/LSS

bonnes

- Angpow →CCL
- CoLoRe
- teleconfs + Slack



Feuille de route

- ① transformation modèle → données : OK
- ② tests simus rapides : en cours
- ③ def paramètres de nuisance (biais , PZ, PT...), optimisations
- ④ matrice de cov : TBD
- ⑤ likelihood → CAMEL → estimations
- ⑥ mocks
- ⑦ réanalyse DES
- ⑧ idem WL...
- ⑨ full likelihood
- ⑩ Spark: réanalyse DES1, 2pt validation LSST10Y



References

- Bel, J., Branchini, E., Di Porto, C., et al. 2016, A&A, 588, A51, arXiv:1505.00442
- Campagne, J.-E., Neveu, J., & Plaszczynski, S. 2017a, A&A, 602, A72, arXiv:1701.03592
- Campagne, J.-E., Plaszczynski, S., & Neveu, J. 2017b, ApJ, 845, 28
- Carlson, J., White, M., & Padmanabhan, N. 2009, Phys. Rev. D, 80, 043531, arXiv:0905.0479
- Clerkin, L., Kirk, D., Manera, M., et al. 2017, MNRAS, 466, 1444, arXiv:1605.02036
- Coles, P. 1993, MNRAS, 262, 1065
- Cooray, A. & Sheth, R. 2002, Phys. Rep., 372, 1, arXiv:astro-ph/0206508
- Crocce, M., Cabré, A., & Gaztañaga, E. 2011, MNRAS, 414, 329, arXiv:1004.4640
- Crocce, M. & Scoccimarro, R. 2008, Phys. Rev. D, 77, 023533, arXiv:0704.2783
- Desjacques, V., Jeong, D., & Schmidt, F. 2016, ArXiv e-prints, arXiv:1611.09787
- Heitmann, K., Lawrence, E., Kwan, J., Habib, S., & Higdon, D. 2014, ApJ, 780, 111, arXiv:1304.7849
- Howlett, C. & Percival, W. J. 2017, MNRAS, 472, 4935, arXiv:1709.03057
- Kaiser, N. 1984, ApJ, 284, L9
- Klypin, A., Prada, F., Betancort-Rijo, J., & Albareti, F. D. 2017, ArXiv e-prints, arXiv:1706.01909
- Rhodes, J., Allen, S., Benson, B. A., et al. 2013, ArXiv e-prints, arXiv:1309.5388
- Sánchez, A. G., Scoccimarro, R., Crocce, M., et al. 2017, MNRAS, 464, 1640, arXiv:1607.03147
- Sargent, W. L. W. & Turner, E. L. 1977, ApJ, 212, L3
- Springel, V., Frenk, C. S., & White, S. D. M. 2006, Nature, 440, 1137, arXiv:astro-ph/0604561
- Uhlemann, C., Codis, S., Pichon, C., Bernardeau, F., & Reimberg, P. 2016, MNRAS, 460, 1529, arXiv:1512.05793

