


 Euclid  
 l'observatoire cosmologique

Congrès de la SFP

# EUCLID: cartographie de l'Univers sombre

Arnaud Chapon

Centre de Physique des Particules de Marseille, CNRS/IN2P3, Marseille, France

4 juillet 2013



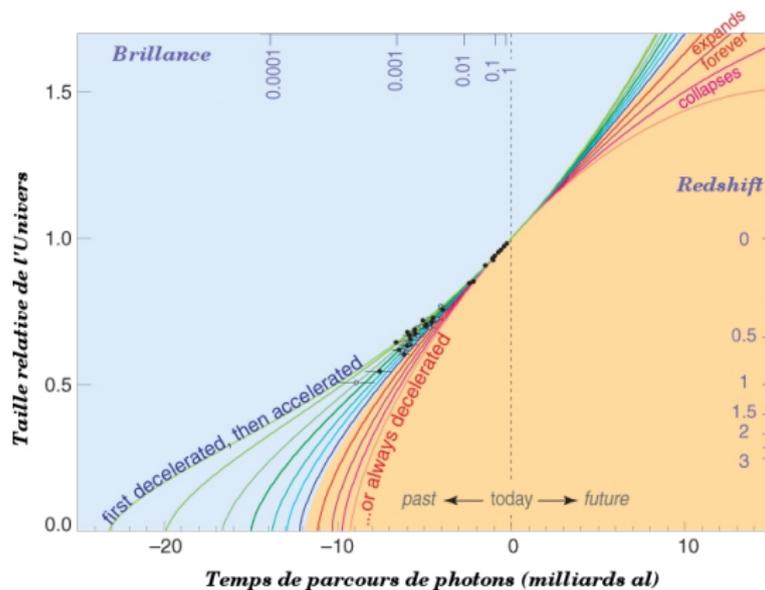
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE


 Centre de Physique des Particules de Marseille  
 CPPM


 CNRS IN2P3  
 les yeux infinis


 Aix-Marseille  
 Université

# Accélération de l'expansion de l'Univers



1998: Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt, Adam G. Riess montrent que l'Univers est en fait en **expansion accélérée**:

- les objets s'éloignent de plus en plus vite les uns des autres

L'accélération de l'expansion de l'Univers est confirmée avec un degré de confiance de 99.999%...

# Accélération de l'expansion de l'Univers

- 1 Quelles sont la nature et les propriétés de l'énergie noire ?  
L'accélération de l'expansion de l'Univers est-elle due à :
  - ▶ une constante cosmologique ?
  - ▶ un champ scalaire dynamique ?
  - ▶ une action gravitationnelle du vide quantique ?
- 2 La relativité générale est-elle modifiée aux échelles cosmologiques ?
- 3 Quelles sont les conditions initiales à l'origine des structures ?

# Accélération de l'expansion de l'Univers

EUCLID : unique mission spatiale conçue pour comprendre l'origine de l'accélération de l'expansion de l'Univers

- deux sondes primaires: WL et BAO
- même volume cosmique ( $z \rightarrow 2$ )
- grand nombre d'objets et précision en  $z$  inégalée

Cartographie 3D du ciel jusqu'à  $z = 2$ :

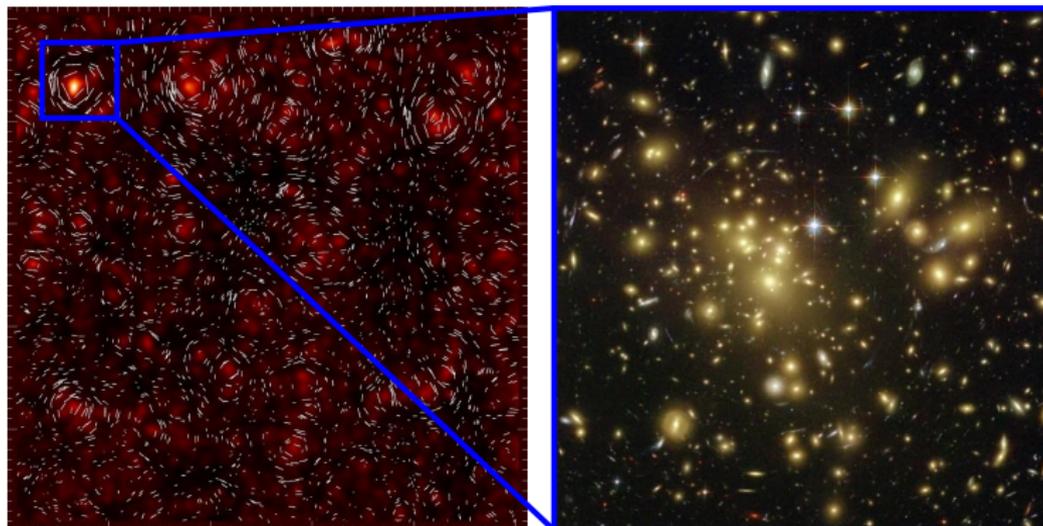
- analogue et complémentaire à Planck pour l'Univers à grand  $z$
- défi de tous les secteurs du modèle cosmologique

Une nouvelle ère  $\Rightarrow$  celle de la cosmologie de précision

# Lentilles gravitationnelles faibles (WL)

Lentille gravitationnelle:

- allongement infime des galaxies (invisible sur les galaxies individuelles)
- déflexion cohérente des rayons sur un grand nombre de galaxies :



# Oscillations baryoniques acoustiques (BAO)

Le décalage vers le rouge ( $\equiv$  *redshift*  $z$ ) d'un objet lumineux traduit la dilatation de l'espace provoquée par l'expansion de l'univers :

$$1 + z = \frac{\lambda}{\lambda_0}$$

lier le taux d'expansion à l'âge de l'Univers



mesure précise des distances et redshifts

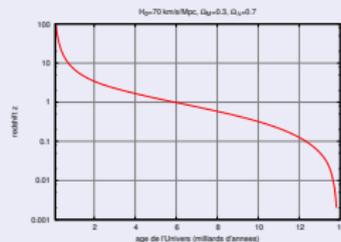


nécessité d'une échelle standard



le pic BAO

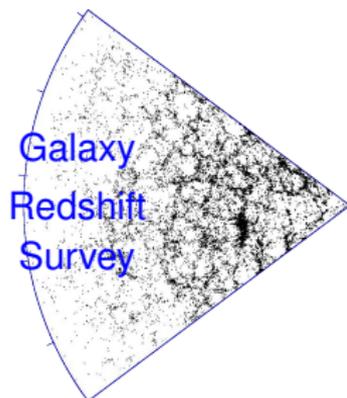
La domination de  
**l'énergie noire**  
vis-à-vis des autres  
composantes de  
l'Univers est  
contemporaine !



# Clustering

12 milliards de sources, 50 millions de redshifts :

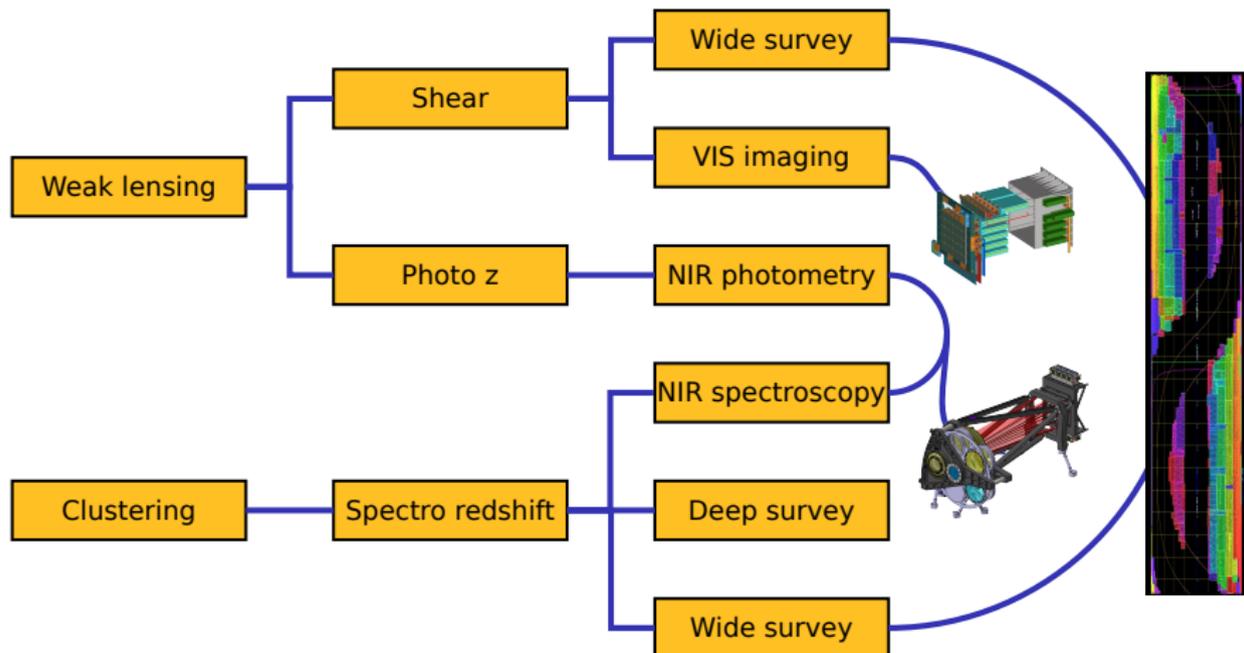
- mesure de la raie  $H_{\alpha}$  par spectroscopie sans fente,
- mine d'informations pour l'ensemble de la communauté scientifique pendant plusieurs décennies.



## Spectre de puissance $P(k)$

- Accélération de l'expansion de l'Univers :
  - ▶ taux d'expansion (quintessence,  $\Lambda$ )  $\Rightarrow$  BAO
  - ▶ formation des structures (gravité)  $\Rightarrow$  RSD
- Constituants de la matière :
  - ▶ masse des  $\nu$
- Evolution des galaxies  $\Rightarrow$  analyse spectrale
- Contributions primordiales non-gaussiennes

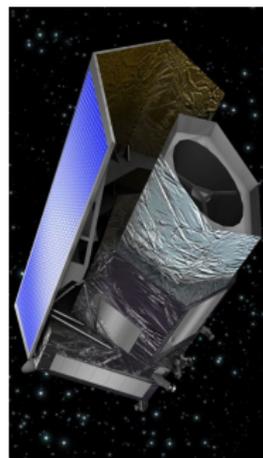
# Mission spatiale EUCLID



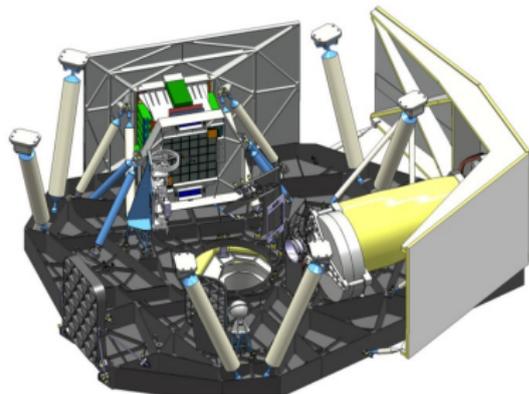
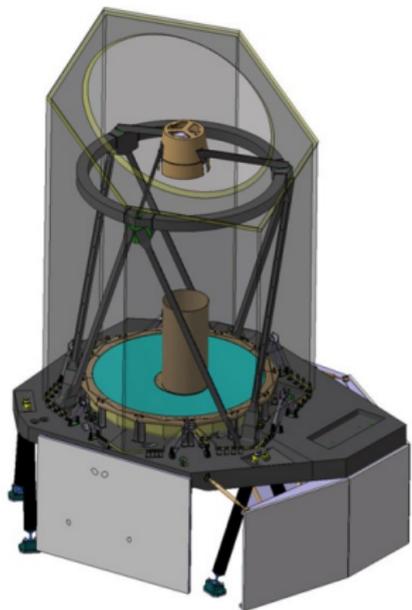
# Mission spatiale EUCLID

## EUCLID :

- mission spatiale de type M de l'ESA :
  - ▶ responsable du satellite et du télescope.
- télescope de 1.2m de diamètre,
- instruments de haute précision :
  - ▶ VIS : photométrie visible,
  - ▶ NISP : spectroscopie/photométrie IR.
  - ▶ livrés par un consortium de plus de 1000 scientifiques, 13 pays contributeurs.
- observation de millions de galaxies jusqu'à  $z=2$  :
  - ▶ couverture de  $15000 \text{ deg}^2$ ,
  - ▶ mission de 6 ans,
  - ▶ point de Lagrange L2.



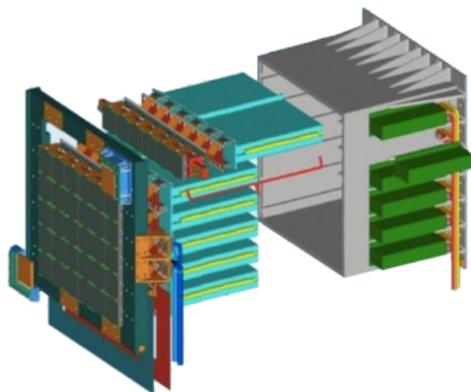
# Mission spatiale EUCLID



Télescope de type Korsch :

- champ d'observation commun aux instruments visible et IR :  $0.54 \text{ deg}^2$
- stabilisation de la visée pendant les observations,

# Instrument VIS



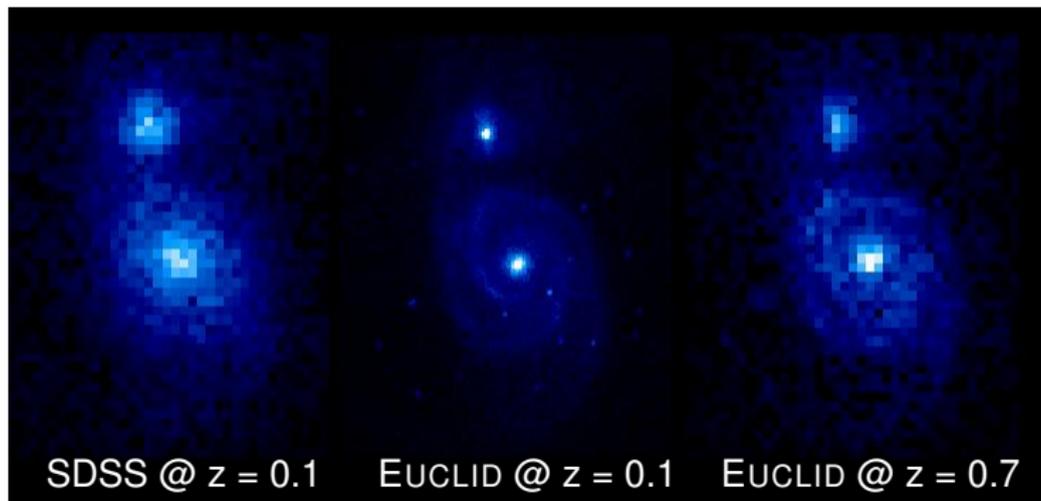
## Instrument VIS :

- 36 détecteurs CCD
- 16 méga-pixels (0.1 arcsec)
- $550 \text{ nm} < \lambda < 900 \text{ nm}$
- $\text{magAB} = 24.5$
- $\text{SNR} > 10$
- 65 Go/jour

## Lentilles gravitationnelles faibles (WL) :

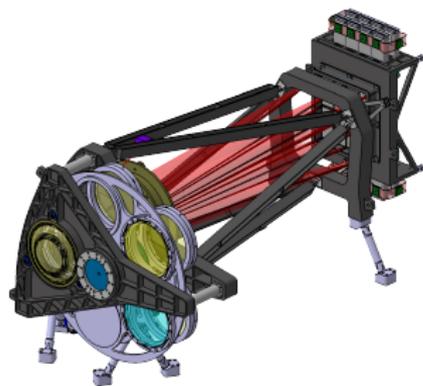
- 1.5 milliards de galaxies
- Forme précise des galaxies

# Instrument VIS



EUCLID a la même résolution à  $z \sim 1$   
que les meilleurs relevés au sol à  $z \sim 0.1$ ...

# Instrument NISP



## Instrument NISP :

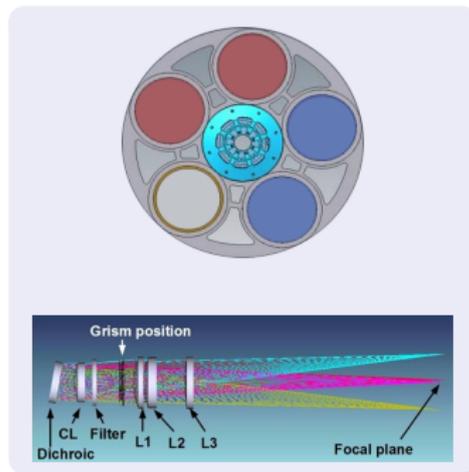
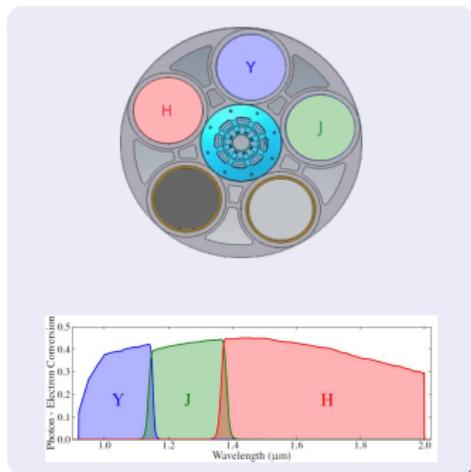
- roue à filtres et Grims (réseau+prisme) :
  - ▶ bandes (Y, J, H)  $\Rightarrow$  Photo z,
  - ▶ spectrométrie sans fente  $\Rightarrow$  z.
- 16 détecteurs HgCdTe :
  - ▶  $2k \times 2k$  pixels (0.3 arcsec),
  - ▶  $\lambda = 2 \mu\text{m}$ ,
  - ▶ principale innovation technologique.

$\Rightarrow$  Spectro-photométrie IR

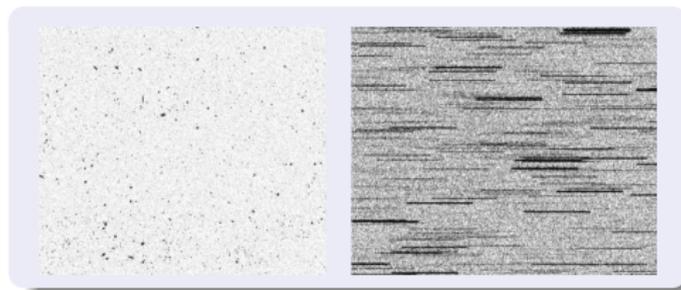
- redshift  $z = 2$ ,
- $\sim 4$  milliards d'années.



# Instrument NISP



Photométrie  
IR



Spectroscopie  
IR

# Instrument NISP

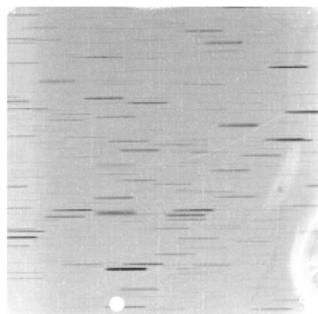
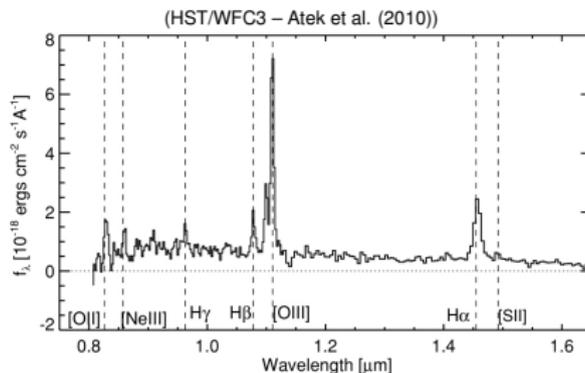


image de spectroscopie  
infra-rouge



extraction des spectres de galaxies

## Oscillations baryoniques acoustiques (BAO) :

- 50 millions de redshifts de galaxies
- mesure des redshifts  $z$  ( $\epsilon = 10^{-3}$ )
- $z \in [0.7:2.1]$
- contraintes sur  $d_A(z)$  et  $H(z)$

# Performances

La mission EUCLID est conçue pour comprendre l'origine de l'accélération de l'expansion de l'Univers :

- Est que l'énergie noire évolue en fonction du temps ?
- Est ce que la gravité est différente à grande échelle ?
- Quelle est la nature de la matière noire ?  
Quelle est la contribution des neutrinos ?
- Quelles sont les conditions initiales de la croissance des grandes structures ?

$$w(a) = w_p + w_a(a_p - a)$$

$$f(z) = \Omega_m(z)^\gamma$$

$$m_\nu$$

$$f_{NL}$$

# Performances

Parametre	Modification gravitation	Matière noire noire	Conditions initiales	Energie noire		
	$\gamma$	$m_\nu / \text{eV}$	$f_{NL}$	$w_p$	$w_a$	$FoM$
Current	0.200	0.580	100.0	0.100	1.500	10
EUCLID (BAO+WL)	0.010	0.027	5.5	0.015	0.150	430
EUCLID + Planck	0.007	0.019	2.0	0.007	0.035	4020
Amélioration	30	30	50	>10	>50	>300

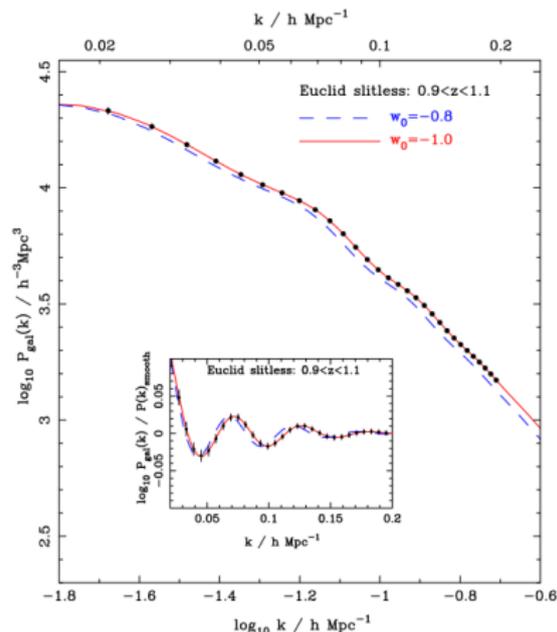
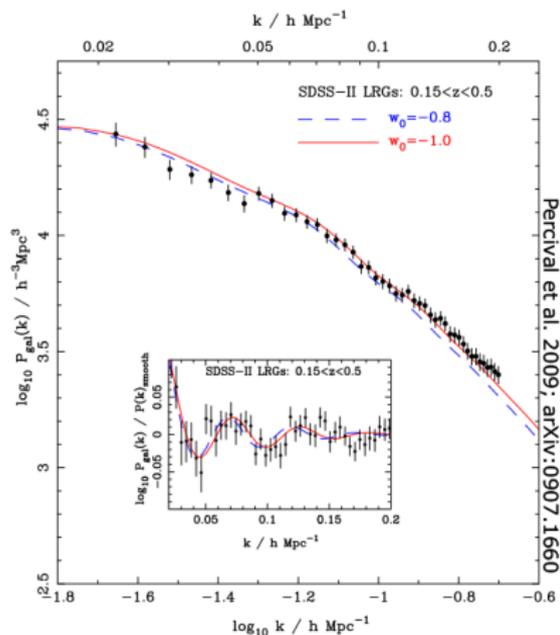
Ce tableau n'a de sens que si les erreurs systématiques sont faibles

# Performances

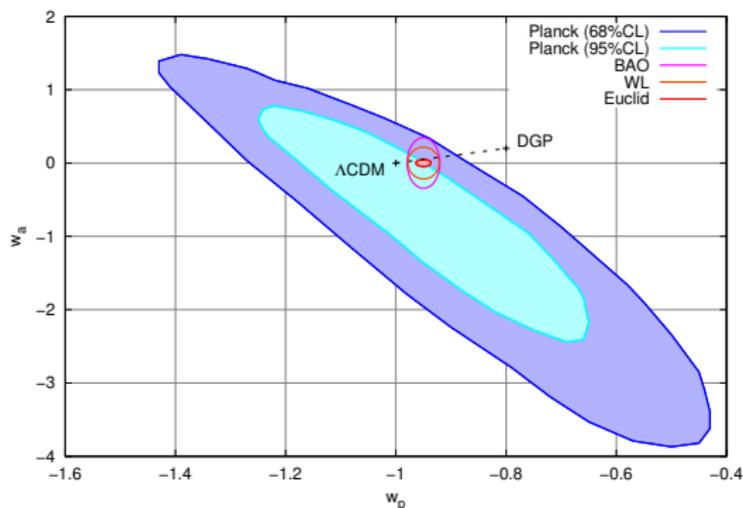
Parametre	Modification gravitation	Matière noire noire	Conditions initiales	Energie noire		
	$\gamma$	$m_\nu / \text{eV}$	$f_{NL}$	$w_p$	$w_a$	$FoM$
Current	0.200	0.580	100.0	0.100	1.500	10
EUCLID (BAO+WL)	0.010	0.027	5.5	0.015	0.150	430
EUCLID + Planck	0.007	0.019	2.0	0.007	0.035	4020
Amélioration	30	30	50	>10	>50	>300

Ce tableau n'a de sens que si les erreurs systématiques sont faibles  
EUCLID est dessiné pour cela (lancement à l'horizon 2020) !

# Backup: Spectre de puissance des galaxies



# Backup: Equation d'état de l'énergie noire



- Equation d'état de l'énergie noire :

$$w(a) = w_p + w_a(a_p - a)$$

$$\text{avec } a = \frac{1}{1+z}$$

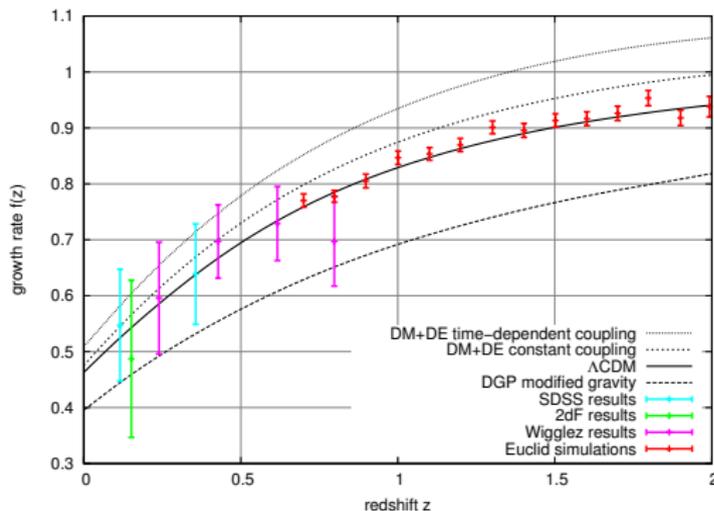
- Figure de mérite ( $1\sigma$ ) :

$$FoM = \frac{1}{\Delta w_p \times \Delta w_a}$$

FoM:

EUCLID: 10  $\rightarrow$  4000

# Backup: Redshift space distortion


 $\gamma:$ 

 EUCLID: 0.2  $\rightarrow$  0.01

- Taux de croissance des structures :

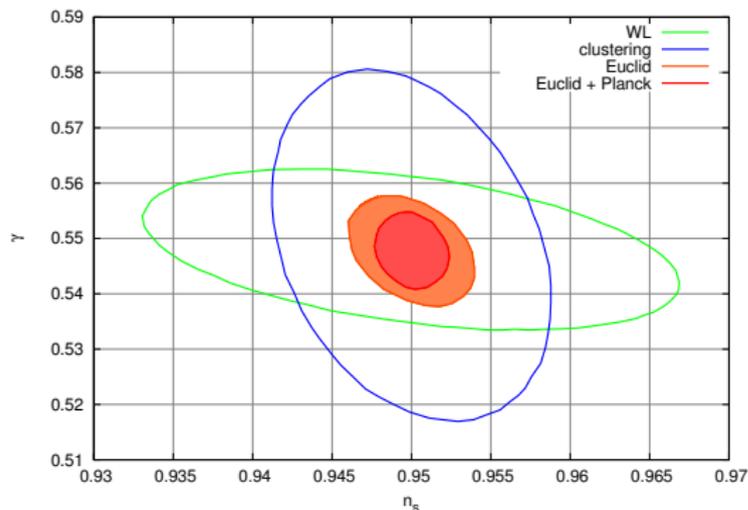
$$f(z) = \Omega_m(z)^\gamma$$

avec  $\gamma = 0.55$  dans la théorie de la RG ( $\Lambda$ CDM)

- $\gamma \neq 0.55:$

Origine de l'accélération de l'expansion de l'Univers  $\neq$  Energie noire

# Backup: Conditions initiales



$f_{NL}$ :

EUCLID: 100  $\rightarrow$  2

- Conditions initiales de l'Univers (perturbation = champ gaussien aléatoire adiabatiques et isentropiques :

$$\begin{aligned} \langle \hat{\rho}(\vec{k}, t) \hat{\rho}(\vec{k}', t) \rangle \\ = k^{n_s-1} \delta^{(3)}(\vec{k} - \vec{k}') \end{aligned}$$

où  $n_s$  est l'index de la loi de puissance

- $f_{NL}$  :

effet non gaussien