

Matière & Énergie Noire

Introduction

Julien Guy

Plan de la session Matière & Energie Noire

- Introduction : Objectifs scientifiques & projets
 - Supernova Legacy Survey
• Supernova Factory
 - Développements SkyDICE
• LSST électronique
• LSST mécanique
 - Dynamique des systèmes auto-gravitants
- Marc Betoule
Sébastien Bongard
- Hervé Lebbolo
Claire Juramy
Daniel Vincent
- Michael Joyce

Plan de cette présentation

- Objectifs scientifiques
- Les projets expérimentaux en cours d'analyse, de construction, R&D
- Qui

Objectifs scientifiques

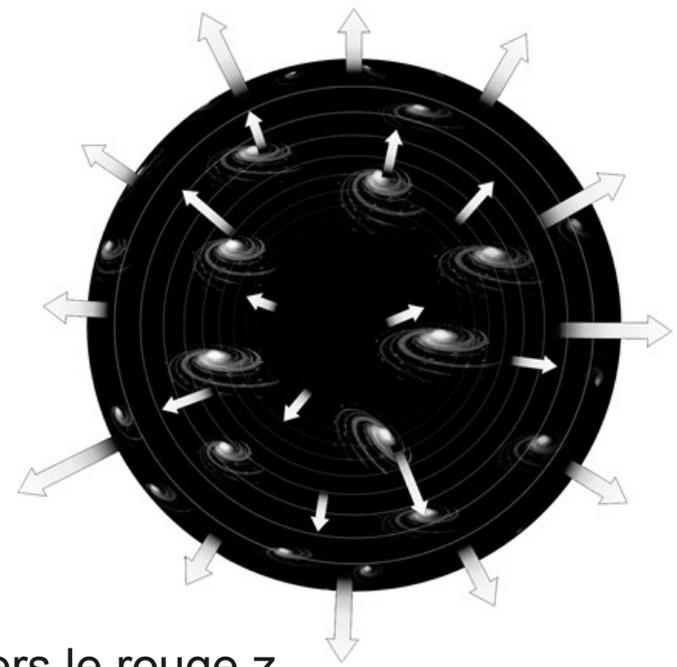
Deux grandes questions de cosmologie :

- **Comprendre pourquoi il y a accélération de l'expansion de l'Univers**
 - Approche expérimentale : on mesure le plus précisément possible l'expansion de l'Univers (son histoire : depuis 8 milliards d'années jusqu'à maintenant), avec des supernovae Ia (c'est la méthode la plus précise aujourd'hui) .

- **Comprendre comment se forment les grandes structures de l'Univers**
(ici, approche théorique : gravitation dans le régime non-linéaire -> exposé de M. Joyce)

Accélération de l'expansion

Mesurer l'histoire de l'expansion de l'Univers, c'est mesurer $a(t)$ le facteur d'échelle (des distances) en fonction du temps.



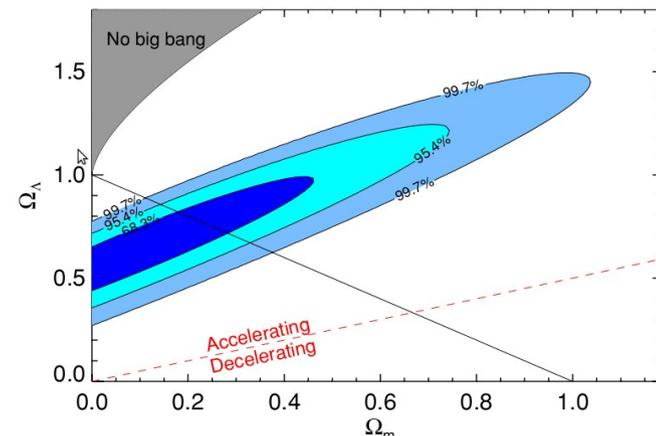
Avec les supernovae, on mesure en réalité $D_L(z)$ une distance (de luminosité) en fonction du décalage vers le rouge z .

- D_L indexe le temps : $D_L = (1+z) \times c \times \int dt/a(t)$ (pour un univers plat)
- z est une mesure du facteur d'échelle au moment de l'émission photon $z = 1/a - 1$

- D_L est déduite des mesures de flux lumineux des SNe
 $\text{flux} = \text{Luminosité totale} / 4 \pi D_L^2$



Découverte en 1998, cette accélération est avérée aujourd'hui (ici contours SNe SNLS3+others, inc. systematics)



Energie noire ??!?!?

Définition : le phénomène responsable de l'accélération de l'expansion
(et on ne sait pas de quoi il s'agit)

Ce peut être :

- une constante dans l'équation d'Einstein \Leftrightarrow densité d'énergie du vide
 - c'est le modèle le plus simple (1 paramètre)
 - il est parfaitement compatible avec les données
 - on n'a pas de théorie pour expliquer sa valeur.
 - il y a un problème de coïncidence :
le fait que cette densité d'énergie \sim densité de la matière aujourd'hui est suspect.
- une source « exotique » d'énergie
par ex. la quintessence :
champ scalaire avec potentiel ad-hoc et myriades de dérivés
 - il manque une théorie plus fondamentale
 - il y a toujours un problème d'ajustement fin des paramètres des modèles
- modification de la relativité générale :
modèles $f(R)$, même problèmes, difficultés de compatibilités avec tests de relativité dans le système solaire ...
- un « biais » lié aux inhomogénéités de densité (très controversé)

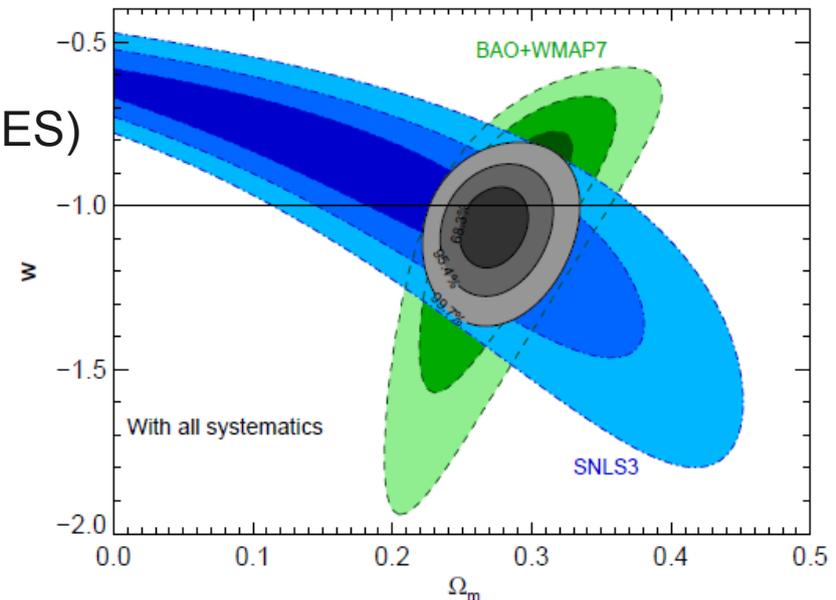
Energie noire

Comment le/la caractériser ?

- 1) en mesurant finement l'histoire de l'expansion
 - > taux d'expansion lié à densité d'énergie dans l'Univers
 - > mesure du taux de dilution de l'énergie noire
(nul si constante cosmologique/énergie du vide)
 - > paramétré par une « équation d'état » $w = \text{pression}/\text{densité}$
 $w = -1$ pour constante cosmologique
- 2) en mesurant précisément le taux de formation des structures
 - > permet de mesurer une déviation à la relativité générale

Aujourd'hui l'état de l'art est $w = -1 \pm 0.07$
SNLS3+BAO(SDSS-DR7)+CMB(WMAP7)+H0(SHOES)

La précision de mesure vient des supernovae
(de SNLS)



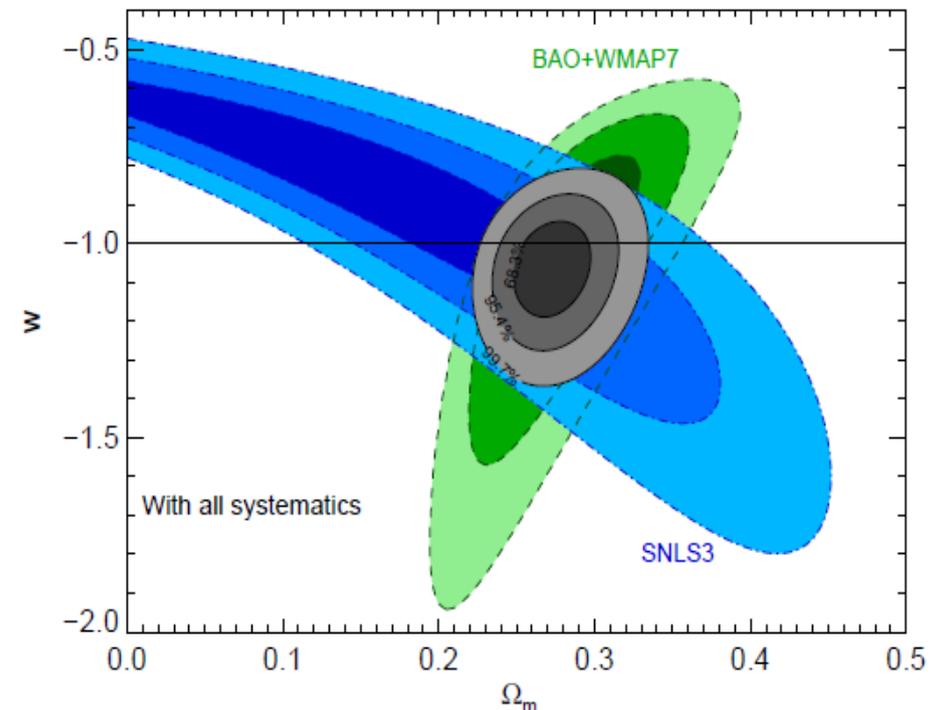
Comment améliorer la mesure?

I) Avec les supernovae la :

- en réduisant les incertitudes systématiques
 - amélioration de la calibration
 - meilleure caractérisation des SNeIa
 - dans leur environnements
 - en étudiant leurs propriétés spectrales
- en réalisant des sondages moins sensibles aux systématiques

II) Autres sondes :

- Oscillations de baryons
- Cisaillement gravitationnel



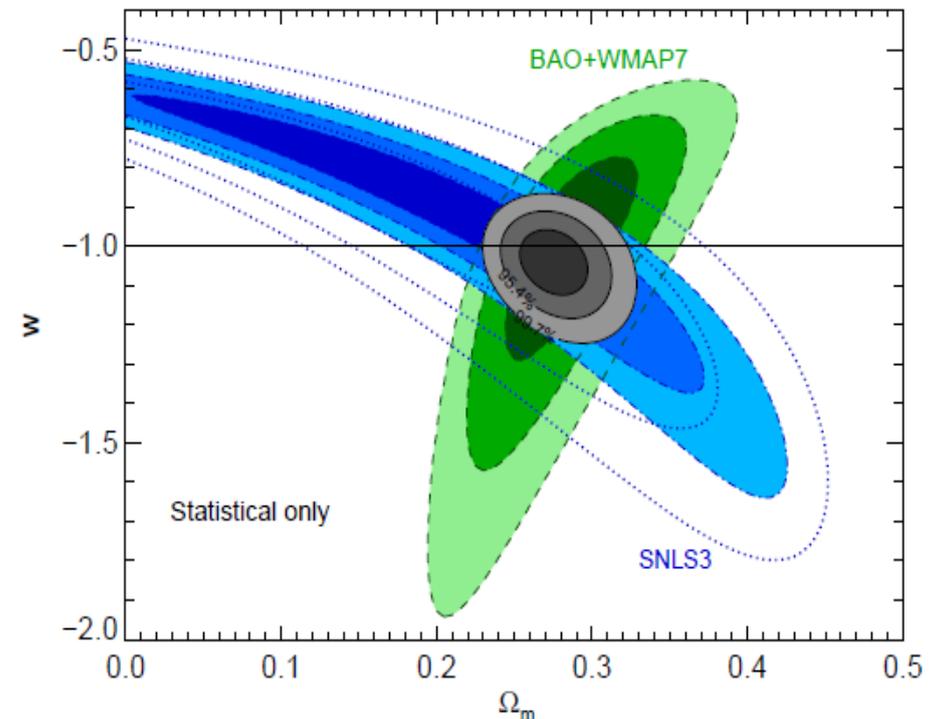
Comment améliorer la mesure?

I) Avec les supernovae la :

- en réduisant les incertitudes systématiques
 - amélioration de la calibration
 - meilleure caractérisation des SNeIa
 - dans leur environnements
 - en étudiant leurs propriétés spectrales
- en réalisant des sondages moins sensibles aux systématiques

II) Autres sondes :

- Oscillations de baryons
- Cisaillement gravitationnel



Comment améliorer la mesure?

I) Avec les supernovae la :

- en réduisant les incertitudes systématiques
 - **amélioration de la calibration**
 - meilleure caractérisation des SNeIa
 - dans leur environnements
 - en étudiant leurs propriétés spectrales
- en réalisant des sondages moins sensibles aux systématiques

II) Autres sondes :

- Oscillations de baryons
- Cisaillement gravitationnel

SNLS (exposé de Marc)

Analyse des 5 ans de données

- intercalibration SNLS-SDSS
- études galaxies hôtes
- études spectro conjointe avec SNF



Comment améliorer la mesure?

I) Avec les supernovae la :

- en réduisant les incertitudes systématiques
 - amélioration de la calibration
 - meilleure caractérisation des SNeIa
 - dans leur environnements
 - en étudiant leurs **propriétés spectrales**
- en réalisant des sondages moins sensibles aux systématiques

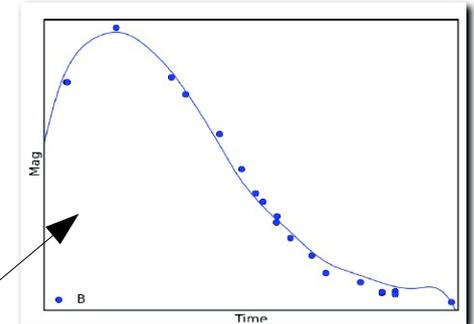
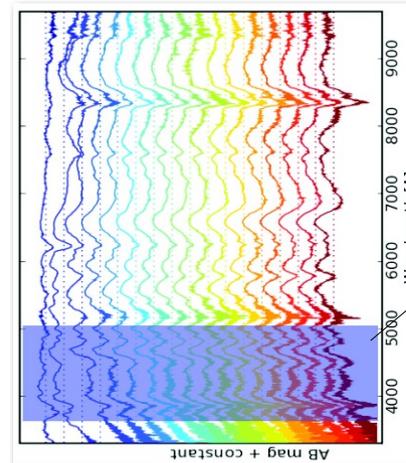
II) Autres sondes :

- Oscillations de baryons
- Cisaillement gravitationnel

SNFactory (exposé de Sébastien)

Séquences spectrales de SNe proches

- séparer couleur intrinsèque/extinction
- contraindre les modèles d'explosion
- améliorer la mesure de distance



Comment améliorer la mesure?

I) Avec les supernovae la :

- en réduisant les incertitudes systématiques
 - **amélioration de la calibration**
 - meilleure caractérisation des SNeIa
 - dans leur environnements
 - en étudiant leurs propriétés spectrales
- en réalisant des sondages moins sensibles aux systématiques

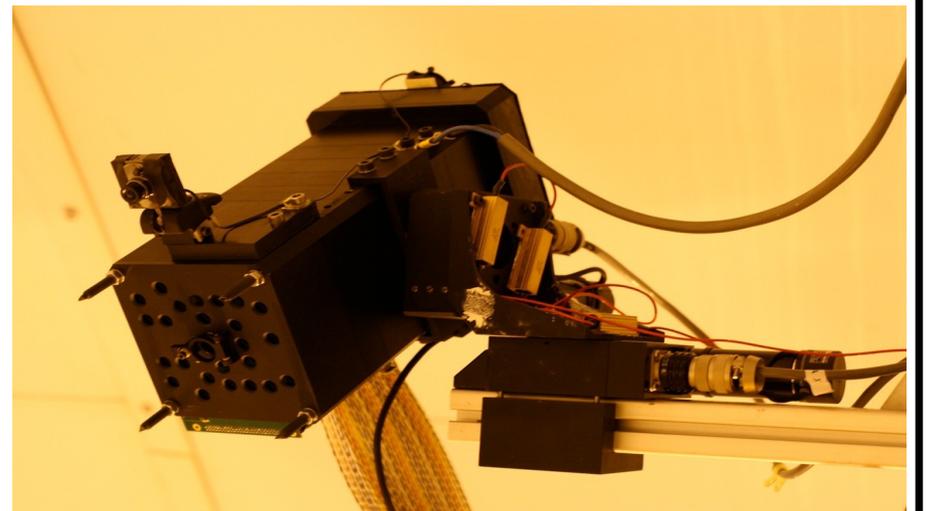
II) Autres sondes :

- Oscillations de baryons
- Cisaillement gravitationnel

SNDICE & SkyDICE

(exposés de Marc et Hervé)

- Calibration instrumentale des télescopes



Comment améliorer la mesure?

I) Avec les supernovae la :

- en réduisant les incertitudes systématiques
 - **amélioration de la calibration**
 - meilleure caractérisation des SNeIa
 - dans leur environnements
 - en étudiant leurs propriétés spectrales
- **en réalisant des sondages moins sensibles aux systématiques**

II) Autres sondes :

- Oscillations de baryons
- Cisaillement gravitationnel

SkyMapper

SNe proches en Australie

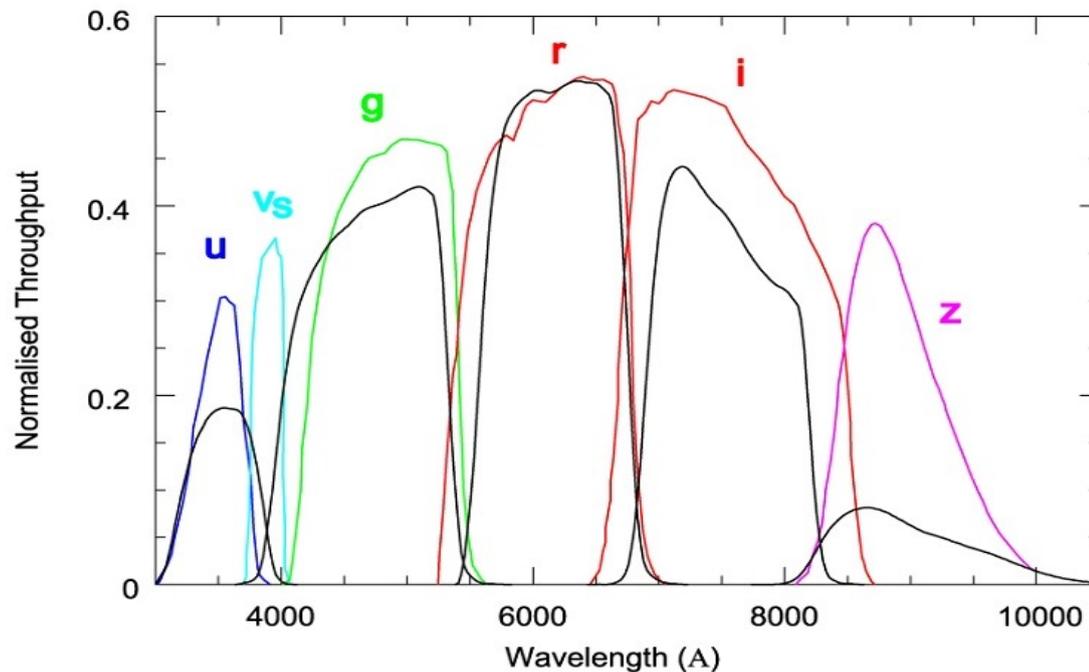
- meilleure calibration
- biais de sélection contrôlé



SkyMapper



Telescope: 1.3m de diamètre
Caméra: 32 4kx2k CCDs, 5.7deg² (0.5 arcsec/pixel)
Lieu: Australie (*Australian National University's Siding Spring Observatory*)
P.I. Brian Schmidt



SkyMapper @ LPNHE (N. Regnault et al.)

A) SkyMapper-SN

1000 deg²

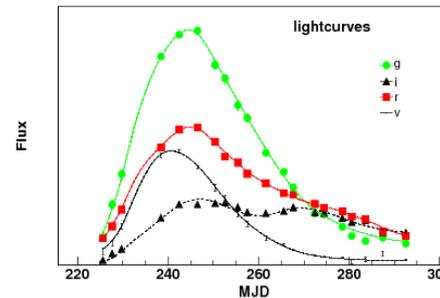
150 SNe Ia/an $z < 0.12$

Responsabilités LPNHE :

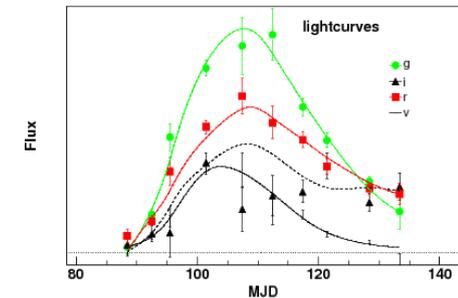
- pipeline de détection
- photométrie
- suivi spectroscopique ?

-> Objectifs scientifiques :

diagramme Hubble, taux SNe, bulk flow studies, physique des SNe



(a) SN09151 @ $z = 0.045$



(b) SN07560 @ $z = 0.094$

B) SkyDice

- démonstrateur (SNDice génération 2)
- monitoring imageur
- calibration photométrique (objectif: 0.1%)

-> voir exposé de Hervé

! Importants retards sur SkyMapper !

Commissioning difficile (problème liés à l'automatisation du télescope, l'optique et le froid (vibrations), le readout.

Comment améliorer la mesure?

I) Avec les **supernovae Ia** :

- en réduisant les incertitudes systématiques
 - **amélioration de la calibration**
 - meilleure caractérisation des SNeIa
 - dans leur environnements
 - en étudiant leurs propriétés spectrales
- **en réalisant des sondages moins sensibles aux systématiques**

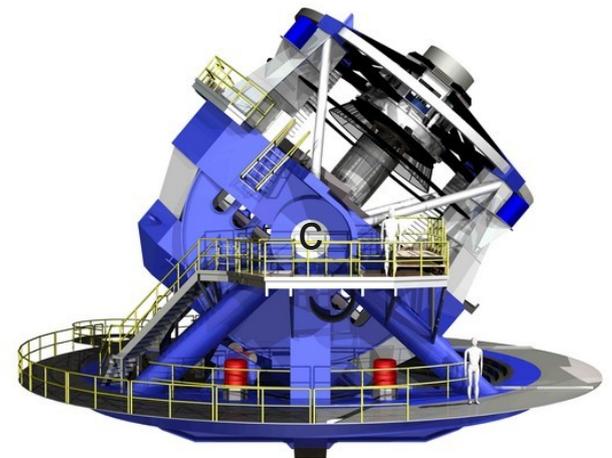
II) Autres sondes :

- **Oscillations de baryons**
- **Cisaillement gravitationnel**

LSST

SNe :

- stat x 100
- effort important de calib. instrumentale
- (un peu) plus profond que SNLS



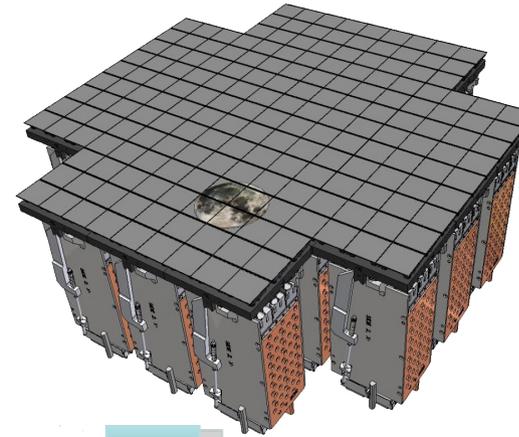
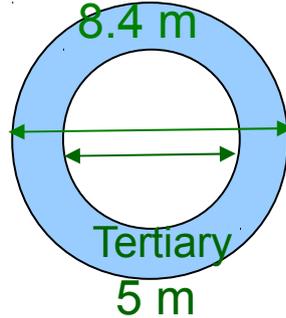
LSST

l'instrument : Wide, Deep and Fast

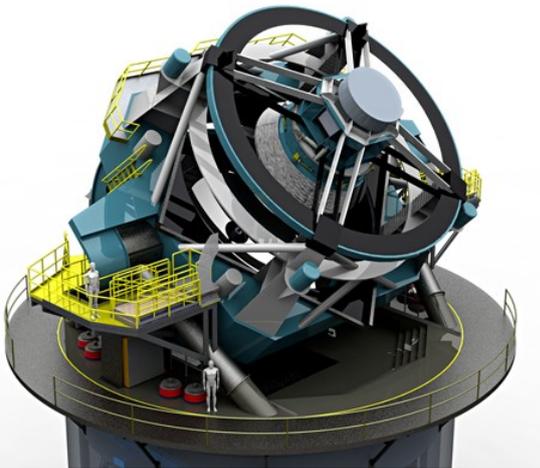
Field of view : 3.5 deg
(9.6 deg²)
Full moon = 0.5 deg

Mirrors

Primary
8.4 m

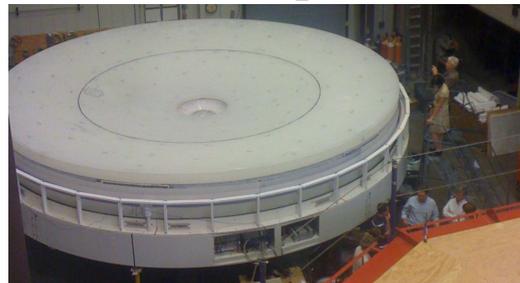


LSST focal plane :
189 CCD (21 rafts)
3024 Readout Channels
>3 10⁹ pixels
10 μm pixel (0.2 arcsec)
Focal plan readout : 2s



LSST

6.5 m effective primary mirror



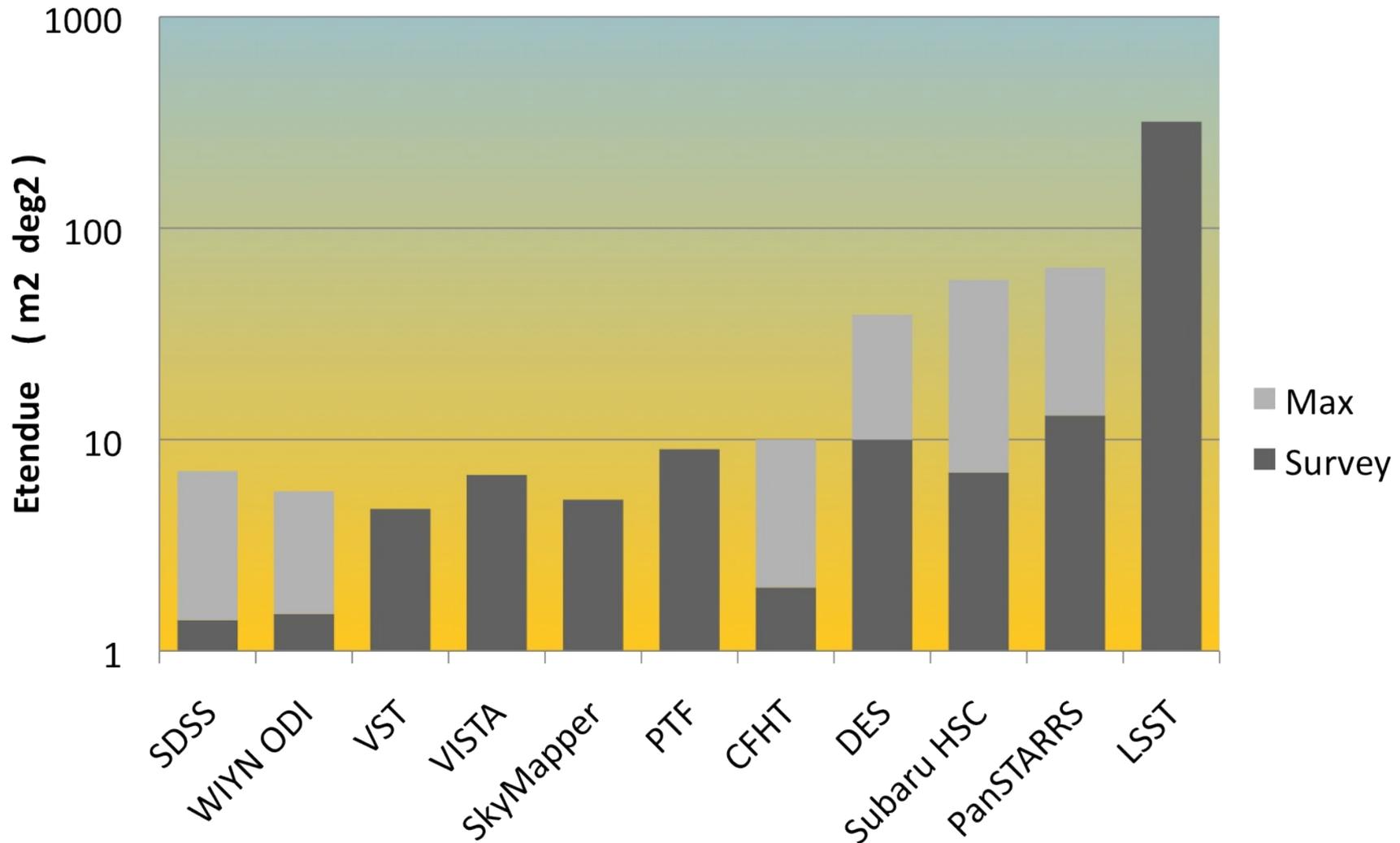
LSST main Mirror , August 2010

1 raft = 3x3 CCD
150 M pixels
(1/2 Megacam)

LSST

Etendue = surface x angle solide
= $\sim 100 \times \text{CFHTLS(SNLS)}$

soit 100 x plus de photons / unité de temps (=lumi. instantanée)



LSST le plan d'observation (du wide)

6-band Survey:
ugrizy 320–1080 nm

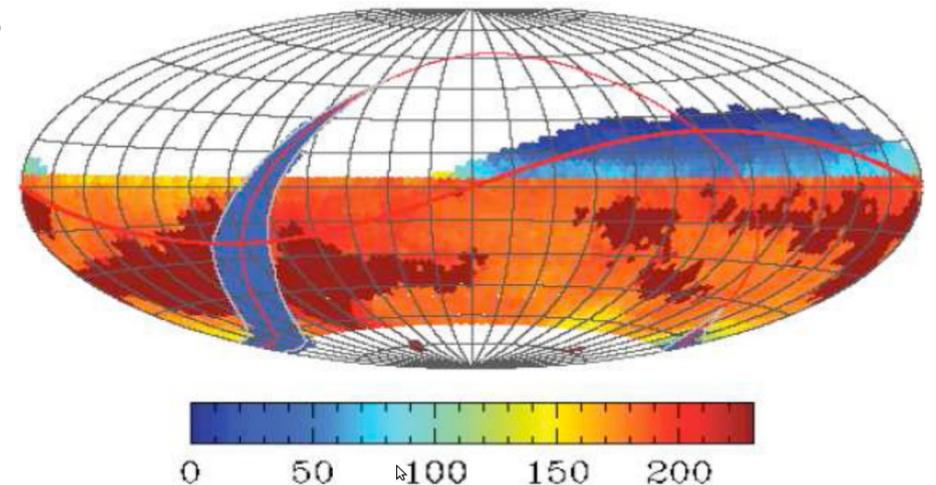
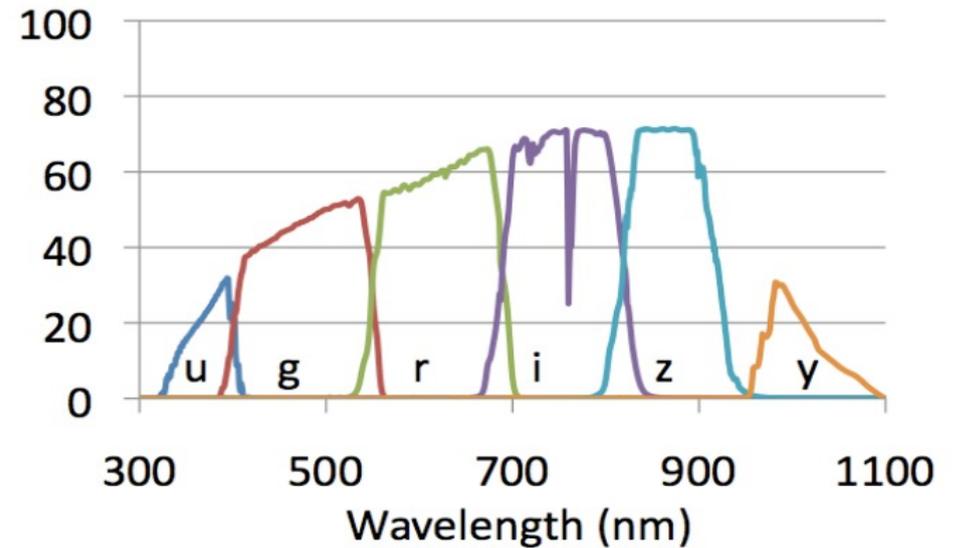
Frequent revisits:
2 x 15 s, 25 AB mag/visit

Sky area covered:
> 20,000 deg², 0.2 arcsec / pixel

Each 9.6 sq.deg FOV revisited ~ 1000 times

10-Year Duration:
Yields 27.7 AB magnitude @ 5sigma

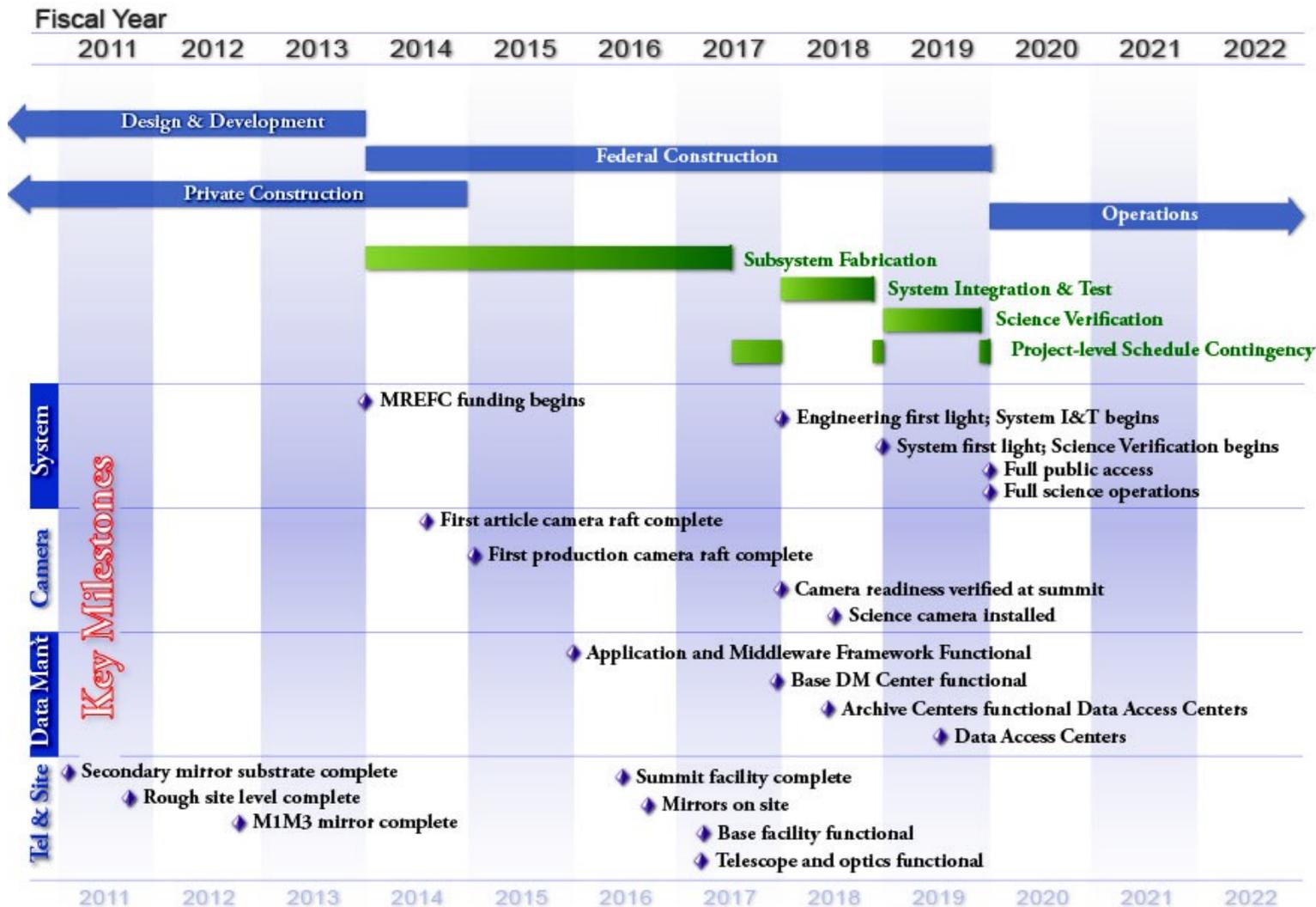
Photometric precision:
0.01 mag absolute;
0.0005 mag repeatability (!!??)



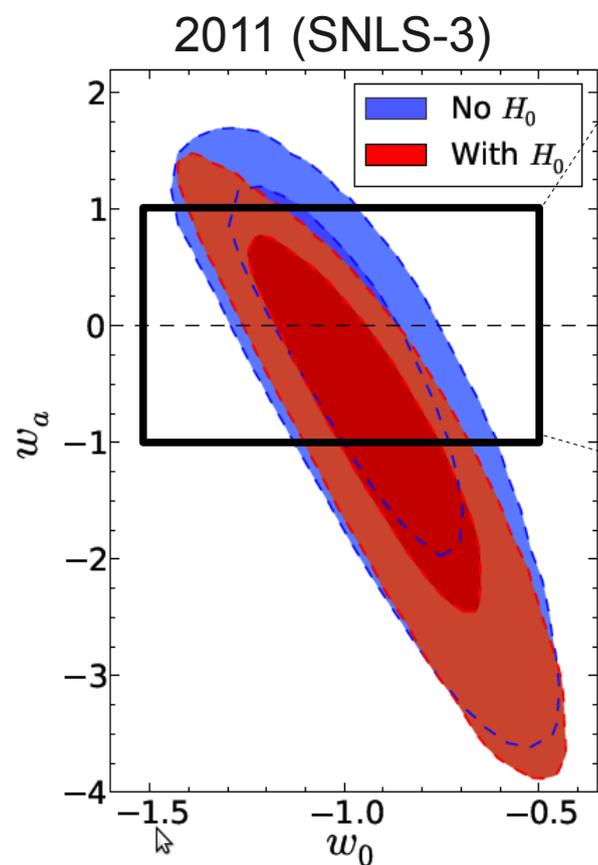
LSST les dates

- LSST en phase finale de R&D.
- La construction du télescope a commencé.
- Début construction 2014

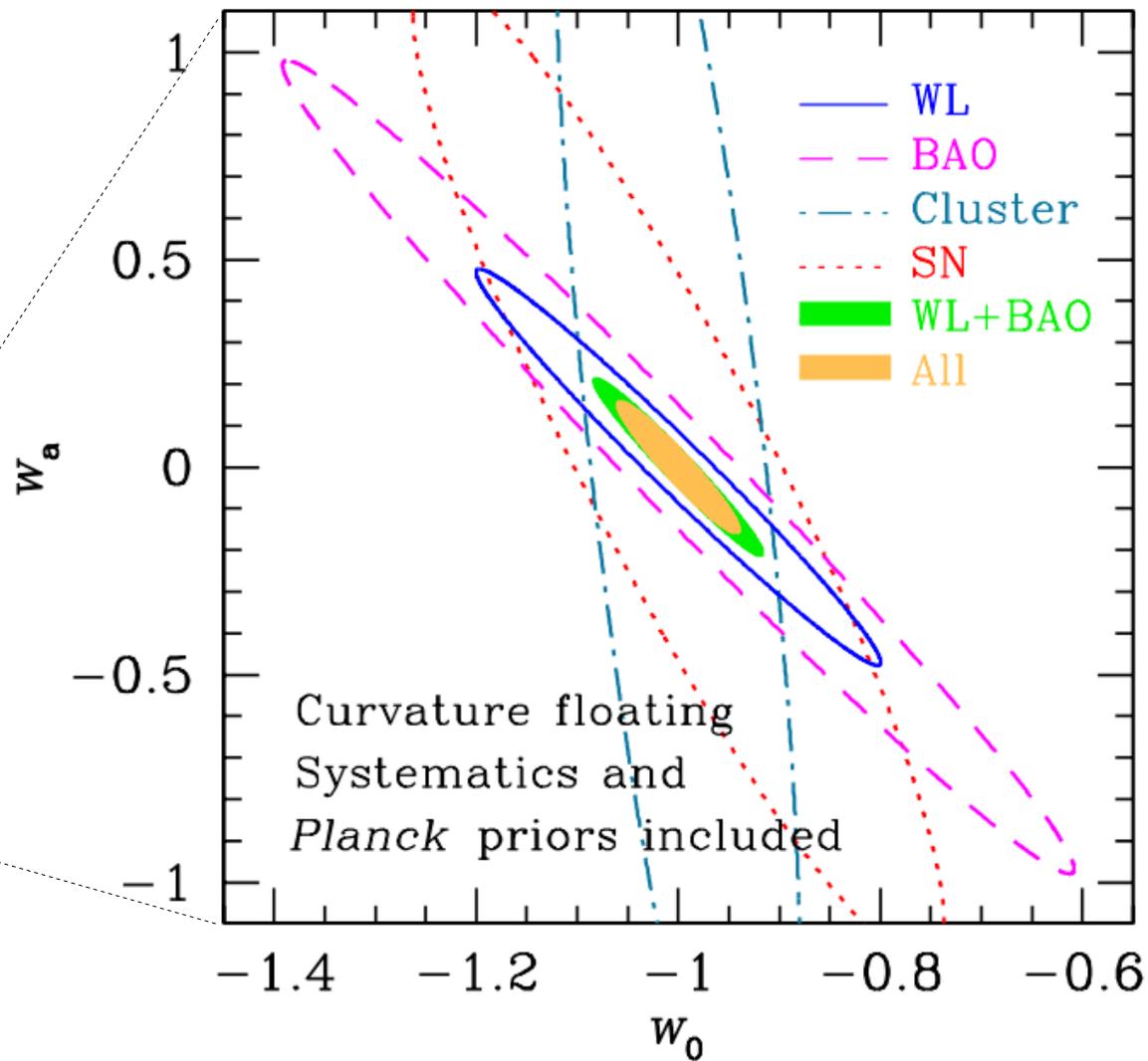
« La préparation à la construction de la camera entre aujourd'hui et 2014 est critique pour le LPNHE car cela décidera/validera le niveau de nos responsabilités pour la construction » (P. Antilogus)



LSST la promesse scientifique



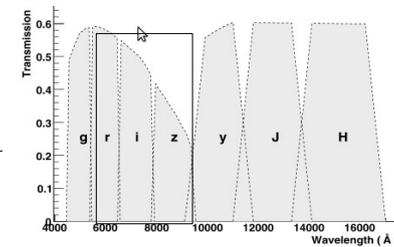
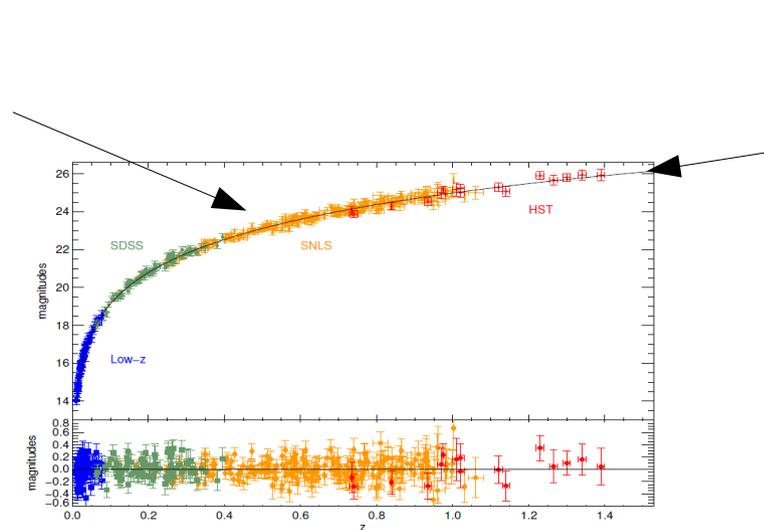
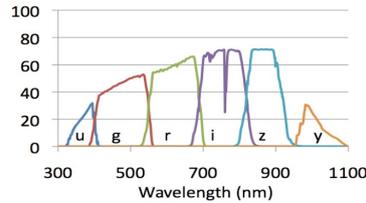
(color: 68.3 and 95.4% C.L., flat)



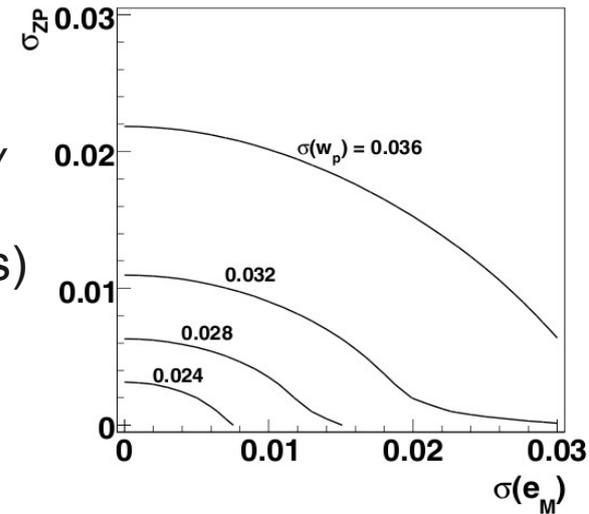
(Contours à 1 sigma, 39% C.L.
contours SN équivalent à SNLS-3+BAO+WMAP7)



Un projet SNe plus ambitieux : sondage profond LSST + EUCLID (?)



P. Astier (2011) *Dark energy constraints from a space-based SN survey*
 une version « légèrement améliorée » d'EUCLID
 (ajout d'une roue à filtre visible, qq paramètres un peu optimistes)
 -1.5 an, un champ de 10 deg², un de 50deg²
 -> plus de 10000 SNe (sans biais de sélection jusqu'à z=1.5)
 -> $w_0 \pm 0.03$



Agenda EUCLID :

- en toute fin de phase A : sélection par l'ESA de la mission **le 4 oct 2011**
- lancement ≥ 2019

Qui

8 CNRS

Antilogus Pierre
Astier Pierre
Barrelet Etienne
Bongard Sebastien
Guy Julien
Levy Jean-Michel
Pain Reynald
Regnault Nicolas

6 MdC/Prof

Balland Christophe
Hardin Delphine
Joyce Michael
Le Guillou Laurent
Schahmaneche Kyan
Baumont Sylvain

2 Post-doc

Betoule Marc
Russo Stephano

8 Doctorants

Canto Arnaud
Guyonnet Augustin
Cellier-Holzem Flora
Villa Francesca
Rocci Pier-Francesco
Benhaïem David
El-Hage Patrick
Morand Jules

3 Thèses soutenues depuis la dernière biennale

Fourmanoit Nicolas (2010)
Sicard François (2010)
Worrakitpoonpon Tirawut (2011)

Répartition (~FTE)

3 LSST
14 SNLS+SNDICE+SNF(+Préparation SKYMAPPER)
<1 Projets futurs
3 Theorie

Plan de la session Matière & Energie Noire

- Introduction : Objectifs scientifiques & projets

- Supernova Legacy Survey
- Supernova Factory

Marc Betoule
Sébastien Bongard

- Développements SkyDICE
- LSST électronique
- LSST mécanique

Hervé Lebbolo
Claire Juramy
Daniel Vincent

- Dynamique des systèmes auto-gravitants

Michael Joyce