

# The SuperNova Legacy Survey... et les DICEs

Marc BÉTOULE  
(Pour le groupe SNLS)

LPNHE

BIENNALE, septembre 2011

# Les personnes impliquées

## SNLS forever

- ▶ Pierre ASTIER (C)
- ▶ Julien GUY (C)
- ▶ Reynald PAIN (C)
- ▶ Nicolas REGNAULT (C)
- ▶ Delphine HARDIN (EC)
- ▶ Christophe BALLAND (EC)

## Changements

- ▶ Marc BETOULE (PostDoc)
- ▶ Patrick EL-HAGE (PhD)
- ▶ Nicolas FOURMANOIT (PhD)
- ▶ Taia KRONBORG (PhD)

## SNDICE/SKYDICE

- ▶ Étienne BARRELET (C)
- ▶ Kyan SCHAHMANECHE (EC)
- ▶ Laurent LE GUILLOU (EC)
- ▶ Augustin GUYONNET (PhD)
- ▶ Francesca VILLA (PhD)
- ▶ Pier Francesco ROCCI (PhD)
- ▶ électronique:
  - ▶ H. Lebbolo
  - ▶ P. Bailly
  - ▶ Y. Guo
  - ▶ A. Vallereau
  - ▶ C. Goffin
- ▶ en mécanique
  - ▶ P. Repain
  - ▶ D. Vincent
  - ▶ aide des services généraux (Mickael, Franck)

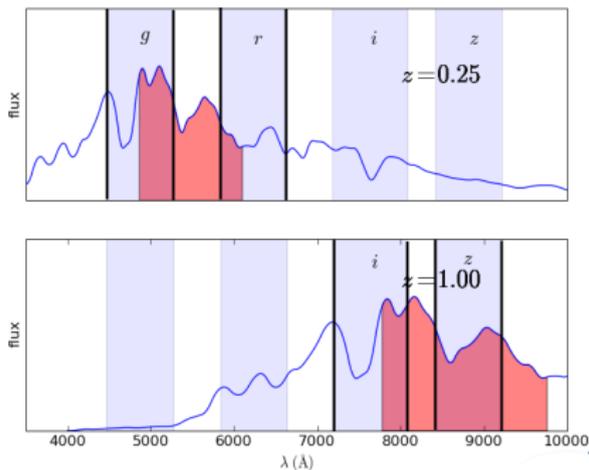
# Le survey

## Objectif

- ▶ Diagramme de Hubble des supernovae de type Ia
- ▶ Mesure des paramètres de l'équation d'état de l'énergie noire.

## Les ingrédients de la méthode

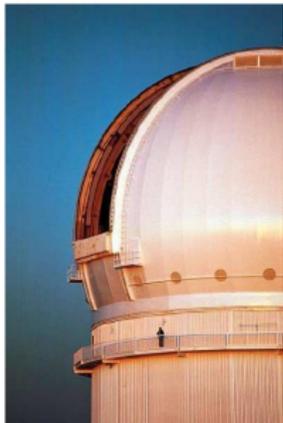
- ▶ Détecter des Supernovae
- ▶ Les identifier (Ia)
- ▶ Mesurer leur redshift
- ▶ Mesurer leur courbe de lumière avec précision
  - ▶ Flux dans 4 bandes photométriques
  - ▶ Modéliser les supernovae



# Un grand survey...

## Photometrique

- ▶ Permet
  - ▶ Détection
  - ▶ Mesure précise des courbes de lumière
- ▶ Au CFHT



- ▶ Avec MegaCam
- ▶ 4 champs deep du CFHTLS ( $1^\circ$ )
- ▶ Recherche glissante

(Le LPNHE impliqué dans tous les aspects)

## Spectroscopique

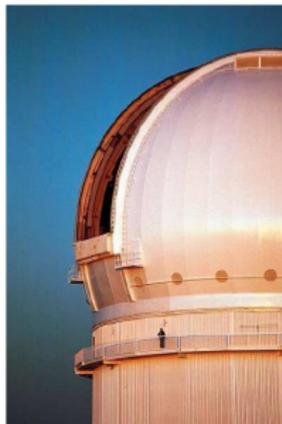


- ▶ Permet
  - ▶ Identification spectrométrique
  - ▶ Détermination du redshift
  - ▶ Études détaillées des SNs
- ▶ Sur des télescopes de 8m
  - ▶ VLT (80h/semestre)
  - ▶ Gemini (60h/semestre)
  - ▶ Keck (30h/semestre)

# Un grand survey...

## Photometrique

- ▶ Permet
  - ▶ Détection
  - ▶ Mesure précise des courbes de lumière
- ▶ Au CFHT



- ▶ Avec MegaCam
- ▶ 4 champs deep du CFHTLS ( $1^\circ$ )
- ▶ Recherche glissante

+SNDICE

Calibration de  
MegaCam

(Le LPNHE impliqué dans tous les aspects)

## Spectroscopique



- ▶ Permet
  - ▶ Identification spectrométrique
  - ▶ Détermination du redshift
  - ▶ Études détaillées des SNs
- ▶ Sur des télescopes de 8m
  - ▶ VLT (80h/semestre)
  - ▶ Gemini (60h/semestre)
  - ▶ Keck (30h/semestre)

LPNHE  
PARIS

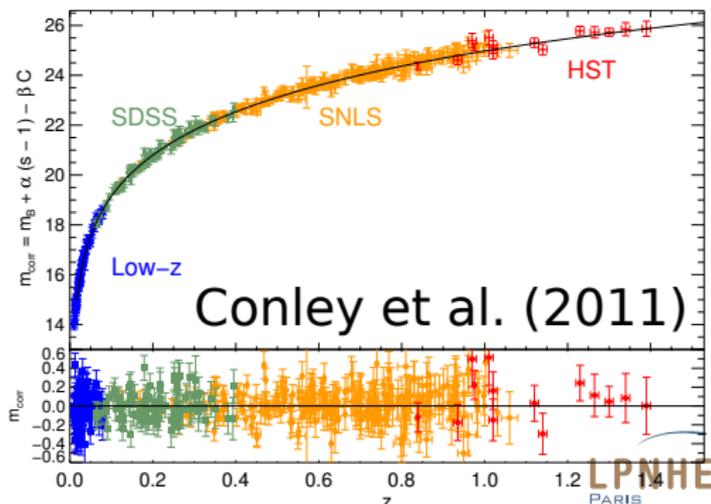
# Ces 2 dernières années (I)

## Publication de l'analyse 3 ans

- ▶ Calibration photométrique: Regnault et al. (2009)
- ▶ Spectres ESO/VLT: Balland et al. (2009)
- ▶ Lensing des SNIa: Kronborg et al. (2009)

## Cosmologie

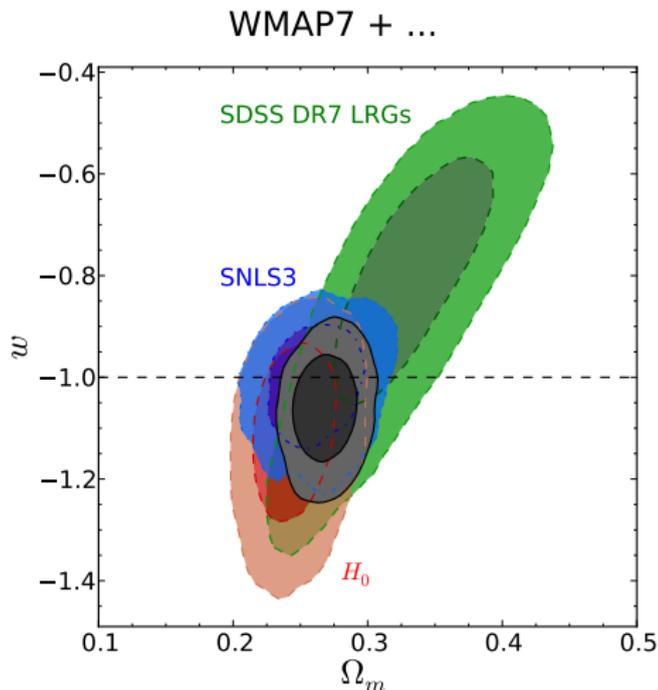
- ▶ Courbes de lumière des SNIa: Guy et al. (2010)
- ▶ Cosmologie SNIa: Conley et al. (2011)
- ▶ Contraintes cosmologiques: Sullivan et al. (2011)



# Contraintes cosmologiques

- ▶ 242 SNLS + 93 SDSS + 123 proches + 14 HST
- ▶ WMAP7 CMB power spectrum (Larson et al. 2011)
- ▶ SDSS DR7 LRGs power spectrum (Reid et al. 2007)
- ▶  $H_0$  measurement from SHOES (Riess et al. 2011)
- ▶  $w = -1.061^{+0.069}_{-0.068}$

- ▶ Importance des SNIa pour la mesure de  $w$
- ▶ 7.7% Pour WMAP7+SNLS3

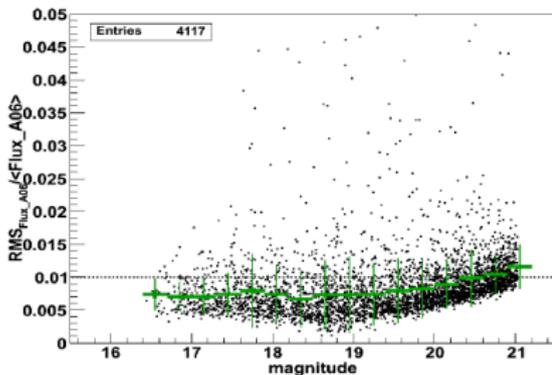


# Ces 2 dernières années (II)

## Analyse préliminaire 5 ans

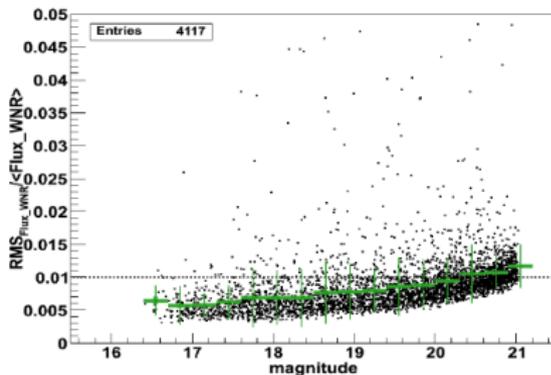
(Fin de la thèse de Nicolas Fourmanoit)

- ▶ Première réduction de toutes les images du survey
- ▶ Jeu complet de 75 → 252 → 419 SNIa



## Nouvelle méthode de photométrie

- ▶ Meilleure modélisation des erreurs
- ▶ Temps de calcul amélioré

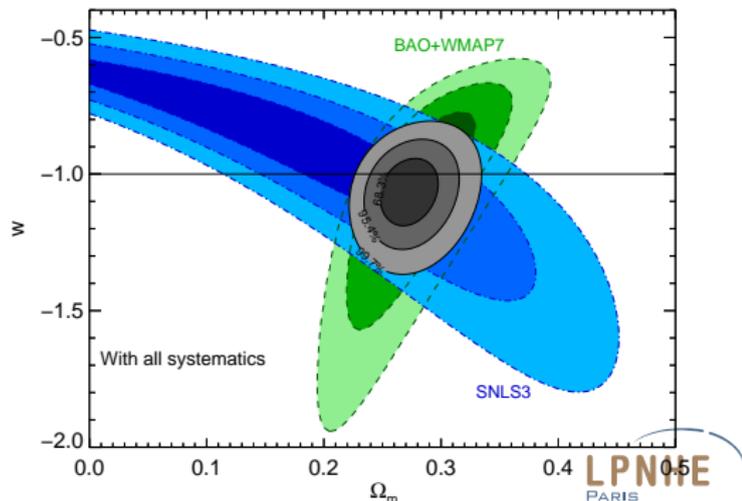


# État de l'art

## SNLS3: Conley et al.

Description	$\Omega_m$	$w$	Rel. Area
Stat only	$0.19^{+0.08}_{-0.10}$	$-0.90^{+0.16}_{-0.20}$	1
All systematics	$0.18 \pm 0.10$	$-0.91^{+0.17}_{-0.24}$	1.85
Calibration	$0.191^{+0.095}_{-0.104}$	$-0.92^{+0.17}_{-0.23}$	1.79

- ▶ Importance des erreurs systématiques
- ▶ Les plus fortes sont liées à la calibration

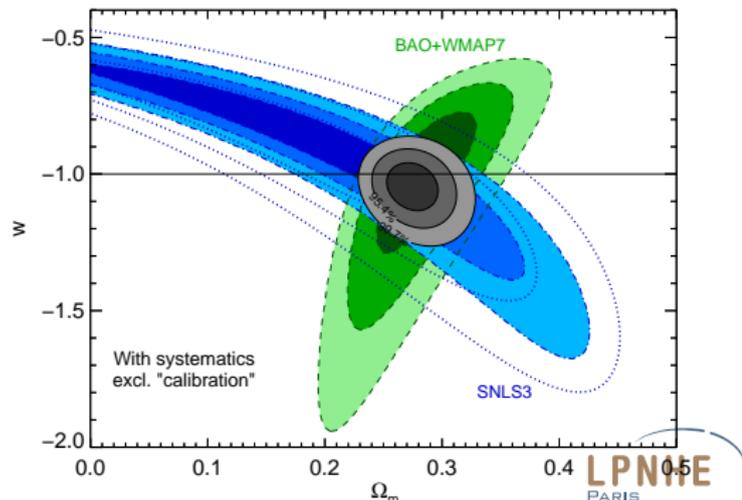


# État de l'art

## SNLS3: Conley et al.

Description	$\Omega_m$	$w$	Rel. Area
Stat only	$0.19^{+0.08}_{-0.10}$	$-0.90^{+0.16}_{-0.20}$	1
All systematics	$0.18 \pm 0.10$	$-0.91^{+0.17}_{-0.24}$	1.85
Calibration	$0.191^{+0.095}_{-0.104}$	$-0.92^{+0.17}_{-0.23}$	1.79

- ▶ Importance des erreurs systématiques
- ▶ Les plus fortes sont liées à la calibration

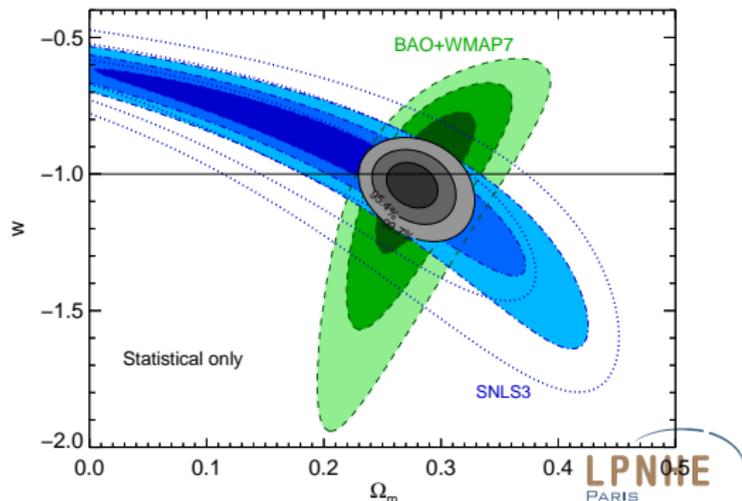


# État de l'art

## SNLS3: Conley et al.

Description	$\Omega_m$	$w$	Rel. Area
Stat only	$0.19^{+0.08}_{-0.10}$	$-0.90^{+0.16}_{-0.20}$	1
All systematics	$0.18 \pm 0.10$	$-0.91^{+0.17}_{-0.24}$	1.85
Calibration	$0.191^{+0.095}_{-0.104}$	$-0.92^{+0.17}_{-0.23}$	1.79

- ▶ Importance des erreurs systématiques
- ▶ Les plus fortes sont liées à la calibration



# Finaliser l'analyse

## Réduction des erreurs systématiques

- ▶ Calibration
- ▶ Photométrie
- ▶ Validation des modèles
- ▶ Propriétés des galaxies hôtes

## Publier l'analyse

- ▶ Spectro 5 ans
- ▶ Photométrie 5 ans
- ▶ Entraînement sur le lot combiné SNLS/SDSS
- ▶ Contraintes cosmologiques combinées

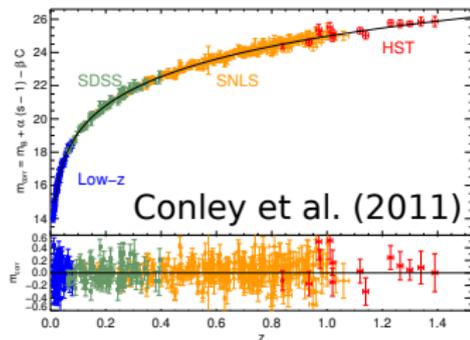
## Préparer l'avenir

- ▶ Identification photométrique
- ▶ ...

# Collaboration avec le SDSS

## Création d'un groupe de travail "Joint Light-curve Analysis"

- ▶ Depuis juin 2010
- ▶ Mise en place de tous les ingrédients nécessaires à un entraînement des modèles sur lot combiné des supernovae SDSS et SNLS
  - ▶ Inter-calibration des surveys
  - ▶ Travail amont sur les modèles (Simulations)



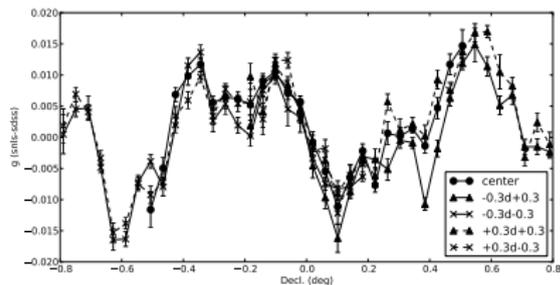
## Groupe de Chicago



- ▶ John Marriner (Fermilab)
- ▶ Rick Kessler (KICP)
- ▶ Jennifer Mosher
- ▶ Rahul Biswas

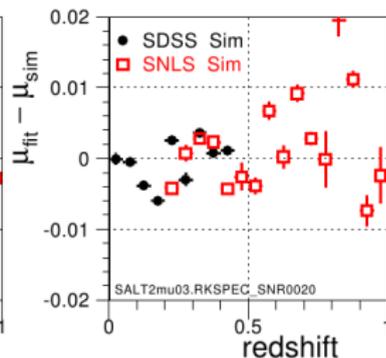
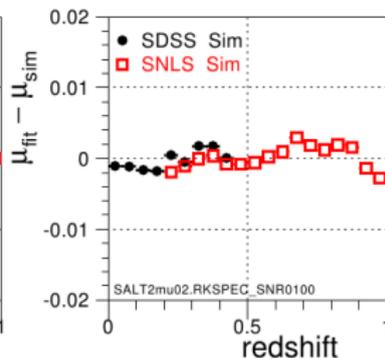
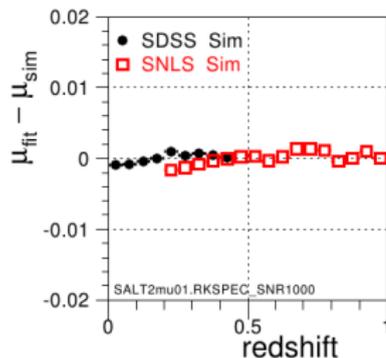
## Inter-calibration avec le SDSS

- ▶ Découverte/correction de problèmes de flat-fielding
- ▶ Intercalibration à 0.5%



## Validation des modèles

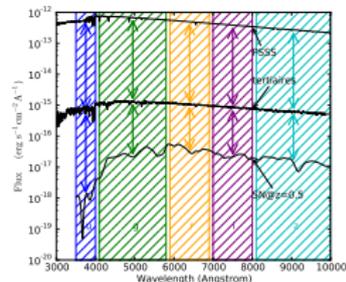
- ▶ Tester comportement sur des simulations



# Calibration photométrique “traditionnelle”

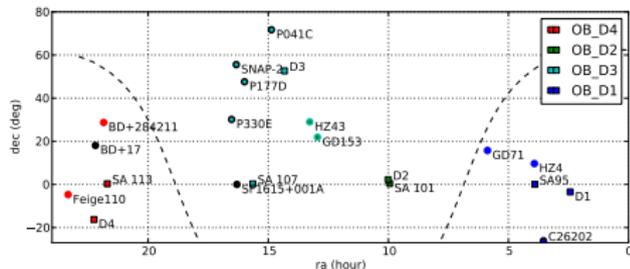
## Recette appliquée jusqu’ici en astronomie

- ▶ Uniformité assurées par l’observation de champ denses
- ▶ Échelle de flux fixée par l’observation de standards spectrophotométriques



## Pour SNLS 5: Le meilleur possible dans cette veine

- ▶ Programme dédié de calibration
- ▶ Observations directes d’étoiles standards
- ▶ Standards HST de CALSPEC



## Limitations et inconvénients majeurs

- ▶ Précision, résolution limités, propriétés des étoiles incertaines
- ▶ Consommation de temps d’observation

# Résumé des activités en cours (I)

## Calibration

- ▶ SDSS/SNLS intercalibration: JLA (Marc Betoule/John Marriner)
- ▶ Analyse du programme MAPC (Marc Betoule)
- ▶ SNDICE (Nicolas Regnault, Francesca Villa, Augustin Guyonnet...)

## Amélioration et validation de la nouvelle photométrie

- ▶ Mouvement propre des étoiles (Pierre Astier)
- ▶ Validation sur simu (Patrick El-Hage)

## Spectrométrie

- ▶ Réduction des spectres VLT (Christophe Balland)
- ▶ Évolution des SN Ia (Flora Cellier-Holzem) en lien avec SNFactory (Poster)

# Résumé des activités en cours (II)

## Modèle empiriques

- ▶ Validation des propriétés de SALTII: **JLA** (J. Guy, R. Kessler)
- ▶ Entraînement sur le lot combiné: **JLA**

## Environnement

- ▶ Étude photométrique des galaxies hôtes dans les champs SNLS (Delphine Hardin)
- ▶ Lensing gravitationnel des Supernovae (?)

## Identification photométrique (Francesca Villa)

## Calibration photométrique d'imageurs grands champs

$$350 < \lambda < 950 \text{ nm}$$

### Illumination directe du plan focal avec des LEDs

- ▶ Source de lumière très stable
- ▶ très bien caractérisée
- ▶ monitorée en temps réel

} 0.01%

### Deux démonstrateurs conçus au LPNHE

- ▶ SNDICE: collaboration LPNHE-CFHT (Hawaii)
- ▶ SkyDICE: collaboration LPNHE-SkyMapper (Australie)

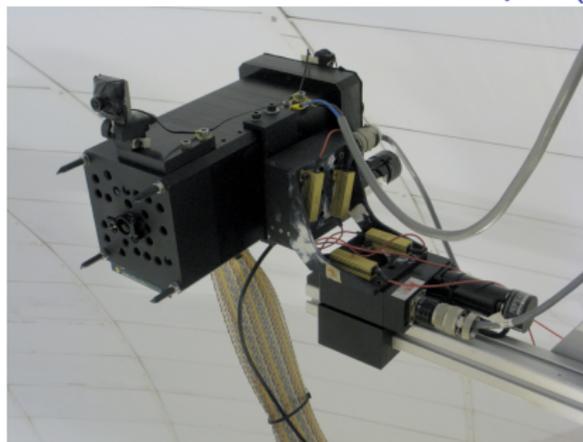
# Système d'illumination

## Tête de LED orientable

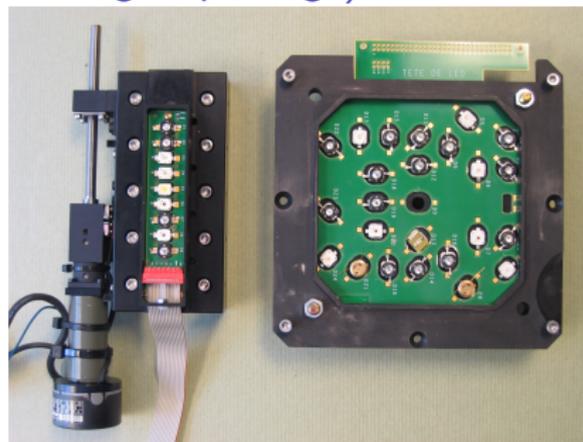
- ▶ 24 LEDs → faisceau isotrope → éclairage uniforme
- ▶ 9/1 LEDs → faisceau parallèle → alignement télescope

3 cartes front-end (LED + photodiodes de contrôle)

1 carte back-end numérique (monitoring + pilotage)



Système SNDice @ CFHT



Cartes front-end LED SkyDice

# Activité du groupe

## Activités sur banc de test

- ▶ mesure spectres LED en fonction de T (*Augustin Guyonnet*)

## Construction et calibration SkyDice

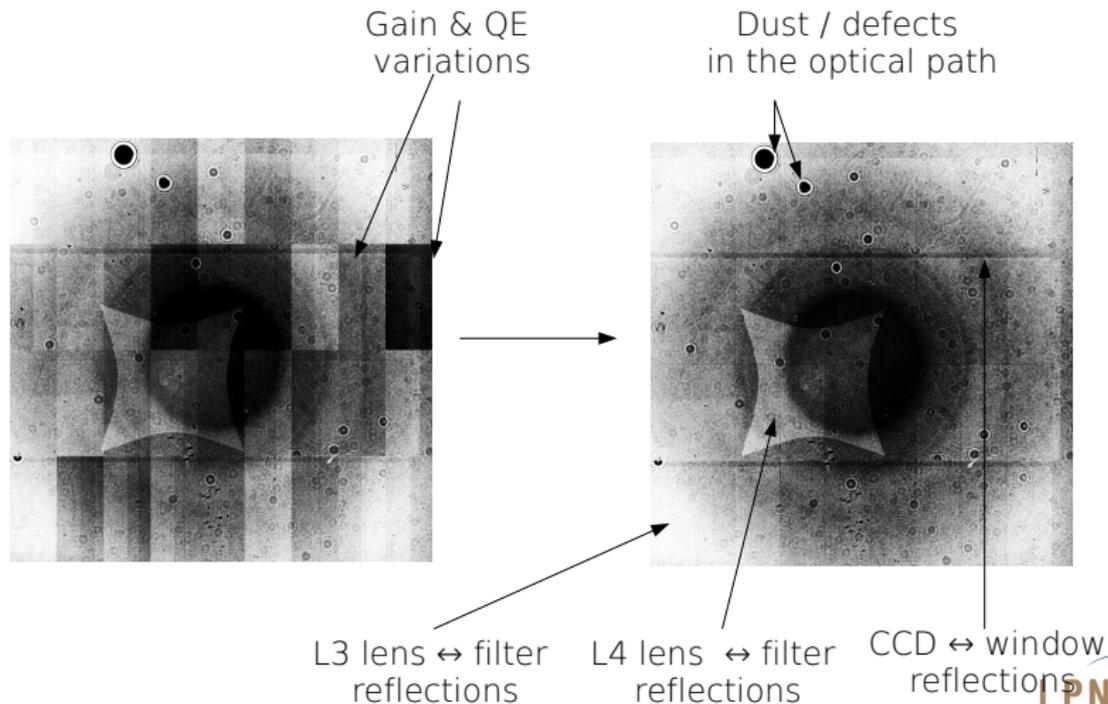
(*Pier Francesco Rocci*)

- ▶ design et construction
- ▶ calibration sur banc
- ▶ installation (debut 2012)

## Analyse des données SNDice & plan de publications

- ▶ gains électroniques linearité (*Augustin Guyonnet*)
- ▶ uniformisation réponse de l'imageur (flats) (*Francesca Villa*)
- ▶ extraction bandes passantes normalisées

# Data



# Modèle

$$\phi_{ADU}(\mathbf{x}) = \int g_{amp} \times \epsilon_{CCD} \times T(\lambda; \mathbf{x}) \times \mathcal{B}_{LED}(\lambda; \mathbf{x}) d\lambda + \text{reflections}(\mathbf{x})$$

Measured flux @  $\mathbf{x}$

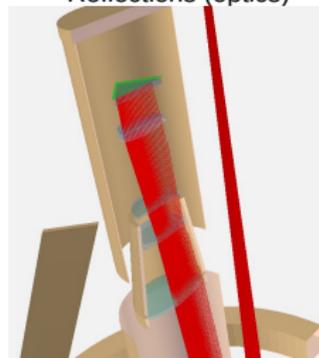
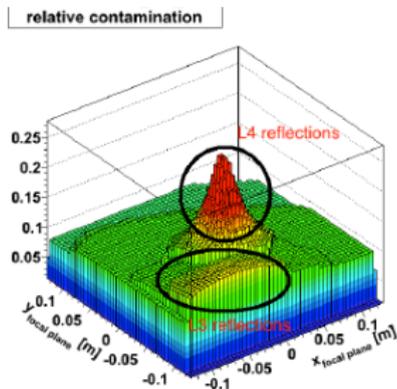
Gain

CCD QE

Optical transmission

LED beam

Reflections (optics)



HE

# Plan de publication

## 3 papiers SNLS données/méthodes

- ▶ SNLS galaxies hôtes, Hardin et al., in prep. (2011)
- ▶ SNLS-5 spectroscopie, Balland et al., in prep. (2012)
- ▶ SNLS methode photometrique

## 4/5 papiers JLA

- ▶ Calibration/Inter-calibration, Betoule et al., in prep. (2011)
- ▶ Validation du modèle, Mosher, Guy et al. (2011)
- ▶ Entraînement sur le lot combiné, Biswas et al. (2012)
- ▶ Contraintes cosmologiques

## 3 papiers SNDICE

- ▶ Caractérisation de l'instrument
- ▶ Flat-fielding d'un imageur
- ▶ Mesure des bandes passantes normalisées

# Conclusion

## Effort important pour assurer le lègue des données SNLS

- ▶ Calibration
- ▶ Entraînement SNLS+SDSS

## Dans le bon cadre international

- ▶ JLA
- ▶ DES, LSST

## Préparer l'avenir

- ▶ Implication dans les projets de 3 générations (SkyMapper)
- ▶ Méthodes innovantes de calibration
- ▶ Amélioration des modèles (JLA, SNFactory ...)
- ▶ Identification photométrique