

PHOTOMETRIE DE PRECISION AVEC L'IMAGEUR GRAND CHAMP MegaCam

Francesca Villa

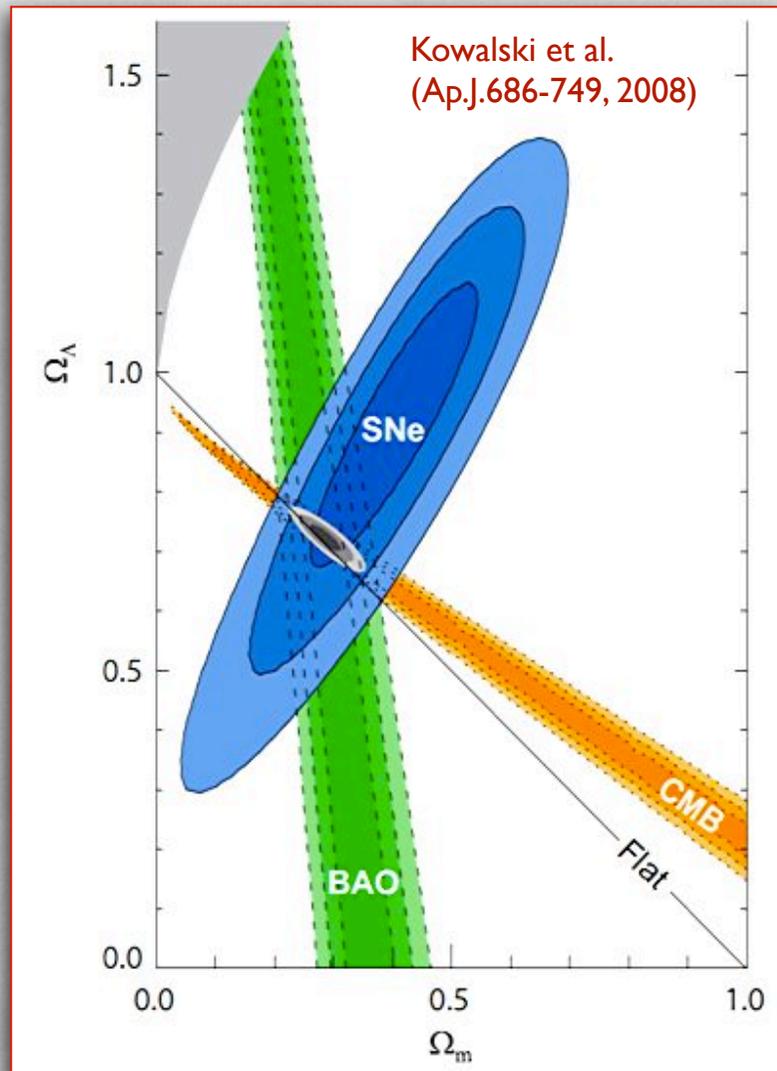
Laboratoire LPNHE - Paris

Directeur de thèse: Nicolas Regnault

PLAN DE LA PRÉSENTATION

- Le “Modèle de Concordance”
- Les mesures cosmologiques à l’aide des SNe Ia
- Calibration instrumentale
- Recherche des SNe Ia proches
- Conclusions et perspectives

LE “MODELE DE CONCORDANCE”



- Univers homogène et isotrope FLRW
- Courbure spatiale nulle (CMB)
- Expansion accélérée par un fluide inconnu (SNe Ia: Riess et al., 1998; Perlmutter et al., 1999)

MESURES COSMOLOGIQUE ET CHANDELLES STANDARDS

- Observables: flux apparent et décalage vers le rouge

$$z = \frac{\lambda_{obs} - \lambda_{em}}{\lambda_{em}}$$

- La distance de luminosité est définie par:

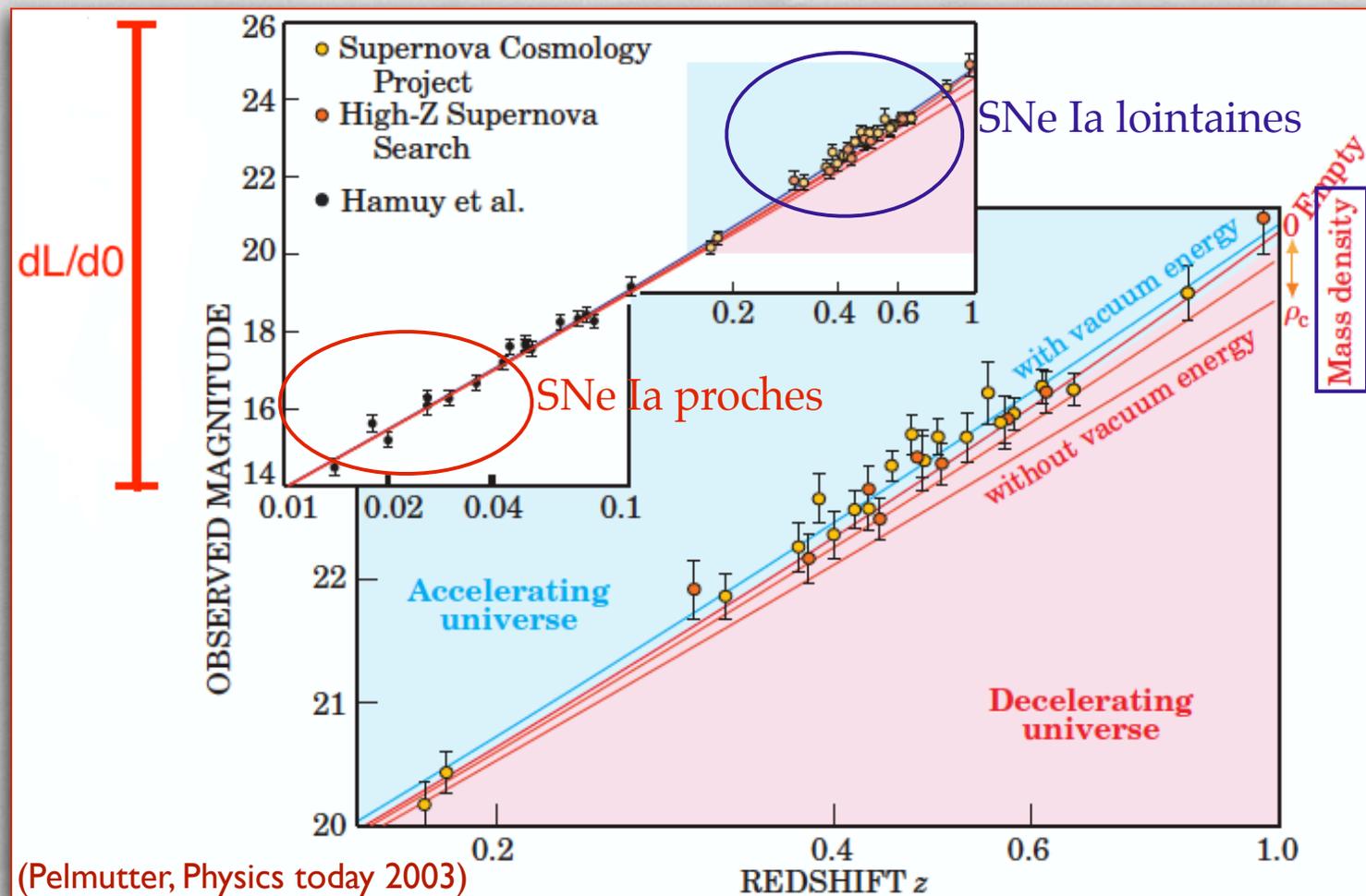
$$d_L^2 = \frac{\mathcal{L}}{4\pi\Phi}$$

- Elle dépend des paramètres cosmologiques:

$$d_L(z) = \frac{1+z}{H_0} \int_0^z \left[\Omega_M (1+z')^3 + \Omega_x \exp\left(3 \int_0^z \frac{1+w(z')}{1+z'}\right) \right]^{-1/2} dz'$$

MESURES COSMOLOGIQUE ET CHANDELLES STANDARDS

DIAGRAMME DE HUBBLE



LES SUPERNOVAE Ia

- très lumineuses: $\sim 10^{10} L_{\odot}$ et $E \sim 10^{44} \text{ J}$
- $\sigma_{L_{\max}} \sim 40\%$
 $\sigma_{L_{\max}} \sim 15\%$ après standardisation

→ Classe homogène



SN 1994D, une supernova de type Ia dans la galaxie NGC 4526



- Système binaire
naine blanche + compagnon
- Explosion thermonucléaire de
la naine à $M_{\text{ch}} \cong 1.4 M_{\odot}$

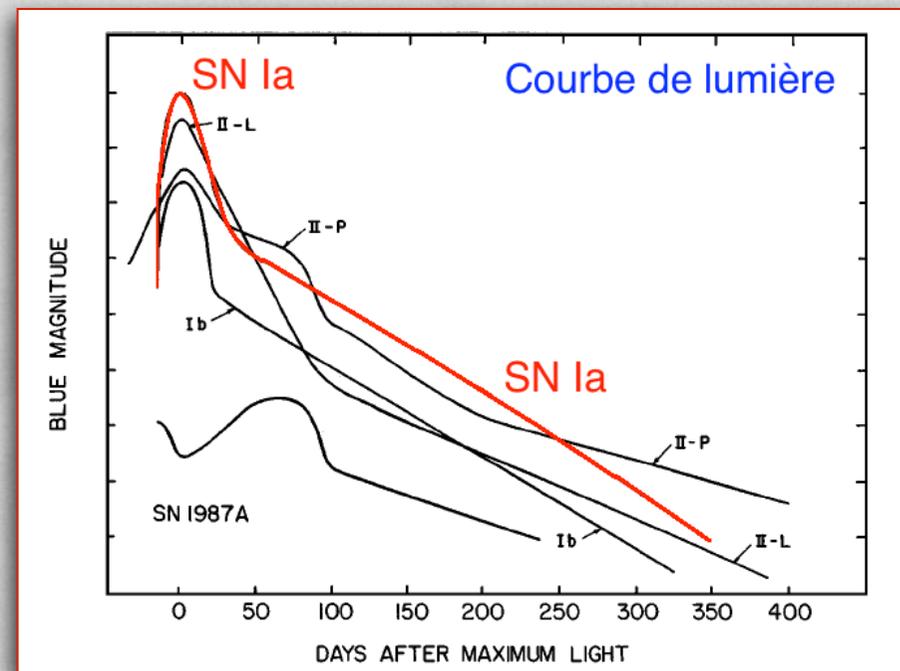
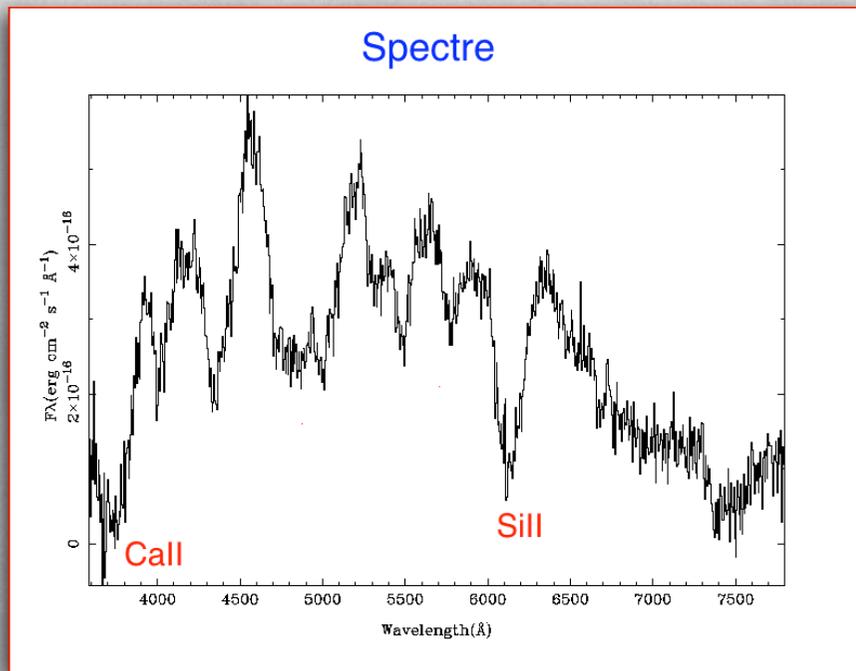
LES SUPERNOVAE Ia

Classification spectrale

- No H, raies d'absorption profondes: SiII, CaII
- Composition chimique et vitesses des éjecta

Classification photométrique

- Plus lumineuses
- Courbes de lumière caractéristiques



MESURE DES DISTANCE AVEC LES SUPERNOVAE Ia

ESTIMATEUR DE DISTANCE

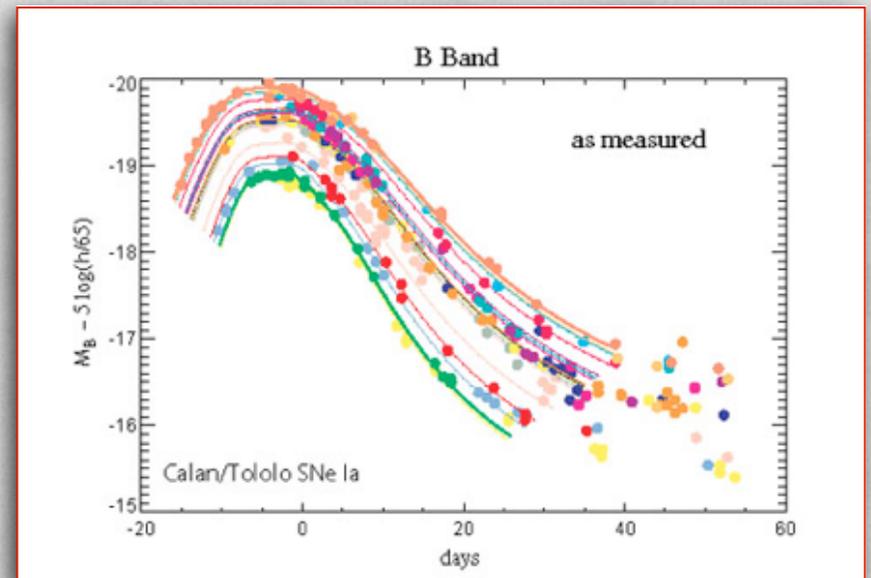
$$-5 \text{Log}_{10} \left(\frac{d_0}{d_L} \right) = m^* - M^* + \alpha(s - 1) - \beta c$$

paramètres photométriques corrélés avec la luminosité :

S “stretch” et C couleur

magnitude apparente: $m^* \propto \text{Log}_{10} \Phi$

magnitude absolue: $M^* \propto \text{Log}_{10} \mathcal{L}$

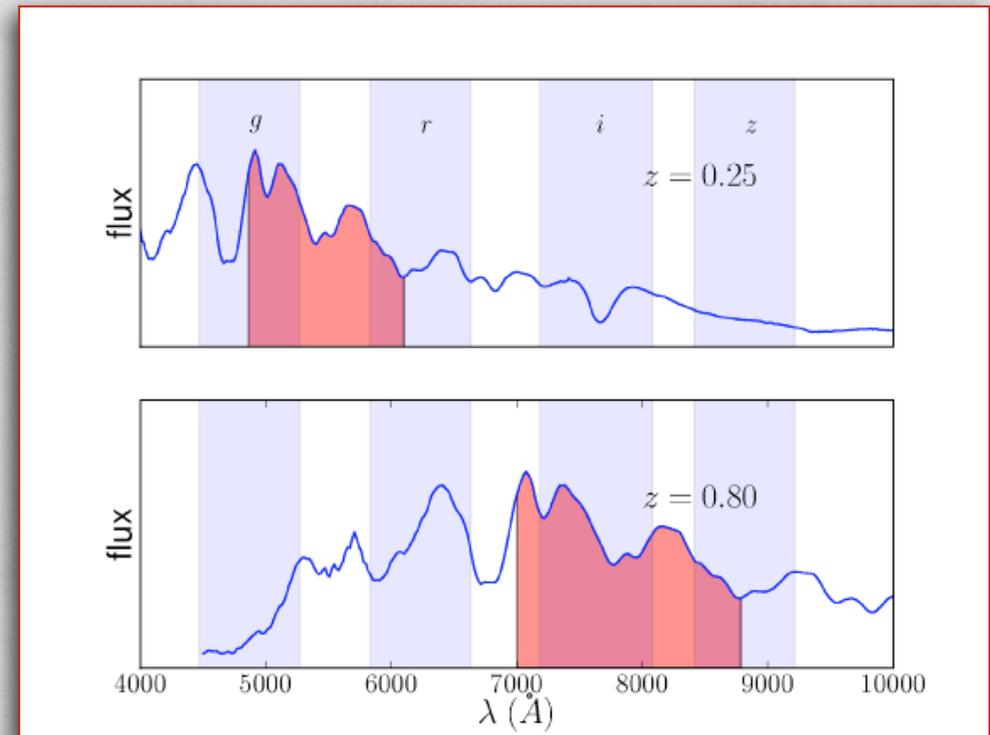


COMMENT EST FAITE LA MESURE?

COMPARAISON DES FLUX:

$$\frac{\Phi(z_1, T_{rest})}{\Phi(z_2, T_{rest})} = \left(\frac{d_L(z_2)}{d_L(z_1)} \right)^2$$

- dans la même gamme de longueurs d'onde restframe
- dans le même intervalle temporel après l'explosion



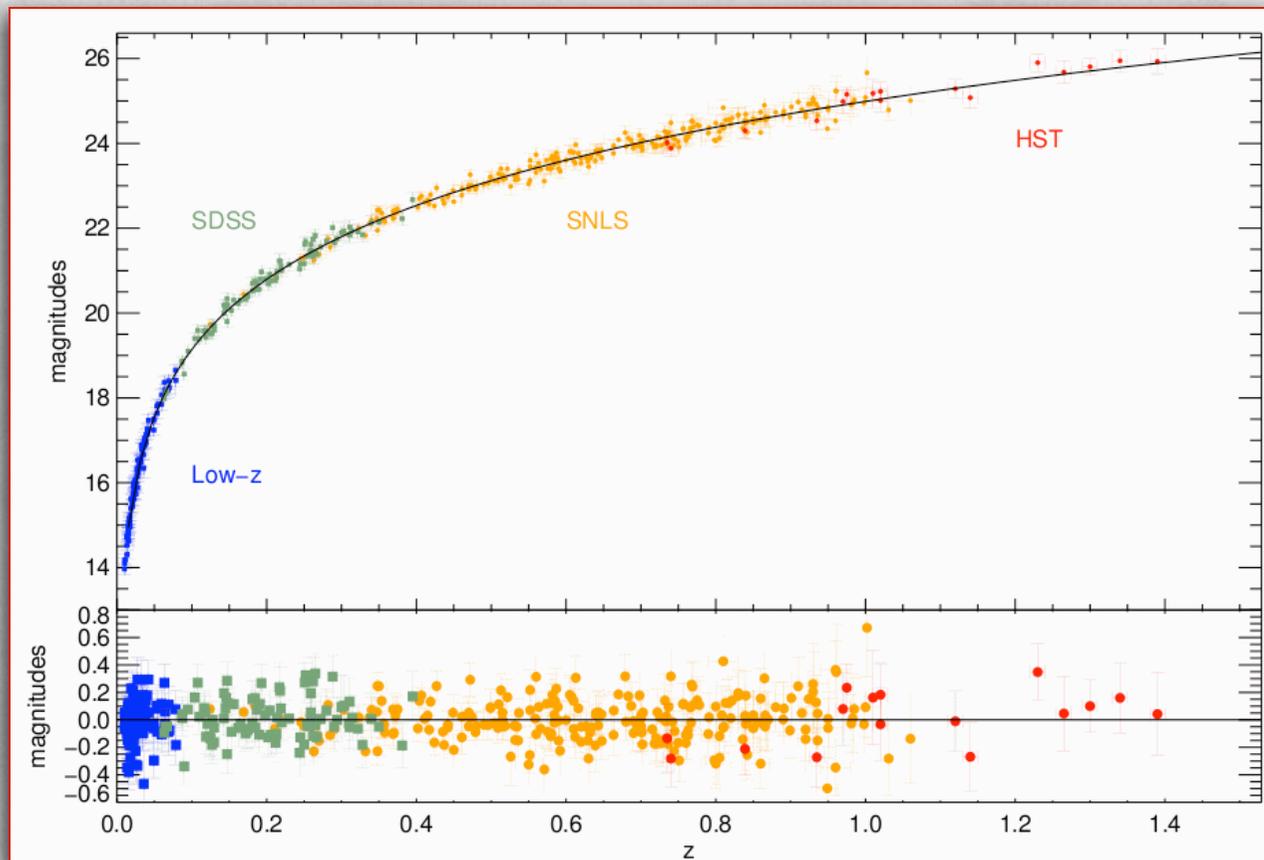
- Modèle spectral pour interpoler les données à z différents
- Intercalibration des bandes passantes
- SNIa proches et lointaines bien mesurées

DERNIERES MESURES: SNLS-3ANS

- SNLS: 5 ans de survey 2003-2008 @ CFHT (Mauna Kea, Hawaii)
- camera MegaCam



DERNIERES MESURES: SNLS-3ANS

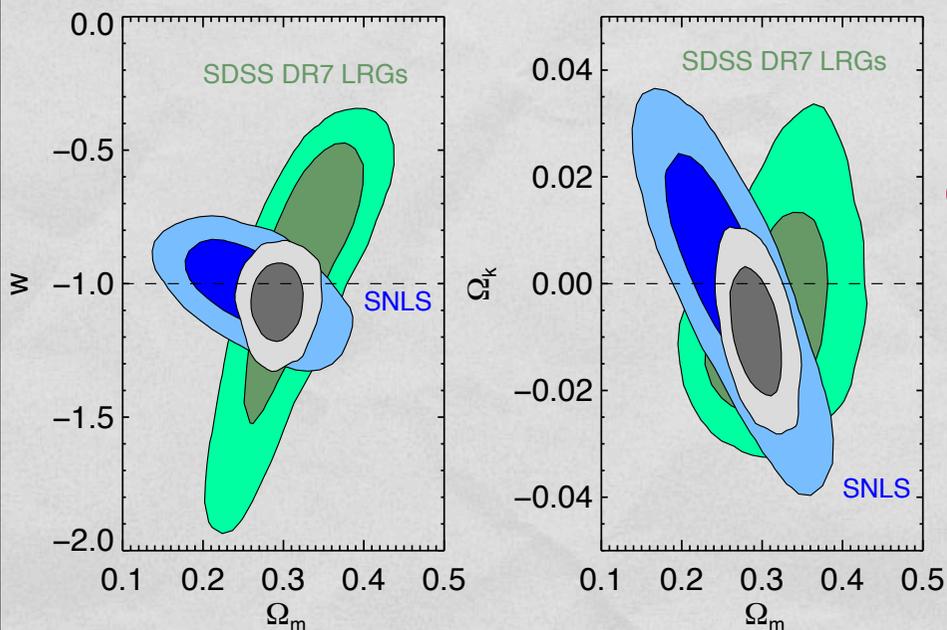


(Conley et al.; 2010)

SNe Ia	nombre
Low z	123
SDSS-7y	93
SNLS-3y	242
HST	14

DERNIERES MESURES: SNLS-3ANS

WMAP+SNLS et WMAP+SDSS



(Conley et al.; 2010)

Table 7: Identified systematic uncertainties

Description	Ω_m	w	Rel. Area ^a
Stat only	$0.19^{+0.08}_{-0.10}$	$-0.90^{+0.16}_{-0.20}$	1
All systematics	0.18 ± 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
SN model	$0.195^{+0.086}_{-0.101}$	$-0.90^{+0.16}_{-0.20}$	1.02
Peculiar velocities	$0.197^{+0.084}_{-0.100}$	$-0.91^{+0.16}_{-0.20}$	1.03
Malmquist bias	$0.198^{+0.084}_{-0.100}$	$-0.91^{+0.16}_{-0.20}$	1.07
non-Ia contamination	$0.19^{+0.08}_{-0.10}$	$-0.90^{+0.16}_{-0.20}$	1
MW extinction correction	$0.196^{+0.084}_{-0.100}$	$-0.90^{+0.16}_{-0.20}$	1.05
SN evolution	$0.185^{+0.088}_{-0.099}$	$-0.88^{+0.15}_{-0.20}$	1.02
Host relation	$0.198^{+0.085}_{-0.102}$	$-0.91^{+0.16}_{-0.21}$	1.08

COMMENT REDUIRE LA CONTRIBUTION DE LA CALIBRATION?

- Faible qualité des données des SNe la proches utilisées actuellement
- Système de filtres très différent: difficulté d'intercalibration

NOUVEAU LOT DE DONNEES DES SNe PROCHEES

- Incertitudes liées à la calibration photométrique

ETUDE DE LA CALIBRATION INSTRUMENTALE

TRAITEMENT D'IMAGES

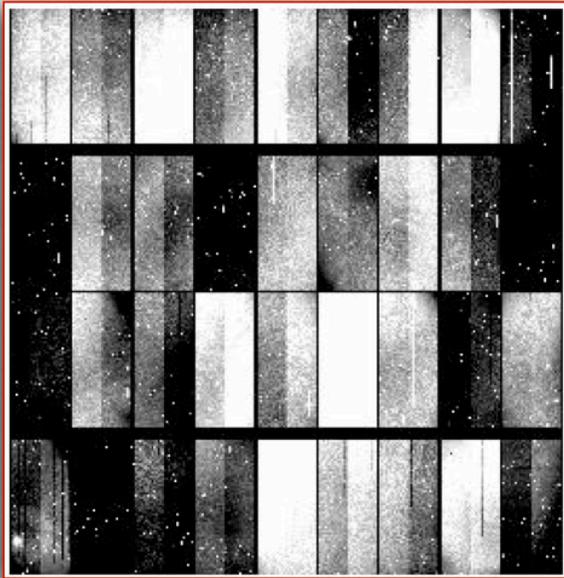
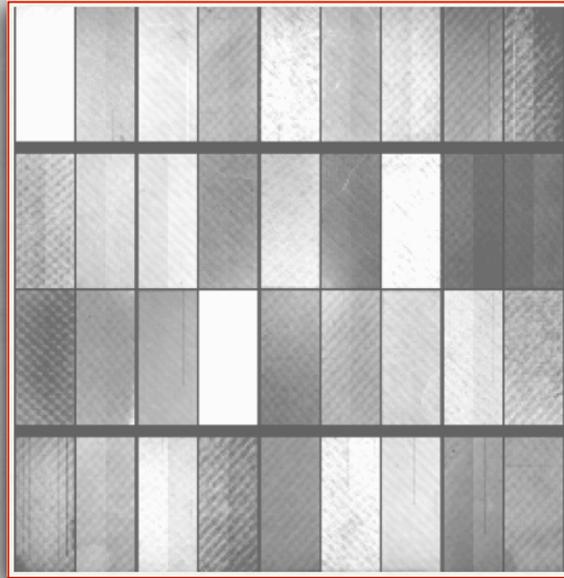


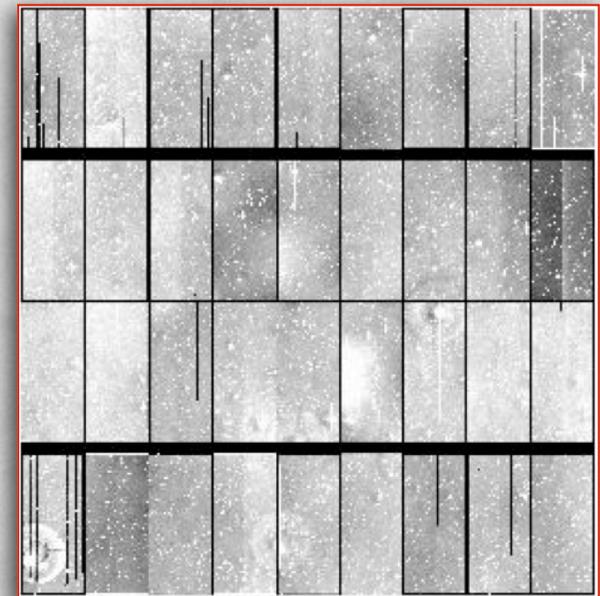
Image brute



Flat field

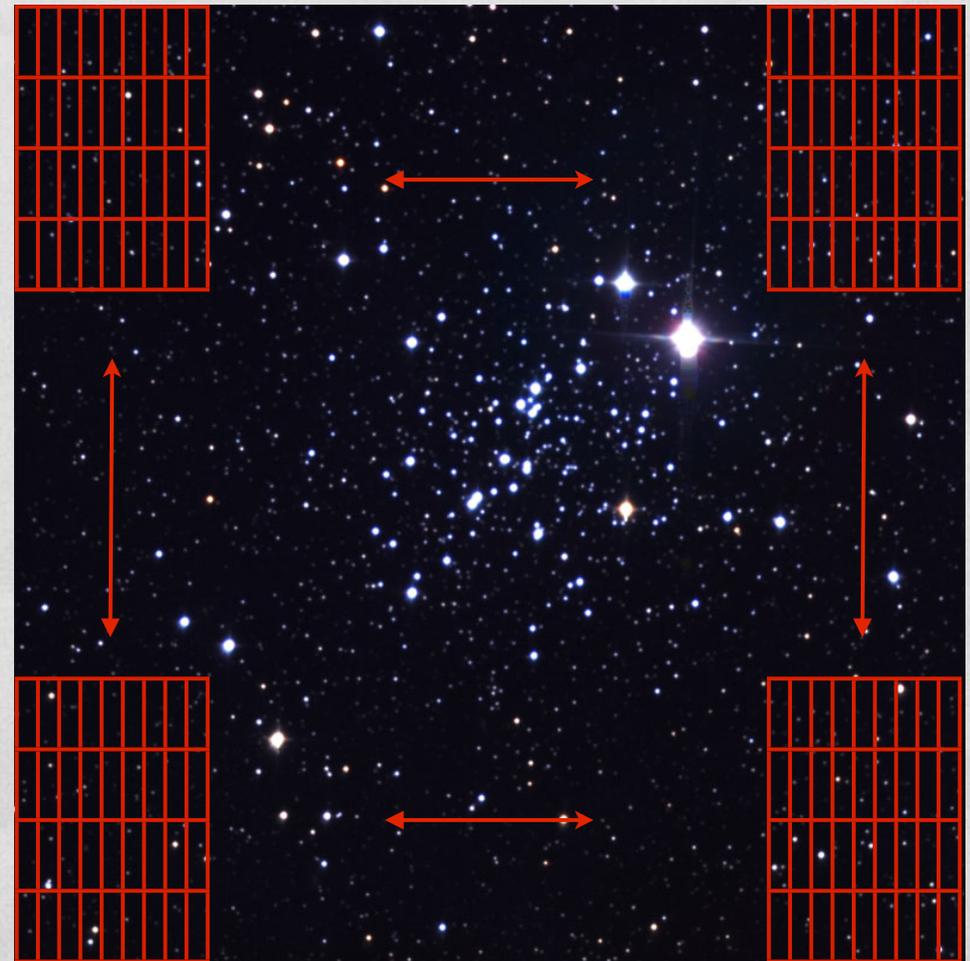
“flat fields” : images d'éclairage uniformes sans étoiles pour uniformiser la réponse des CCDs (efficacité quantique)

$$I_{science} = \frac{I_{ciel} - B_{el}}{\text{flat field}}$$

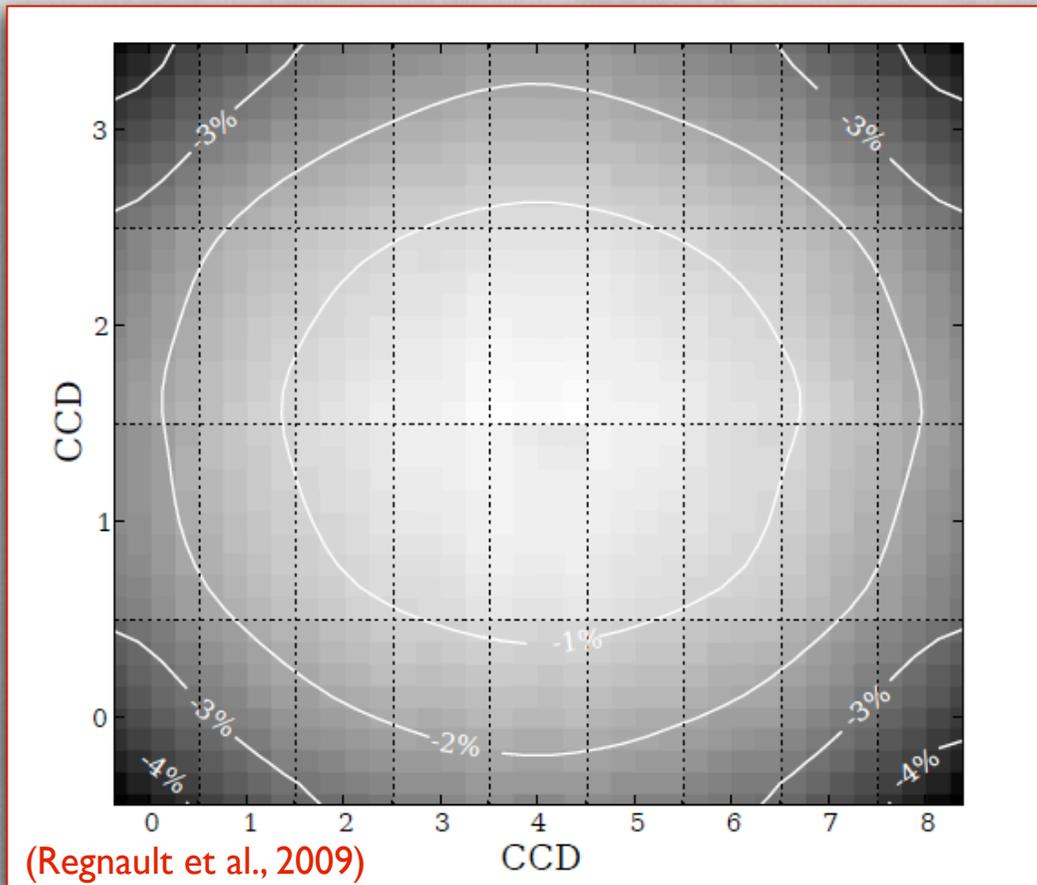


LA CALIBRATION PHOTOMÉTRIQUE

- Images à basse latitudes galactique de champs denses d'étoiles
- Les mêmes étoiles observées par différentes parties de la camera
- Contrôle de la réponse photométrique de MegaCam



LA CALIBRATION PHOTOMETRIQUE



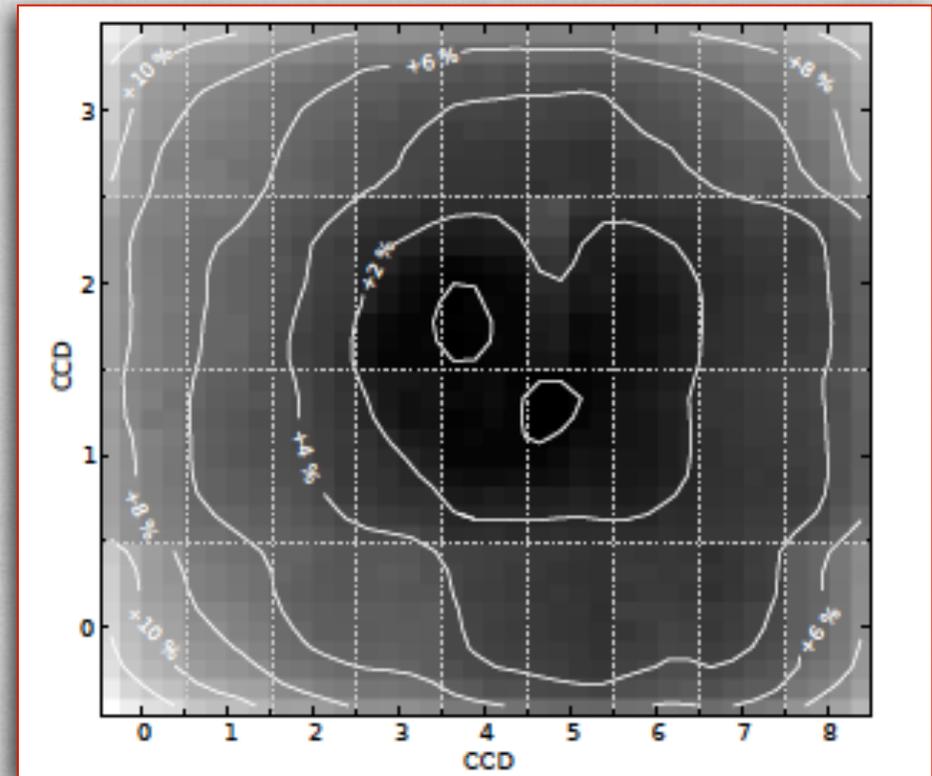
- Le seul effet résidu devrait être la taille apparente des pixels

Variation centre-bords 4%

RÉSULTAT DE LA CALIBRATION PHOTOMETRIQUE

- Etude des non-uniformités des images de MegaCam
- Détermination de la contribution des réflexions internes et du ratio:

$$R = \frac{\phi_M}{\phi_{abs}} = \frac{\phi_D + \phi_R}{\phi_{abs}}$$

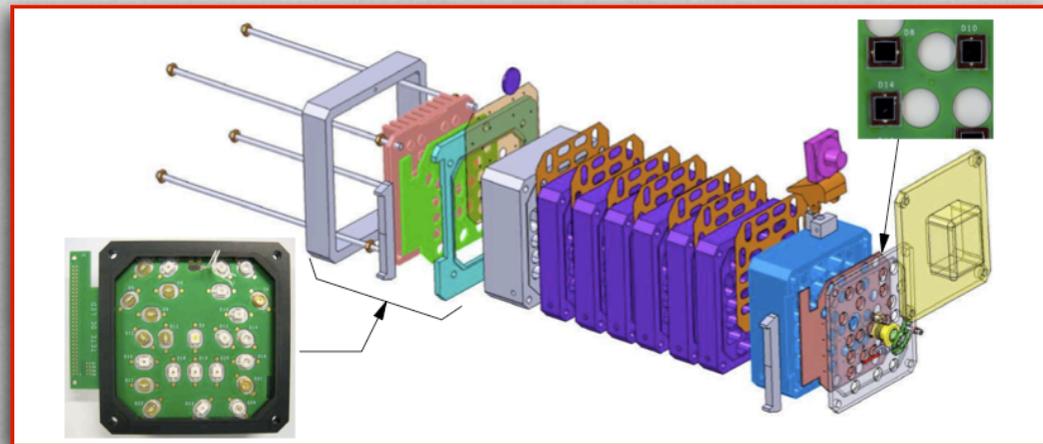


(Regnault et al., 2009): Carte des non-uniformités photométriques de la camera MegaCam avec le filtre z

Variation centre-bords 10%

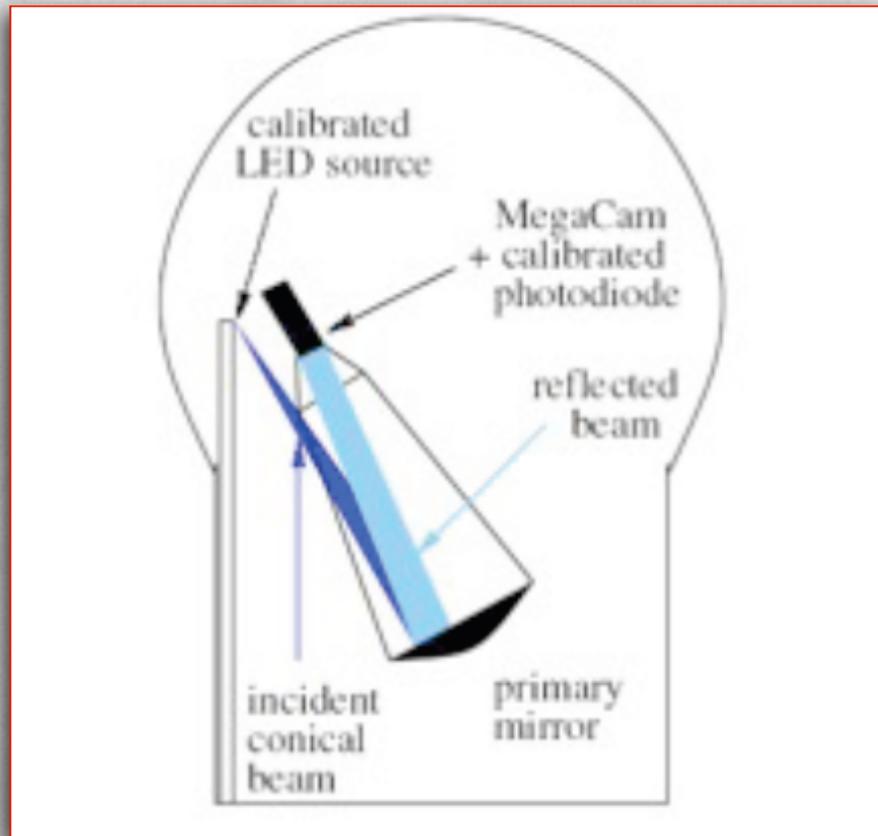
CALIBRATION INSTRUMENTALE AVEC SNDICE

- Référence absolue pour les mesures de flux
- Suivi de la camera et caractérisation de l'optique du télescope
- Optimisation du traitement des images



24 LEDs, spectre de IR à UV
une LED avec un faisceau collimaté

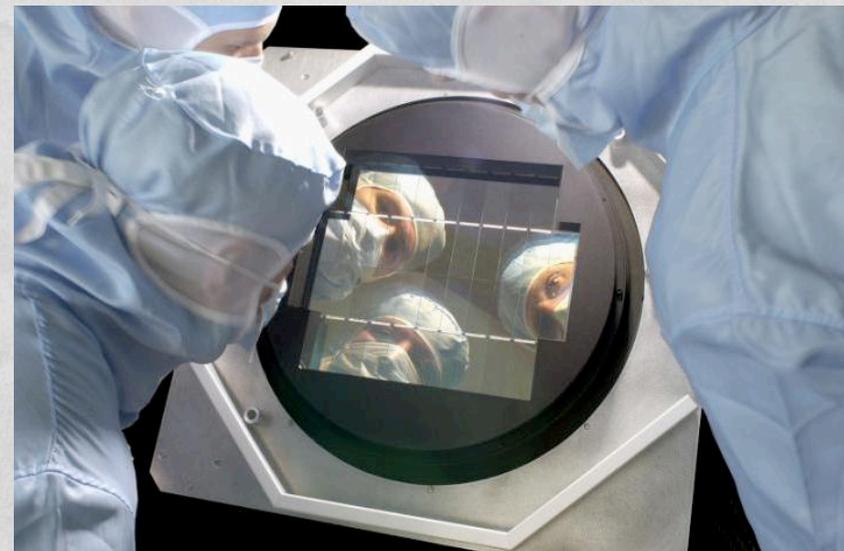
PROTOTYPE SNDICE @ CFHT



Optique:

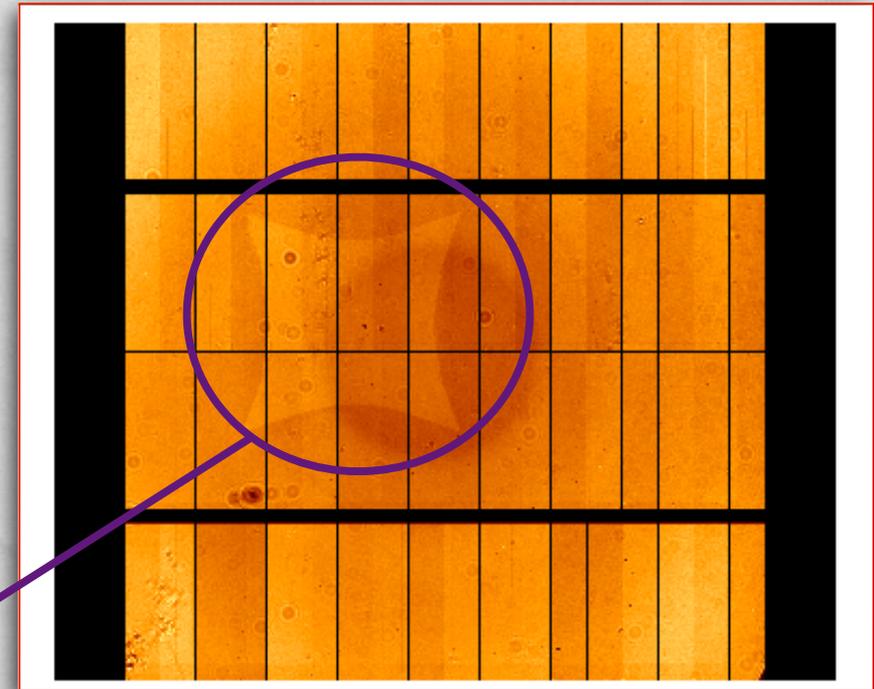
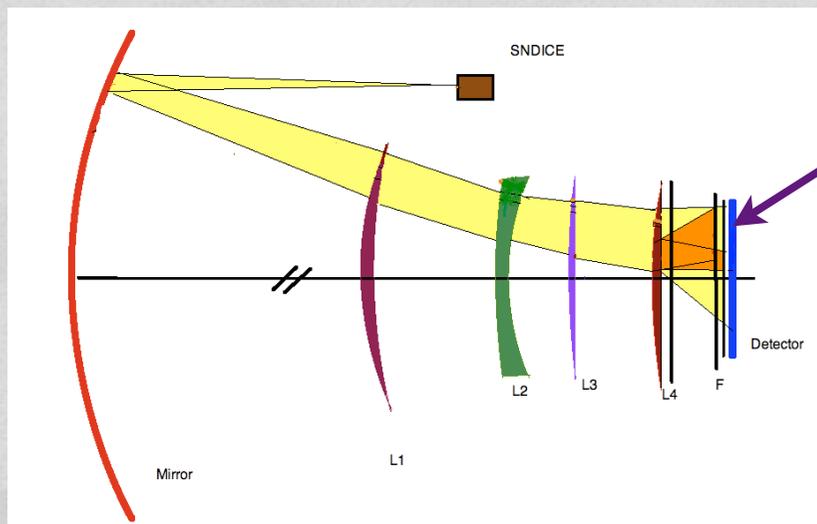
- correcteur grand champ avec 4 lentilles
- juke-box avec 6 filtres

MegaCam: 36 CCDs de 2048×4612 pixels couvrent 1 deg^2



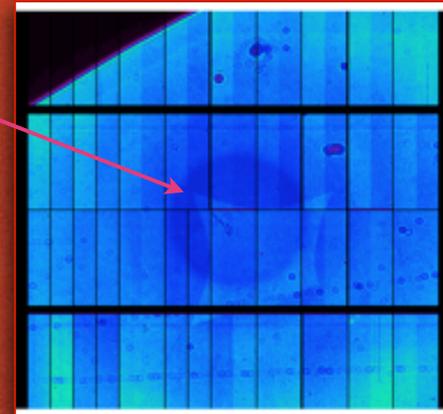
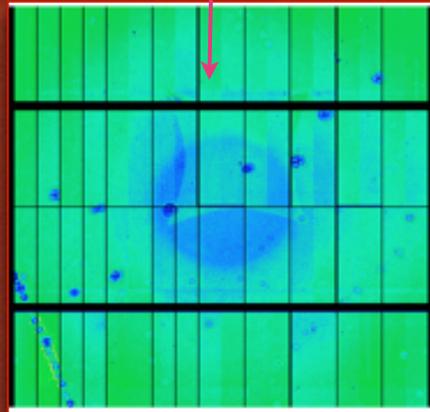
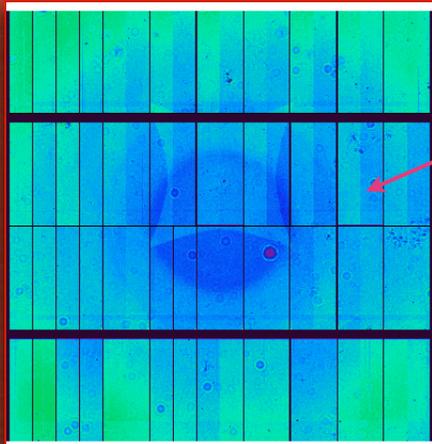
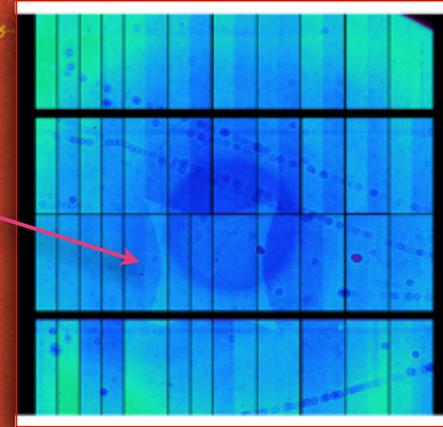
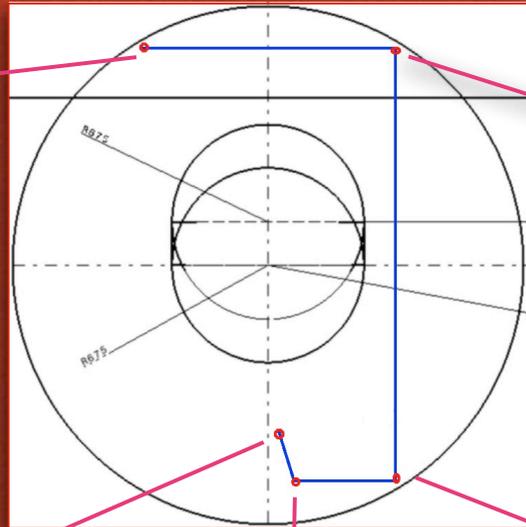
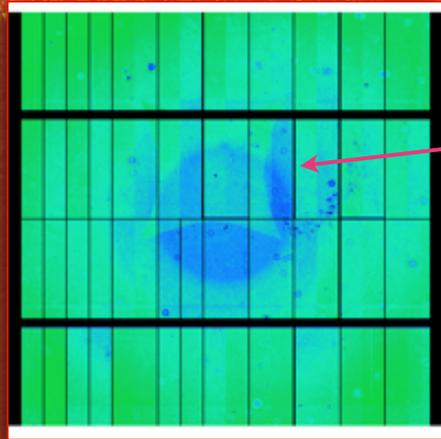
ECLAIREMENT UNIFORME AVEC SNDICE

- Eclairage avec une LED d'une partie du miroir
- Mise en évidence d'une tache de réflexion



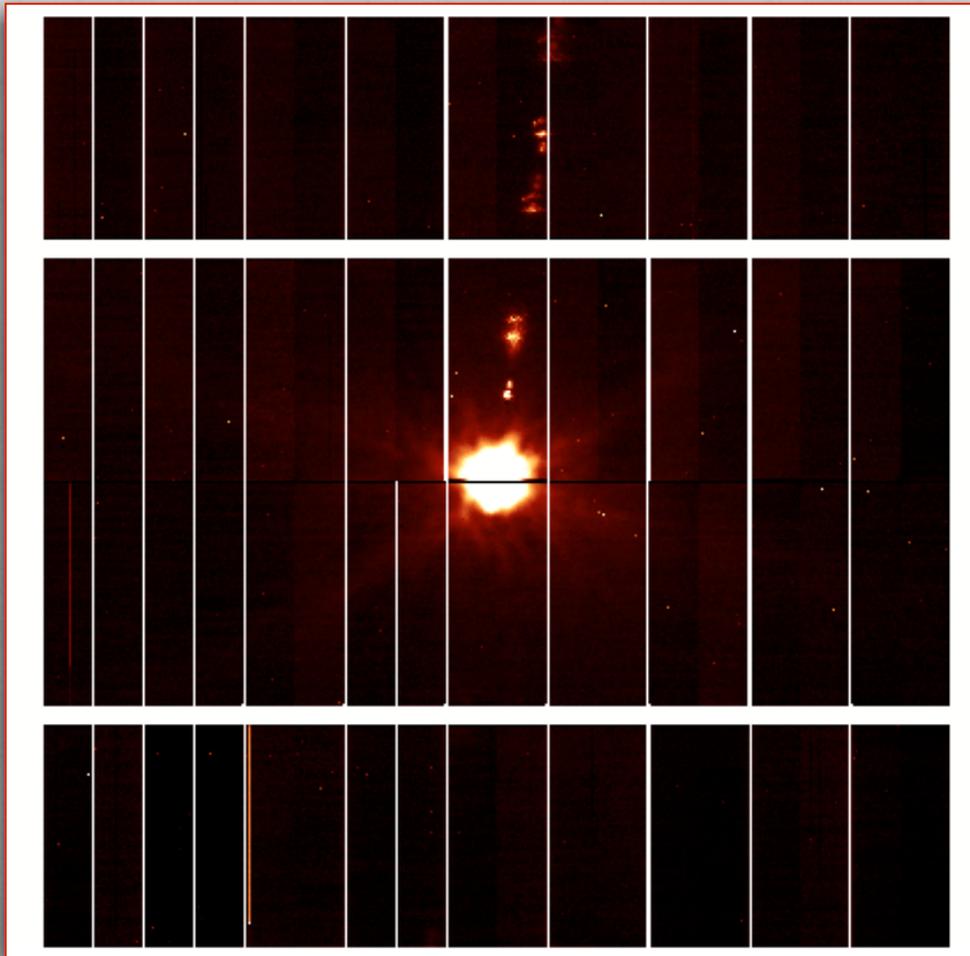
Réflexion entre le filtre et la
première surface de la lentille
L4

ECLAIREMENT UNIFORME AVEC SNDICE



LED GD4 qu'éclaire le miroir de MegaCam en 5 positions avec filtre r

IMAGES DE “PLANETE ARTIFICIELLE”



- Alignement des axes optique
 - Image prise avec la LED collimaté
- Informations sur la géométrie du système SNDice-MegaCam et sur les réflexions internes

SUJET TECHNIQUE

- Contrôle de l'uniformité photométrique de la réponse de l'imageur
- Etudes et maîtrise des effets des réflexions internes à l'optique de l'imageur
- Production d'images d'éclairement uniforme à utiliser pour la calibration instrumentale
- Etude de la photométrie de la camera MegaCam

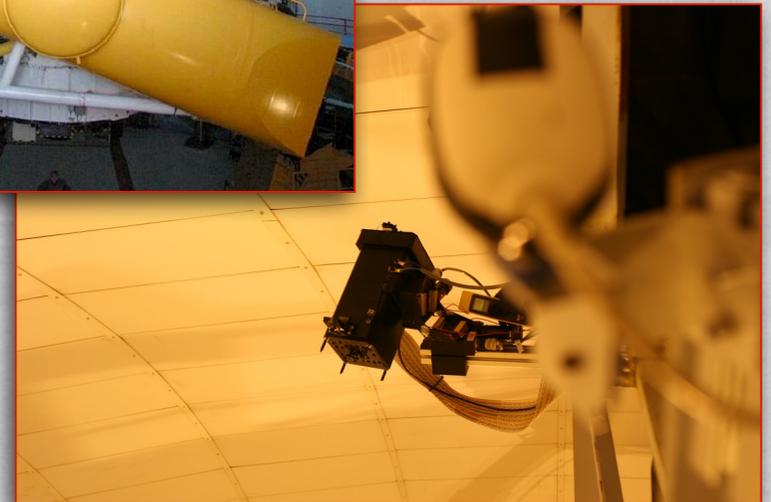
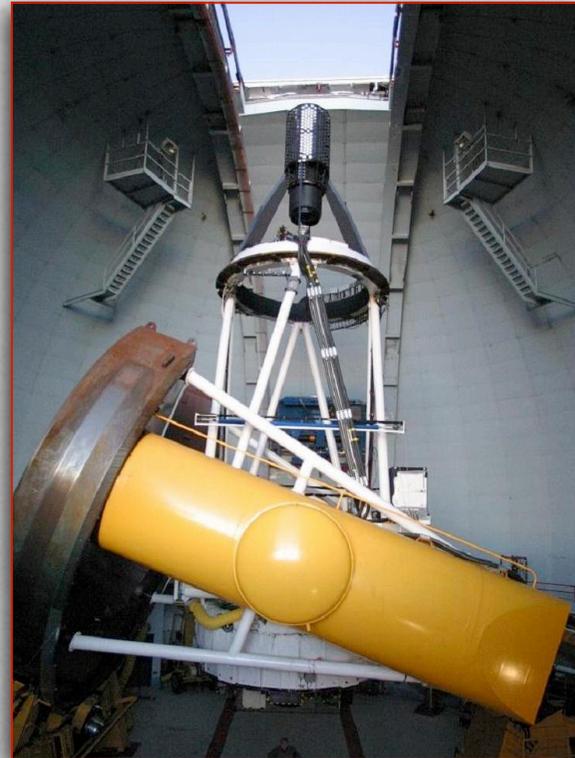
CALIBRATION ABSOLUE DE LA CAMERA

SIMULATION SU SYSTÈME SNDICE-MEGACAM

Reconstruction de l'optique
du télescope et des positions
relatives de SNDice et
MegaCam à partir des
« headers » des image

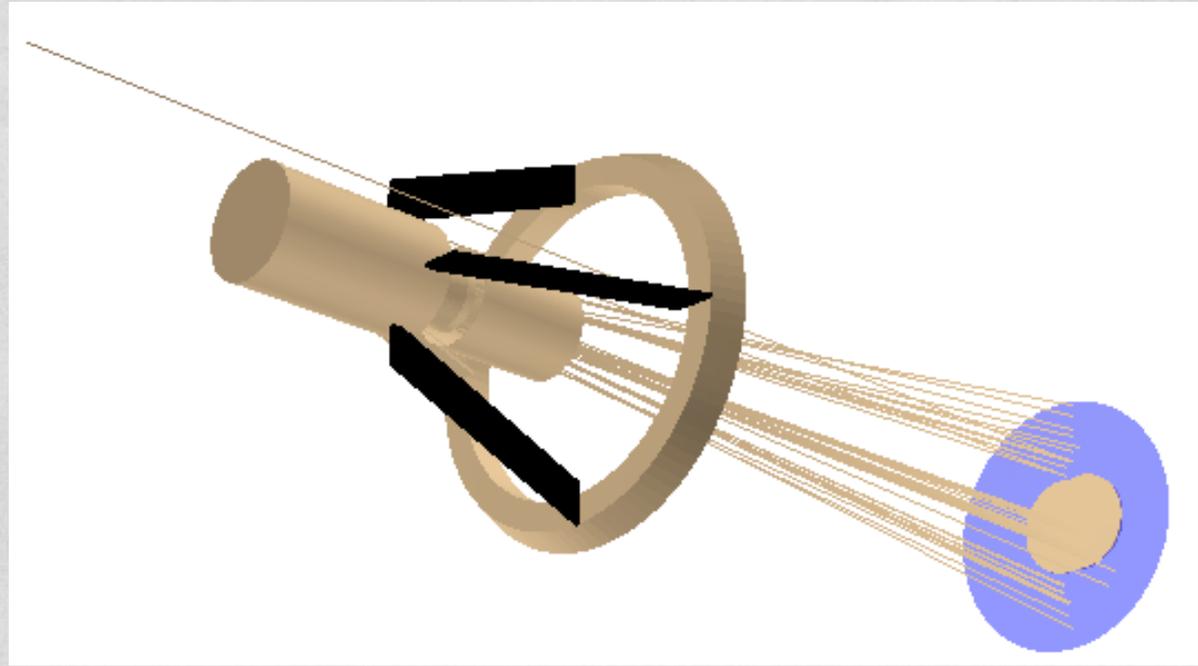
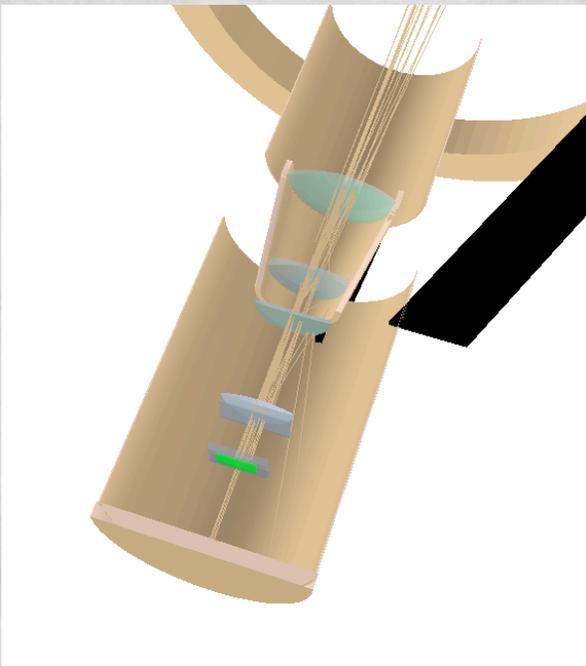


connaître la position initiale de
SNDice dans le dôme et les
axes des rotations du système



SOFTWARE RAY-TRACING

Etude de la géométrie du système + software de ray-tracing écrit en ROOT:

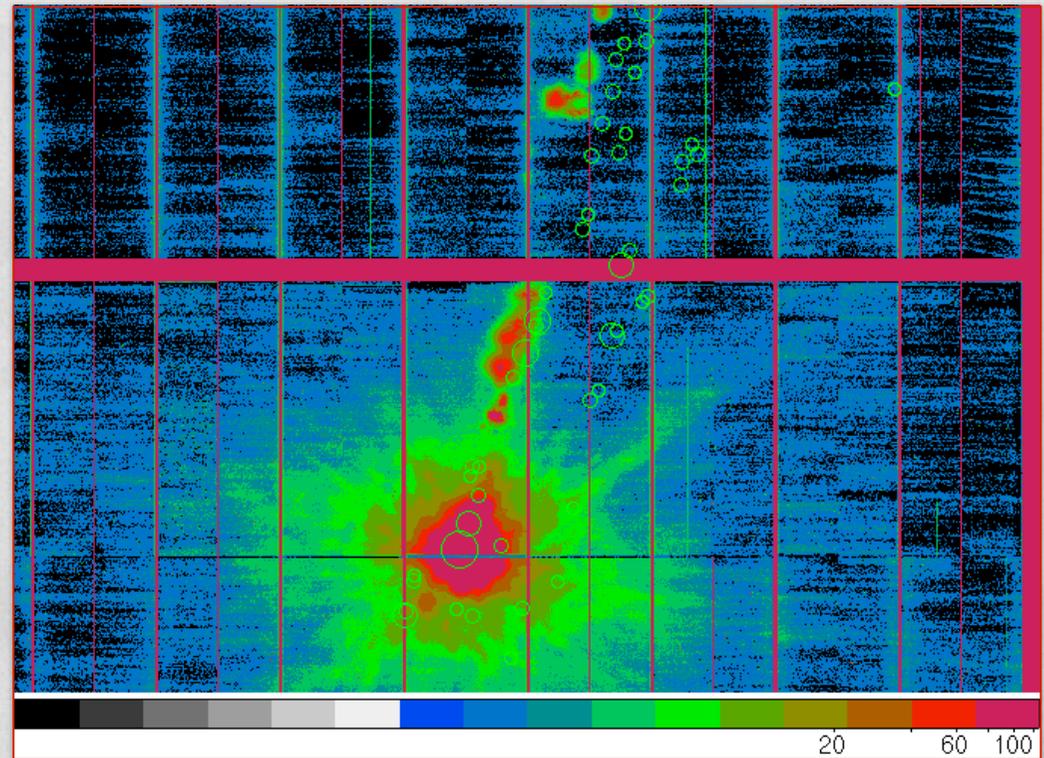
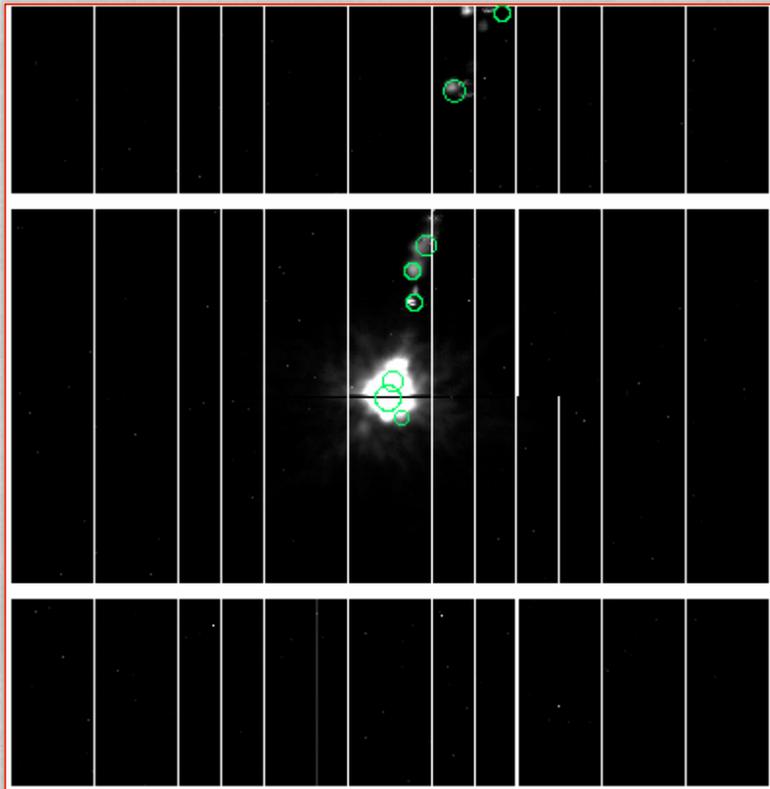


SOFTWARE RAY-TRACING

Etude de la géométrie du système + software de ray-tracing écrit en ROOT:

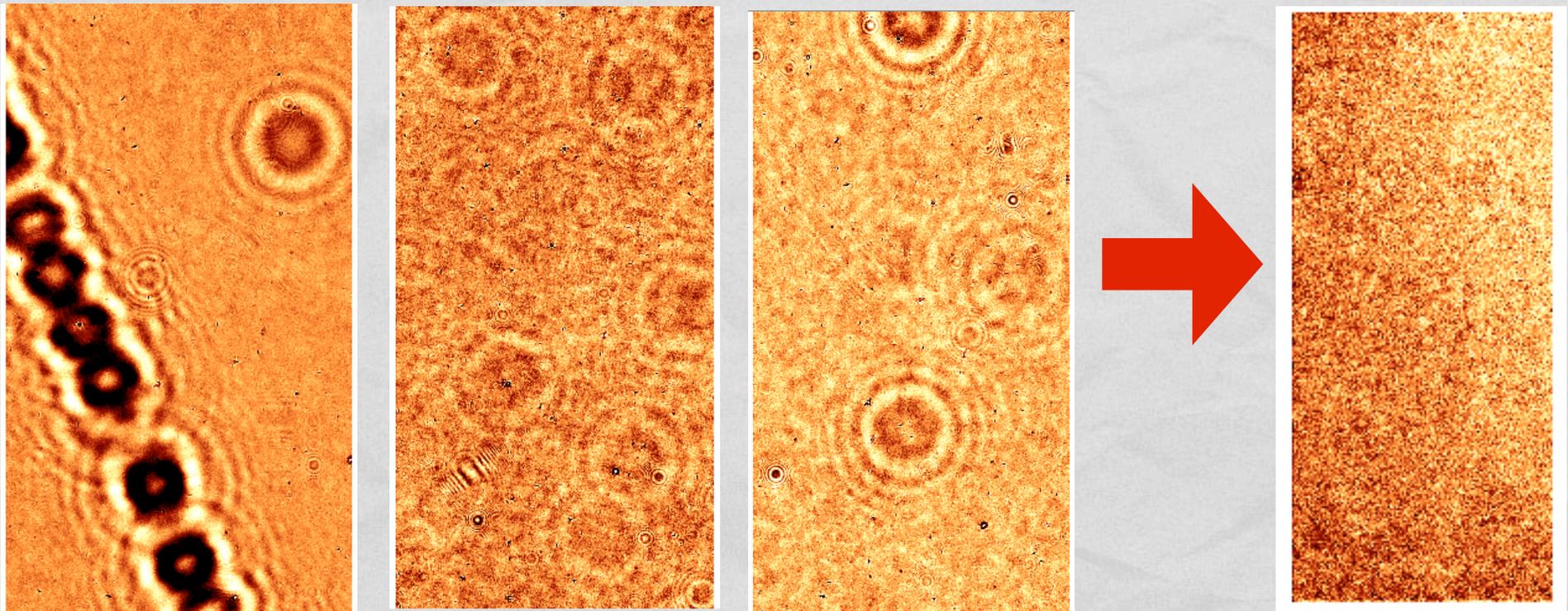
- simuler les mouvement de SNDice dans le dôme (utile pendant les prises de données)
- reproduire des images
- connaître l'origine des réflexions

REPRODUCTION D'UNE IMAGE



PHOTOMETRIE AVEC IMAGES SNDICE

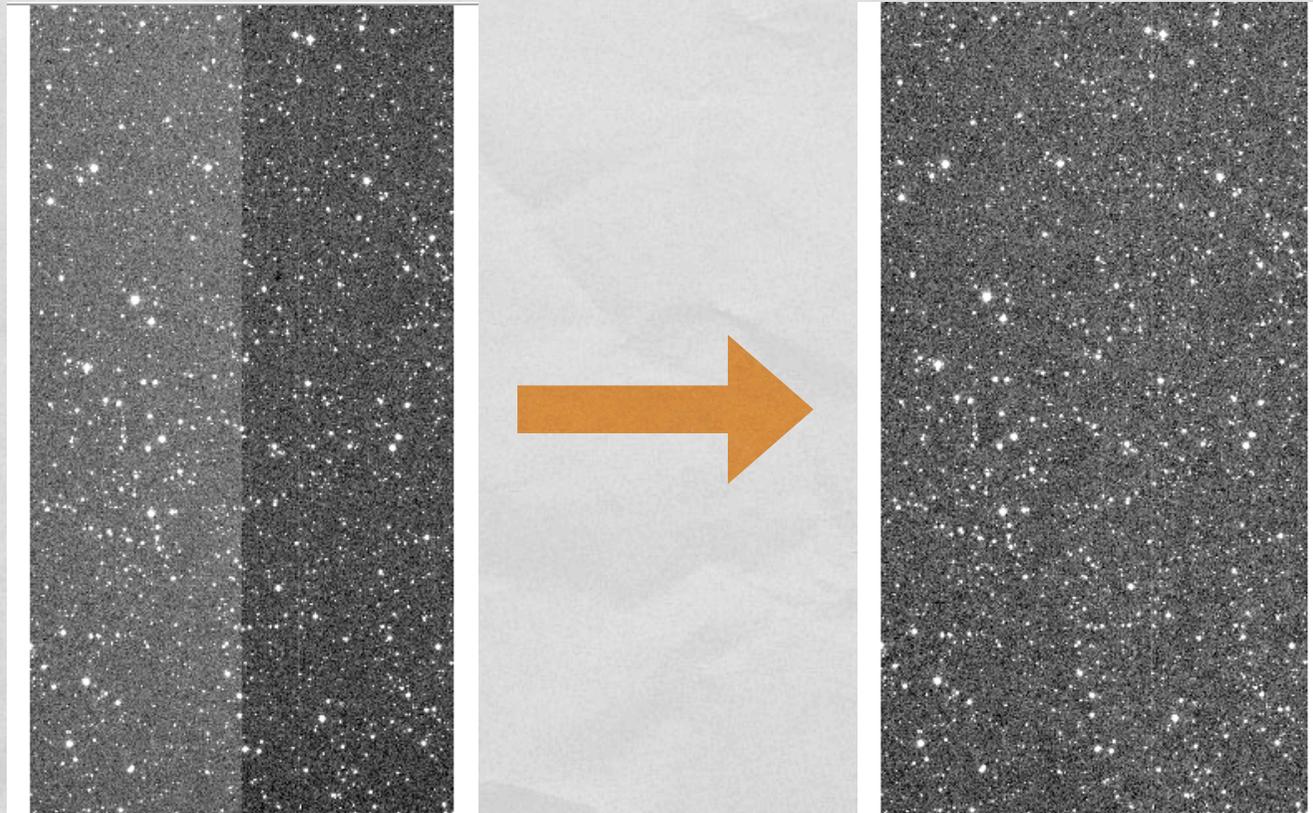
- Pour chaque LED on construit un image “médiane” des toutes les éclairagements à position différentes



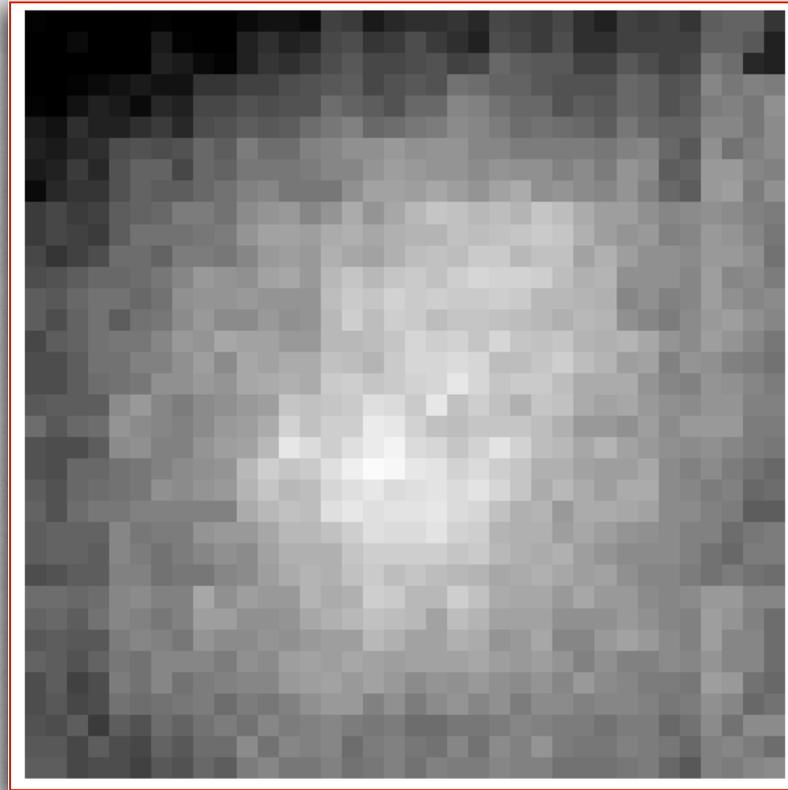
Suppression des effets dus aux poussières sur les éléments
d'optiques et des réflexions

PHOTOMETRIE AVEC IMAGES SNDICE

- Division des images des champs d'étoiles par les "flat fields" obtenus des images SNDice



SUITE DE L'ANALYSE



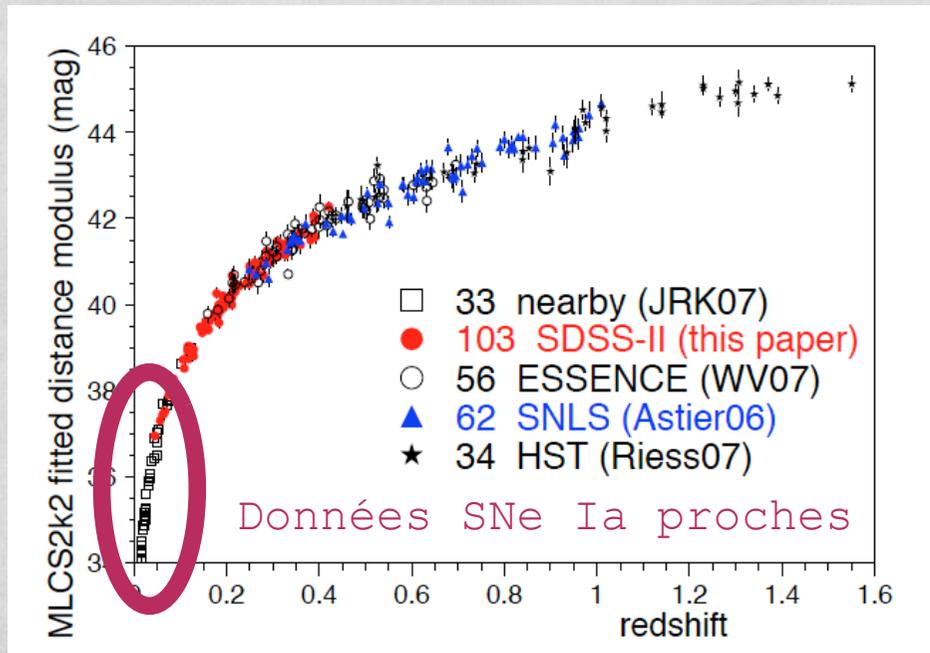
→ Obtenir une carte des non-uniformités photométriques avec un filtre MegaCam appliquer aux flux mesurés par la camera

SUJET SCIENTIFIQUE

RECHERCHE DES SNe Ia PROCHES

- Améliorer l'intercalibration des bandes passantes
- Augmenter le “bras de levier” en z

RECHERCHE DES SNE PROCHES

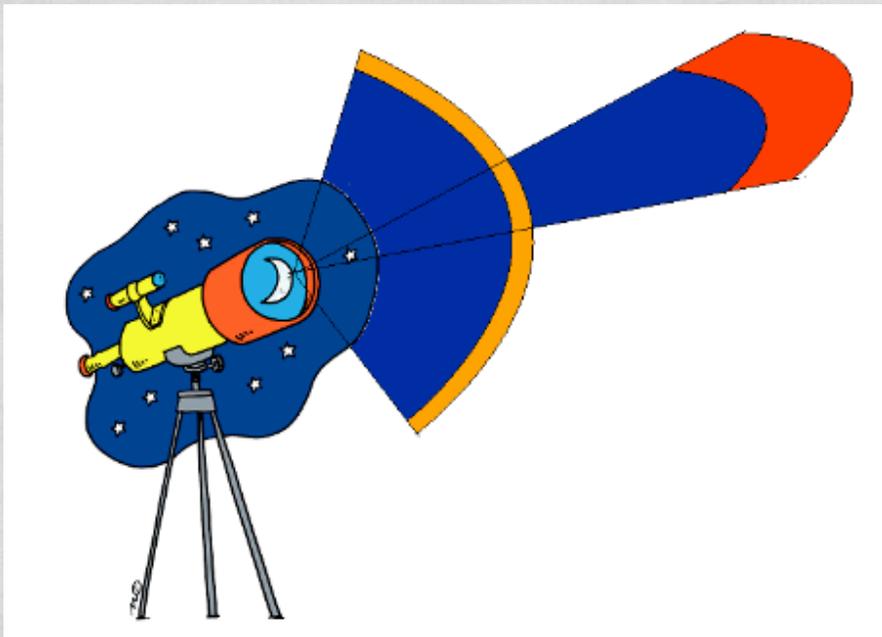


(Kessler et al., 2009) : Diagramme de Hubble

SUJET SCIENTIFIQUE

- Mise au point de la recherche des SNe Ia à $z < 0.1$ avec l'expérience SkyMapper

RECHERCHE DES SNE PROCHES



SUJET SCIENTIFIQUE

- Mise au point de la recherche des SNe Ia à $z < 0.1$ avec l'expérience SkyMapper

SUJET SCIENTIFIQUE: SKY MAPPER

- Grand lot homogène de SNe la proches (~ 150 SNe la par an de survey)
- Système de filtres similaire à SNLS



**DONNEES A COMPARER
ET INTEGRER AUX
DONNEES SNLS**



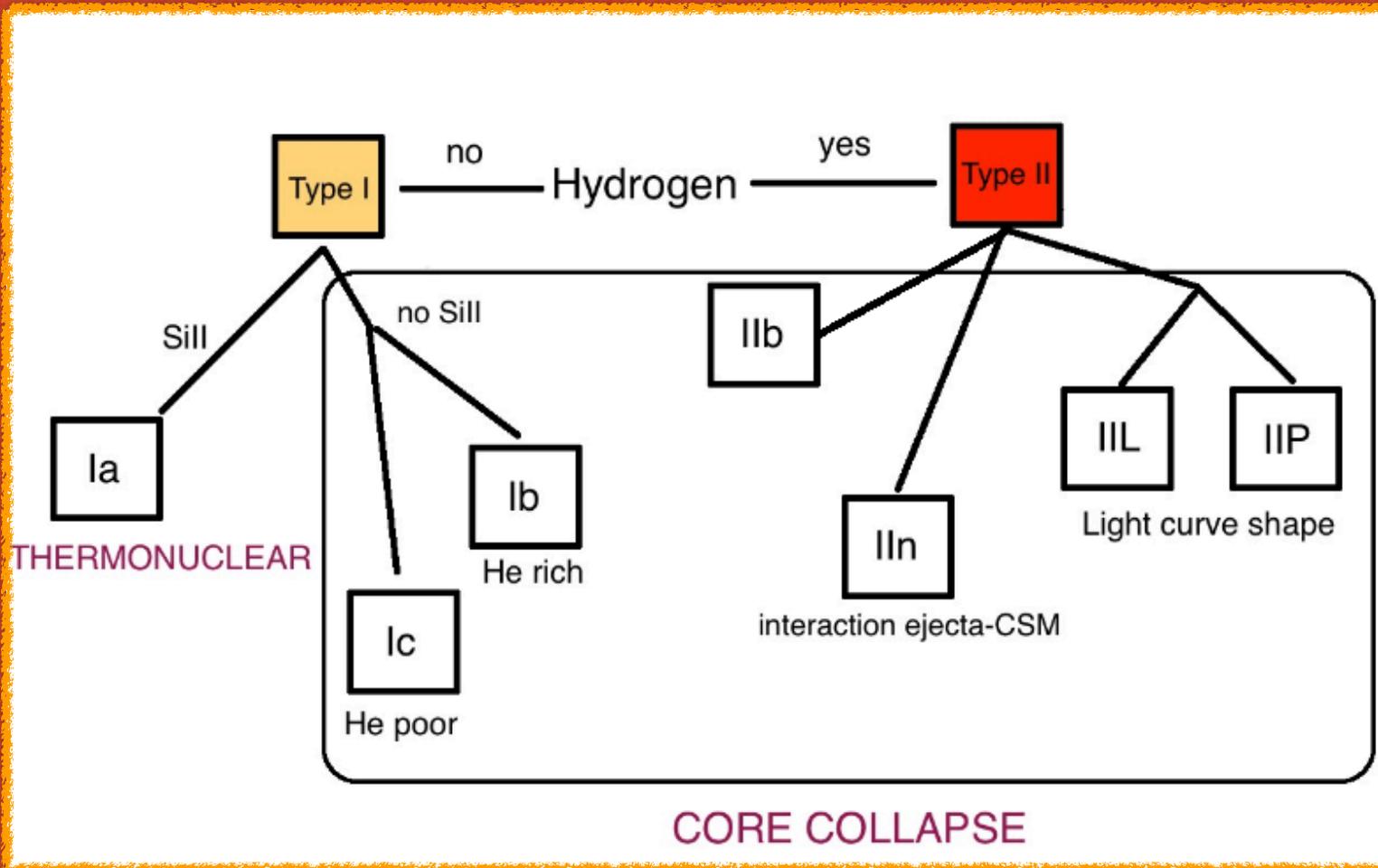
Télescope situé à l'Observatoire Mont Siding Spring
diamètre 1.3 m et champ de vue 5.7 deg²

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- Terminer l'analyse des image SNDice et publier un papier technique
- Analyse des données SkyMapper quand le commissioning du télescope sera terminé (début 2011)

MERCI POUR L'ATTENTION!

CLASSIFICATION DES SNE



COURBES DE LUMIERE

