

# Analyse des données à 5 ans de l'expérience SNLS

Nicolas Fourmanoit

Delphine Hardin - Reynald Pain  
Groupe Supernova/Cosmologie - LPNHE, Paris 6

Journées Jeunes Chercheurs 2008

# Plan

- 1 Des supernovae pour la cosmologie : expérience SNLS
- 2 Analyse des données à 5 ans (SNLS-5)
- 3 Mon rôle dans cette analyse

# SNLS : une expérience de 2<sup>e</sup> génération

## Objectifs premiers du *Supernova Legacy Survey* :

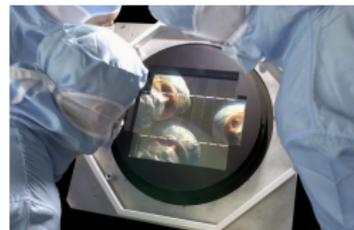
- confirmer les résultats des expériences de première génération ;
- apporter des contraintes sur  $w_{DE}$  avec une précision  $\leq 0.1$ .

Les données SNLS permettent de plus d'étudier les propriétés des supernovae (la ou *core-collapse*) (influence de l'environnement, évolution avec le redshift, ...) qui peuvent influencer sur les résultats de cosmologie.

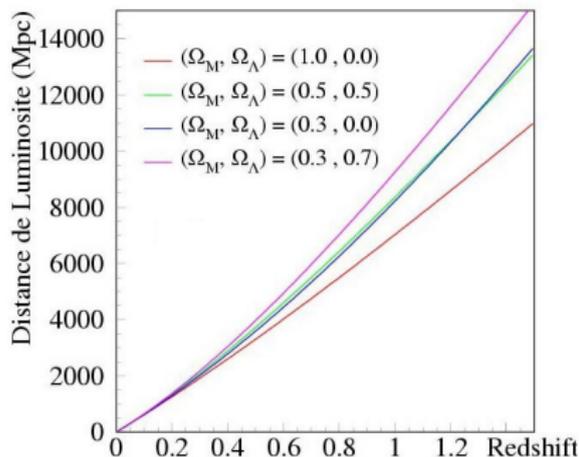
# SNLS : une expérience de 2<sup>e</sup> génération

Le SNLS, c'est :

- un survey de 5 ans fonctionnant en *rolling-search* ;
- 4 champs de  $1\text{deg}^2$  observés dans 4 bandes ( $g, r, i, z$ ) ;
- un imageur grand champ ( $1\text{deg}^2$ ) MégaCam installé au CFHT ;
- une statistique à terme multipliée par 10 ( $\geq 400$  SNe Ia) ;
- un suivi spectroscopique par des télescopes de classe 8-m (VLT, Gemini, Keck).



# Les SNIa comme sondes de cosmologie



$$d_L(z, H_0, \Omega_{M_0}, \Omega_{\Lambda_0}) = \frac{cz}{H_0} D(z, \Omega_{M_0}, \Omega_{\Lambda_0})$$

## Comment mesurer $d_L(z)$ ?

$$D_L = \sqrt{\frac{L}{4\pi\Phi}}$$

↪ si on connaît  $L$  (chandelle standard) alors mesurer  $\Phi$  revient à mesurer  $d_L$  ;

↪ contrainte sur :

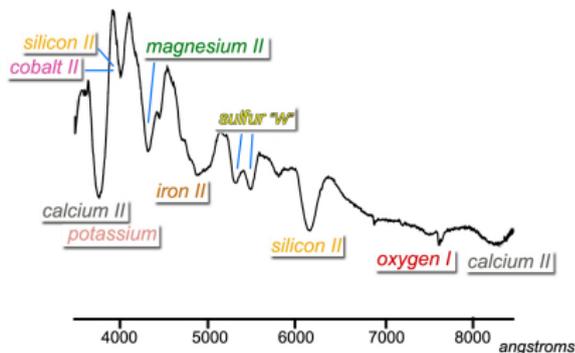
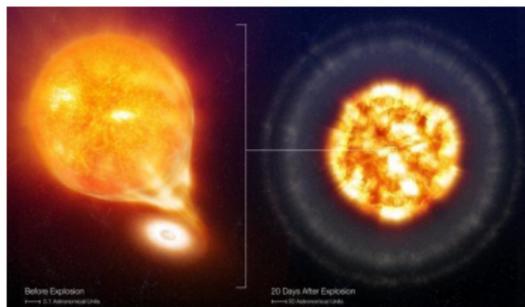
- $\Omega_M = \rho_M / \rho_c$  ;
- $\Omega_\Lambda = \rho_\Lambda / \rho_c$  ;
- $w_{DE} = (P_{DE} / \rho_{DE})$ .

## Le SNe Ia, des chandelles standards? 1/2

Chandelle standard = objet de luminosité constante (ou connue)

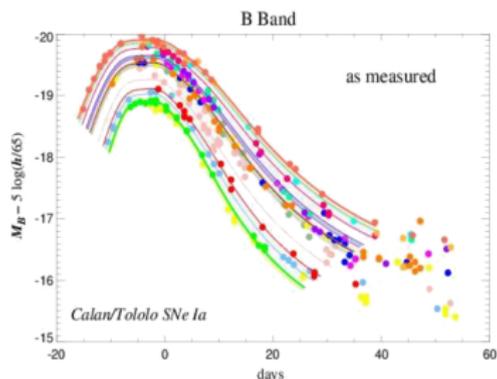
Une SN Ia est l'explosion thermonucléaire d'une naine blanche après accrétion de matière au-delà de  $M_{Chandrasekhar}$ .

↔ seuil en masse ( $1.4M_{\odot}$ ) ↔ dispersion de  $L$  faible  
( $\Delta L_{max} \sim 40\%$ )



## Le SNe Ia, des chandelles standards? 2/2

Courbe de lumière = variation de la luminosité d'une supernova dans le temps.



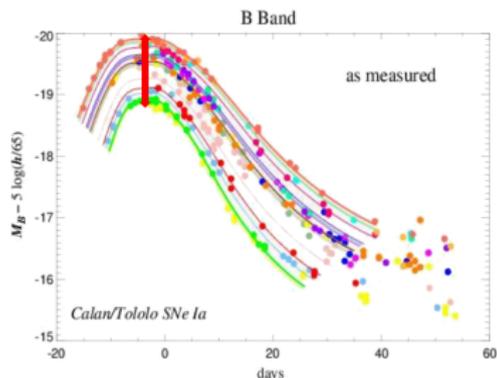
Chaque SN possède ses paramètres :

- la valeur du flux au maximum ;
- l'étalement de sa courbe de lumière dans le temps ;
- sa couleur.

↪ corrélation entre ces observables ↔ dispersion réduite à 15% !

## Le SNe Ia, des chandelles standards? 2/2

Courbe de lumière = variation de la luminosité d'une supernova dans le temps.



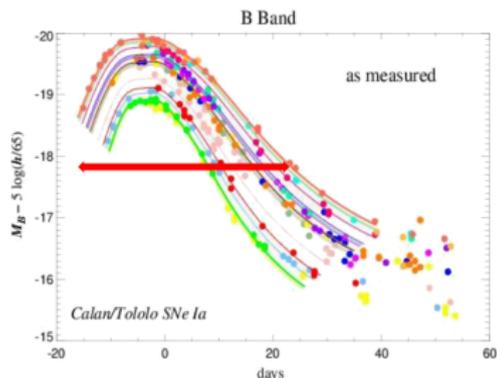
Chaque SN possède ses paramètres :

- la valeur du flux au maximum ;
- l'étalement de sa courbe de lumière dans le temps ;
- sa couleur.

↪ corrélation entre ces observables ↔ dispersion réduite à 15% !

## Le SNe Ia, des chandelles standards? 2/2

Courbe de lumière = variation de la luminosité d'une supernova dans le temps.



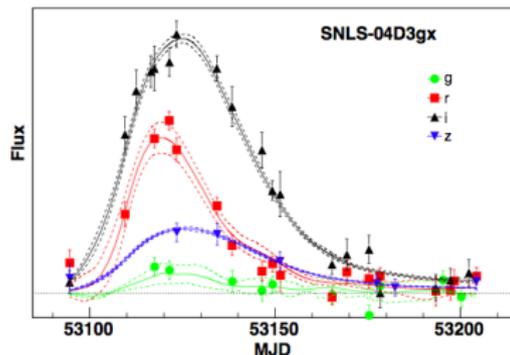
Chaque SN possède ses paramètres :

- la valeur du flux au maximum ;
- l'étalement de sa courbe de lumière dans le temps ;
- sa couleur.

↪ corrélation entre ces observables ↔ dispersion réduite à 15% !

## Le SNe Ia, des chandelles standards? 2/2

Courbe de lumière = variation de la luminosité d'une supernova dans le temps.



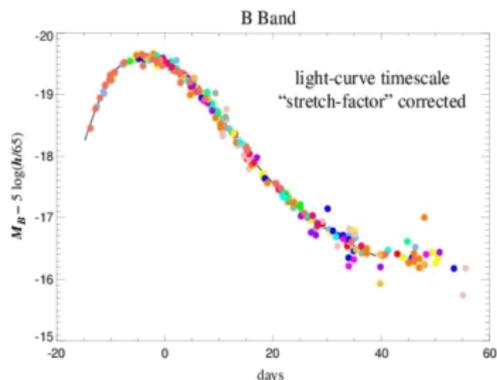
Chaque SN possède ses paramètres :

- la valeur du flux au maximum ;
- l'étalement de sa courbe de lumière dans le temps ;
- sa couleur.

↔ corrélation entre ces observables ↔ dispersion réduite à 15% !

## Le SNe Ia, des chandelles standards? 2/2

Courbe de lumière = variation de la luminosité d'une supernova dans le temps.



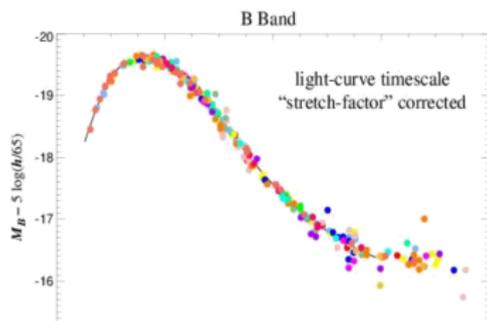
Chaque SN possède ses paramètres :

- la valeur du flux au maximum ;
- l'étalement de sa courbe de lumière dans le temps ;
- sa couleur.

↔ corrélation entre ces observables ↔ dispersion réduite à 15% !

## Le SNe Ia, des chandelles standards? 2/2

Courbe de lumière = variation de la luminosité d'une supernova dans le temps.



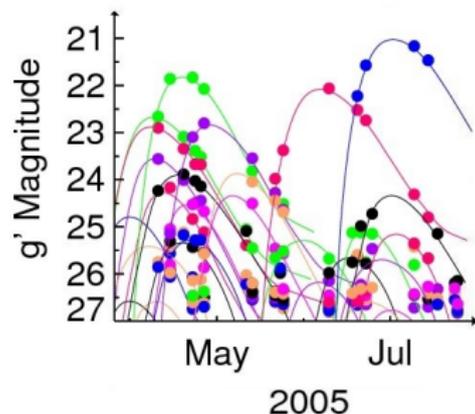
Chaque SN possède ses paramètres :

- la valeur du flux au maximum ;
- l'étalement de sa courbe de lumière dans le temps ;
- sa couleur.

Finalement notre estimateur de distance :

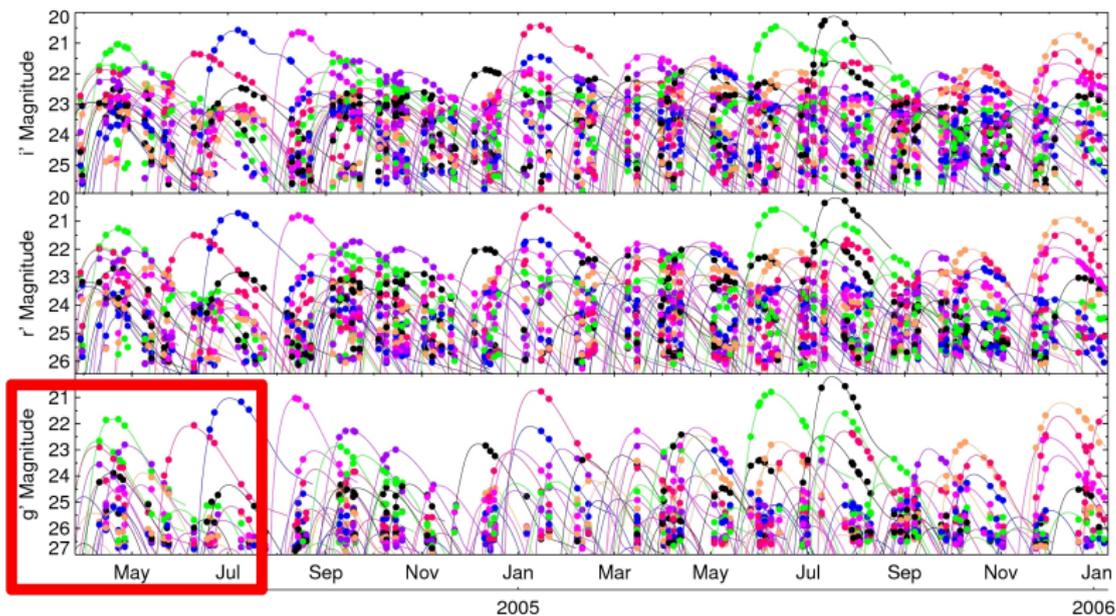
$$\mu_B = m_B - M_B + \alpha \times (s-1) - \beta \times c$$

# Un mot sur le rolling-search



Pourquoi un rolling-search ?

# Un mot sur le rolling-search



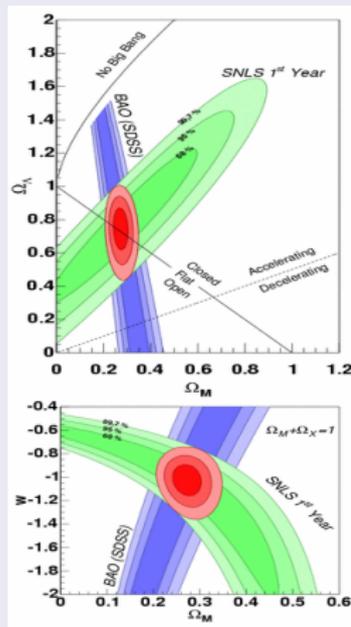
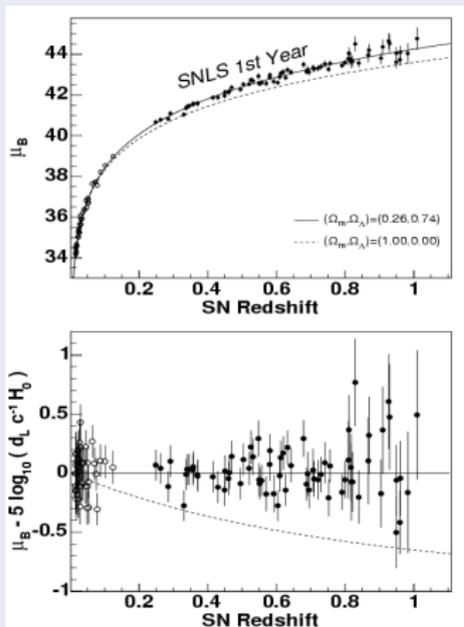
## Les derniers résultats du SNLS

Dates clés :

- mai 2003 à septembre 2008 : prise de données au CFHT  
prise de données de références
- 2006, "*The SNLS : Measurement of  $\Omega_M, \Omega_\Lambda$  and  $w$  from the First Year Data Set*" :  
SNLS-1 : 71 SNe la lointaines + 44 SNe la proches  
 $w = -1.023 \pm 0.090(stat) \pm 0.054(syst)$
- 2009, fin de l'analyse des données à 3 ans  
SNLS-3 : 250 SNe la lointaines + 44 SNe la proches  
 $w : \pm 0.065(stat)$
- 2010 : analyse des données finales (SNLS-5 : >400 SNe la)

# Les derniers résultats du SNLS

## SNLS-1



$$w = -1.023 \pm 0.090(stat) \pm 0.054(syst)$$

## Les derniers résultats du SNLS

Dates clés :

- mai 2003 à septembre 2008 : prise de données au CFHT  
prise de données de références
- 2006, "*The SNLS : Measurement of  $\Omega_M, \Omega_\Lambda$  and  $w$  from the First Year Data Set*" :  
SNLS-1 : 71 SNe la lointaines + 44 SNe la proches  
 $w = -1.023 \pm 0.090(stat) \pm 0.054(syst)$
- 2009, fin de l'analyse des données à 3 ans  
SNLS-3 : 250 SNe la lointaines + 44 SNe la proches  
 $w : \pm 0.065(stat)$
- 2010 : analyse des données finales (SNLS-5 : >400 SNe la)

## Analyse à 5 ans : les nouveaux défis

A ce point, le contrôle des systématiques devient l'enjeu essentiel.  
Notamment :

- les systématiques de calibration photométrique ;
- le biais de sélection des SNe proches ;
- les systématiques de mesure du flux et de modélisation des courbes de lumière ;
- les incertitudes astrophysiques.

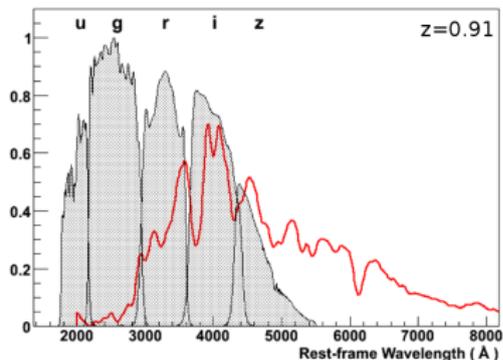
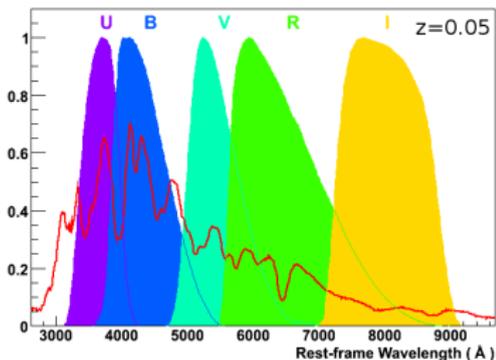
L'objectif est de franchir la barrière des 0.05 :

$$w : +/0.05(stat) + 0.05(syst)$$

## SNe proches : intercalibration photométrique

Les systématiques de calibration photométrique sont les + importantes. Une partie des ces systématiques vient de l'utilisation du lot de SNe proches.

Intercalibration proches/SNLS  $\leftrightarrow$  système de magnitudes de Landolt  $\leftrightarrow$  modèles de réponse instrumentale nécessaires.



## SNe proches : biais de sélection

- ① hétérogénéité du lot ;
- ② détection non automatisée.

Un nouveau lot de SNe proches devrait provenir d'un survey avec :

- une bonne statistique ;
- mode d'observation automatisé ;
- des données multi-bandes.

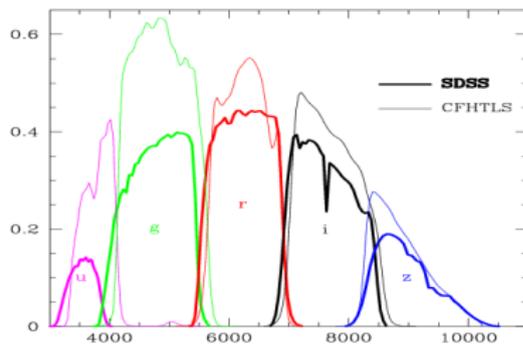
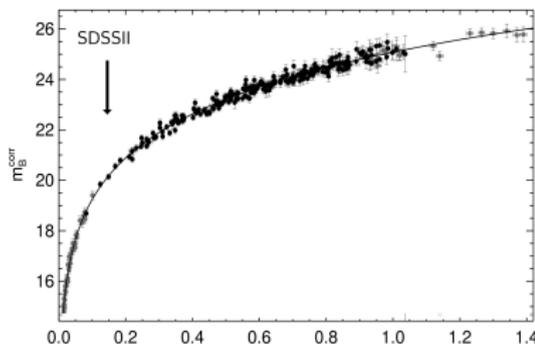
↪ SNFactory( $\sim 150$ ), SDSSII( $\sim 250$ ), SkyMapper ( $> 300$  ?)

## Anticiper sur une analyse jointe SDSSII/SNLS

Les données du SDSSII seront bientôt disponibles pour remplacer ce lot. De plus le SDSSII utilise un jeu de filtres proches de SNLS (meilleure intercalibration).

250 SNIa SDSSII sont attendues mais  $\langle z \rangle = 0.2$

↔ statistique ↔ bras de levier ?

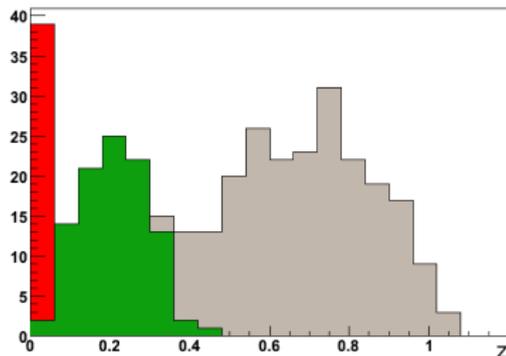


# Anticiper sur une analyse jointe SDSSII/SNLS

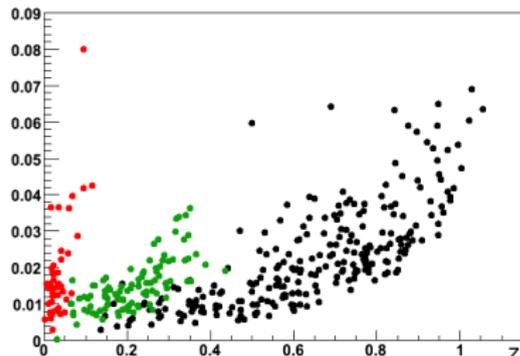
Objectif : reproduire un lot de SNe synthétiques reproduisant les propriétés réelles (ou estimées) du lot de SNe SDSSII. Utiliser ce lot synthétique pour estimer le gain statistique possible lors d'une analyse jointe.

## Contrôler les entrées

Distribution en redshift



Erreur relative sur le flux en fonction du redshift

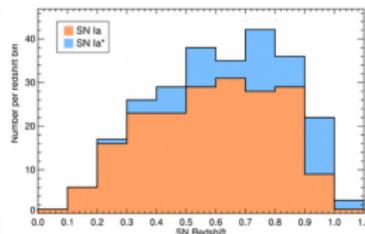
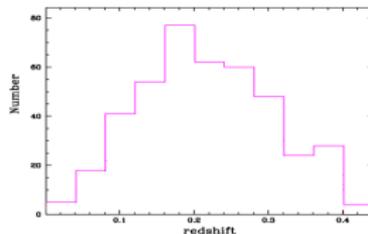


# Anticiper sur une analyse jointe SDSSII/SNLS

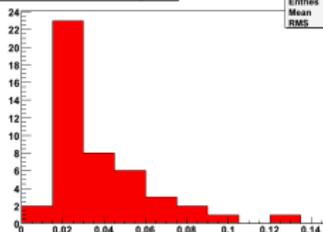
Objectif : reproduire un lot de SNe synthétiques reproduisant les propriétés réelles (ou estimées) du lot de SNe SDSSII. Utiliser ce lot synthétique pour estimer le gain statistique possible lors d'une

Distributions en redshift réelles et simulées

?



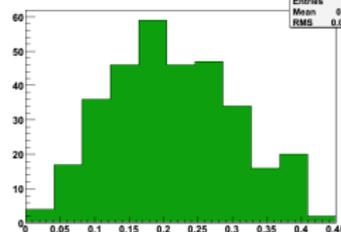
distribution redshift nearby-like



h1

Entries 46  
Mean 0.03673  
RMS 0.02466

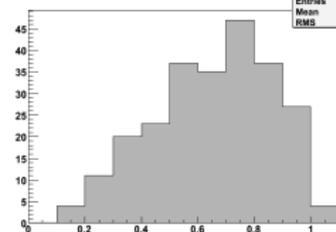
distribution redshift SDSS-like



h1

Entries 327  
Mean 0.2133  
RMS 0.09026

distribution redshift SNLS-like



h1

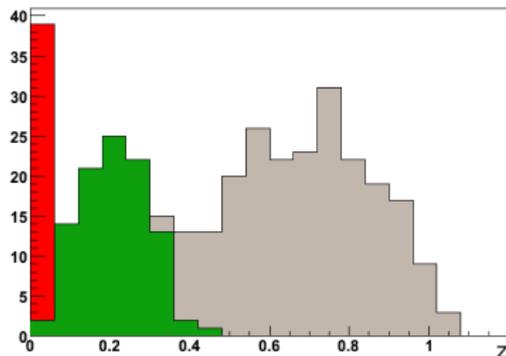
Entries 248  
Mean 0.6527  
RMS 0.2093

# Anticiper sur une analyse jointe SDSSII/SNLS

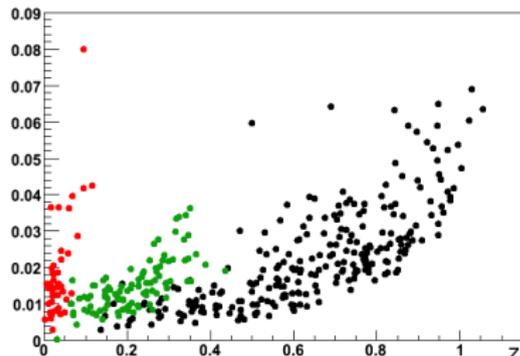
Objectif : reproduire un lot de SNe synthétiques reproduisant les propriétés réelles (ou estimées) du lot de SNe SDSSII. Utiliser ce lot synthétique pour estimer le gain statistique possible lors d'une analyse jointe.

## Contrôler les entrées

Distribution en redshift

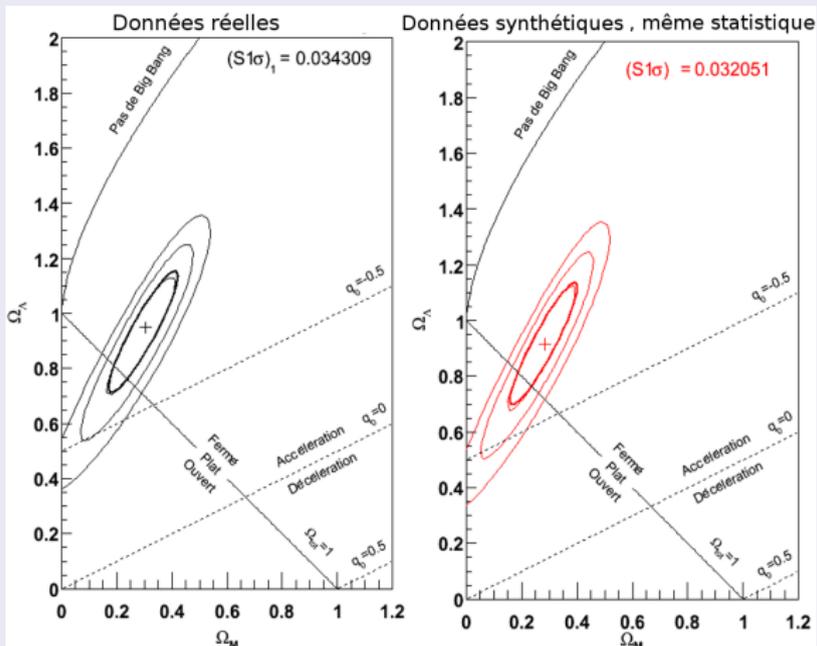


Erreur relative sur le flux en fonction du redshift



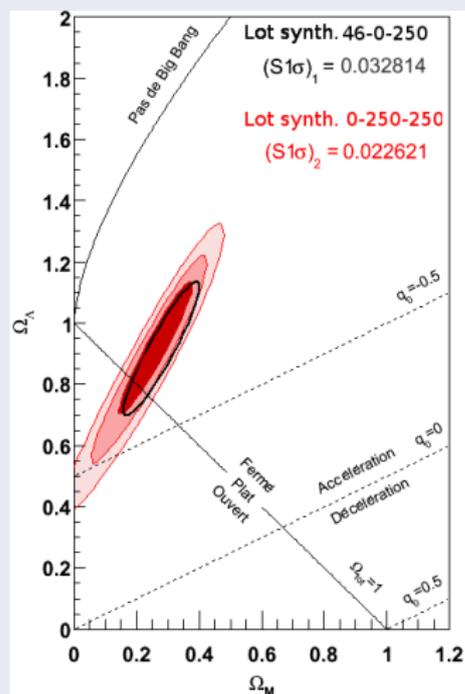
# Anticiper sur une analyse jointe SDSSII/SNLS

## Contrôler les sorties



# Anticiper sur une analyse jointe SDSSII/SNLS

gain proches → SDSSII ?



Conclusion :

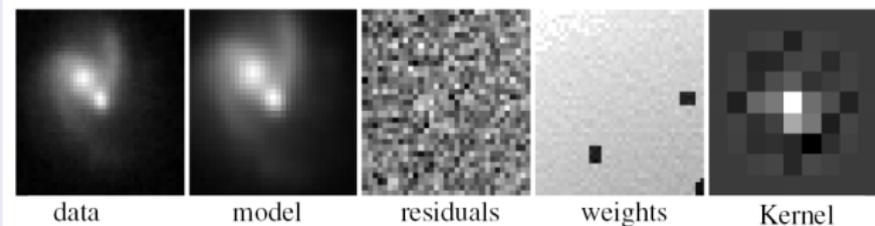
- 1 250 SNe SDSS font au moins aussi bien que 46 proches ;
- 2 l'équivalence de résultats se fait pour  $\sim 120$  SNe SDSS ;
- 3 le gain en systématique reste à inclure.

## Analyse données 5 ans : tester une nouvelle photométrie

Pour produire la courbe de lumière d'une SN, on utilise une méthode de photométrie qui consiste à ajuster simultanément toutes les images d'une SN. Un modèle permet d'exprimer le flux dans un pixel comme la somme du flux de la galaxie hôte, d'une source ponctuelle (SN) et du fond de ciel.

$$I(x, y) = \text{Flux} \times [\text{Kernel} \otimes \text{PSF}_{\text{best}}](x - x_{sn}, y - y_{sn}) + [\text{Kernel} \otimes \text{Galaxy}_{\text{best}}](x, y) + \text{Sky}$$
$$\text{PSF}^k = \text{PSF}_{\text{best}} \otimes K^k$$

### Ajustement d'une image



## Analyse données 5 ans : tester une nouvelle photométrie

Afin de disposer d'une grille de pixels commune pour chaque image de la SN, on aligne celles-ci sur l'image de meilleur qualité.

Ce rééchantillonnage provoque une corrélation positive pixel à pixel (20%)  $\leftrightarrow$  sous-estimation des erreurs d'ajustement  $\leftrightarrow$  erreurs d'ajustement augmentées après estimation de l'effet.

$\leftrightarrow$  existe-t-il une méthode alternative ?

# Tester une nouvelle photométrie

Réponse : oui, un ajustement est possible, qui prends en compte la transformation géométrique d'une image vers l'image de référence. Il faudra la statistique d'une production complète pour conclure sur ce point.

Cette étude est en cours pour un champ donné du SNLS (D1, 144 SNe, 2300 images).

## Et maintenant ?

L'analyse des données à 5 ans a commencé. L'enjeu est d'arriver à réduire nos systématiques au même niveau que nos incertitudes statistiques.

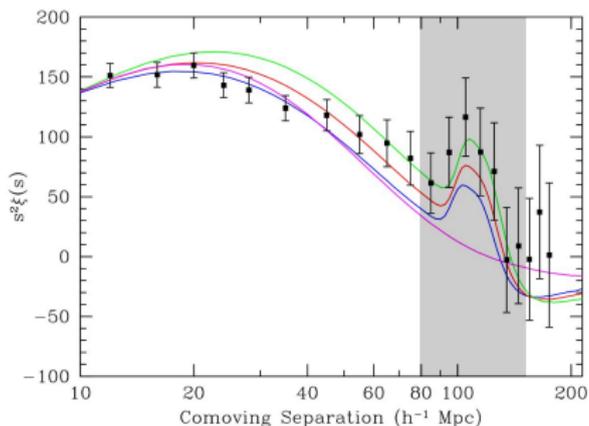
D'autres questions seront à étudier où une bonne statistique sera nécessaire (séparation en sous-ensembles par hôte ou par champ par exemple).

**Merci de votre attention.**

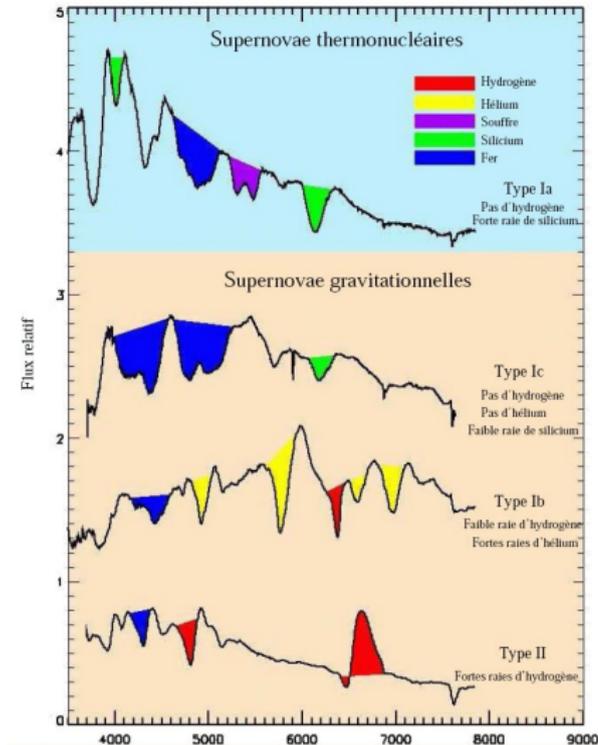
## BAO : une contrainte complémentaire aux SNe Ia

Le pic acoustique baryonique (BAO) nous donne une mesure indépendante, et orthogonale, des paramètres cosmologiques. Il est particulièrement contraignant pour  $\Omega_M$ .

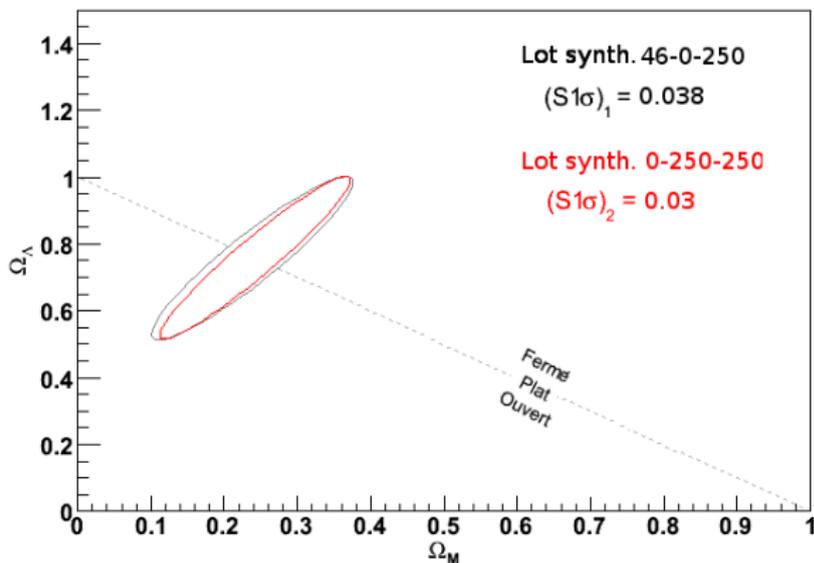
Les données de BAO utilisées dans ces figures sont celles données par le SDSS (Eisenstein et al, 2005, astro-ph/0501171).



# Comment distinguer une Ia d'une Ib/Ic/II ?



## Quelle cosmologie simule-t-on ?



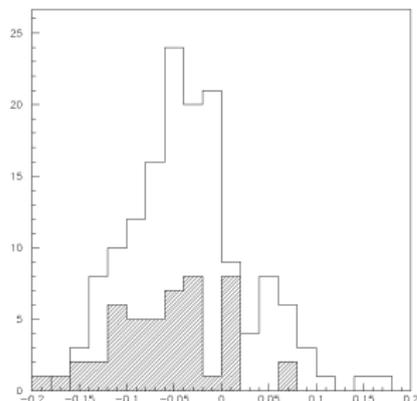
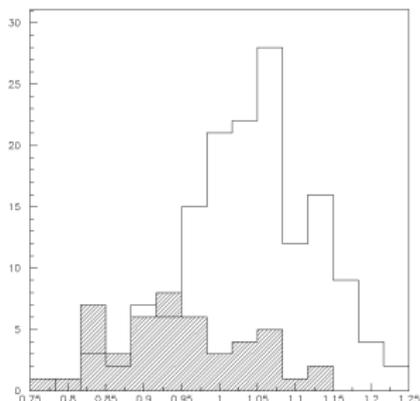
## Le projet SDSSII

Le SDSSII Supernova Survey est un programme d'observation sur 3 ans visant à détecter et mesurer les courbes de lumière pour des supernovae de redshift compris entre 0.05 et 0.4. Son mode de d'observation (drift scan) consiste à scanner de manière répétée une bande du ciel de  $300deg^2$ .



## L'influence de l'environnement (hôte)

Il est maintenant admis qu'il existe une corrélation entre le stretch des SNe et la nature de leur hôte. Le taux de formation stellaire (SFR) ou la morphologie (elliptique, spirale) de l'hôte sont étudiés, pour mettre en évidence cette corrélation.



# Facteur d'évolution ?

