

Supernovae thermonucléaires et cosmologie



Anne Ealet
(CPPM/IN2P3)

Plan

- Les Supernovae comme sonde de distance
- La mesure de l'accélération de l'Univers
 - Les résultats actuels
 - Les questions ouvertes
 - Stratégie et futur

SN Ia et indicateur de distance

Indicateur de distance dans l'univers local ($z < 0.05$):

- les cepheids
- les galaxies
- les supernovae de type Ia

(Phillips 1993, Hamuy et al., Perlmutter et al. 1997, 1999, Phillips et al. 1999, Riess et al. 1998, Suntzeff et al. 1999, Jha et al. 1999, 2003)

Indicateur de distance dans l'univers plus lointain: les SN Ia

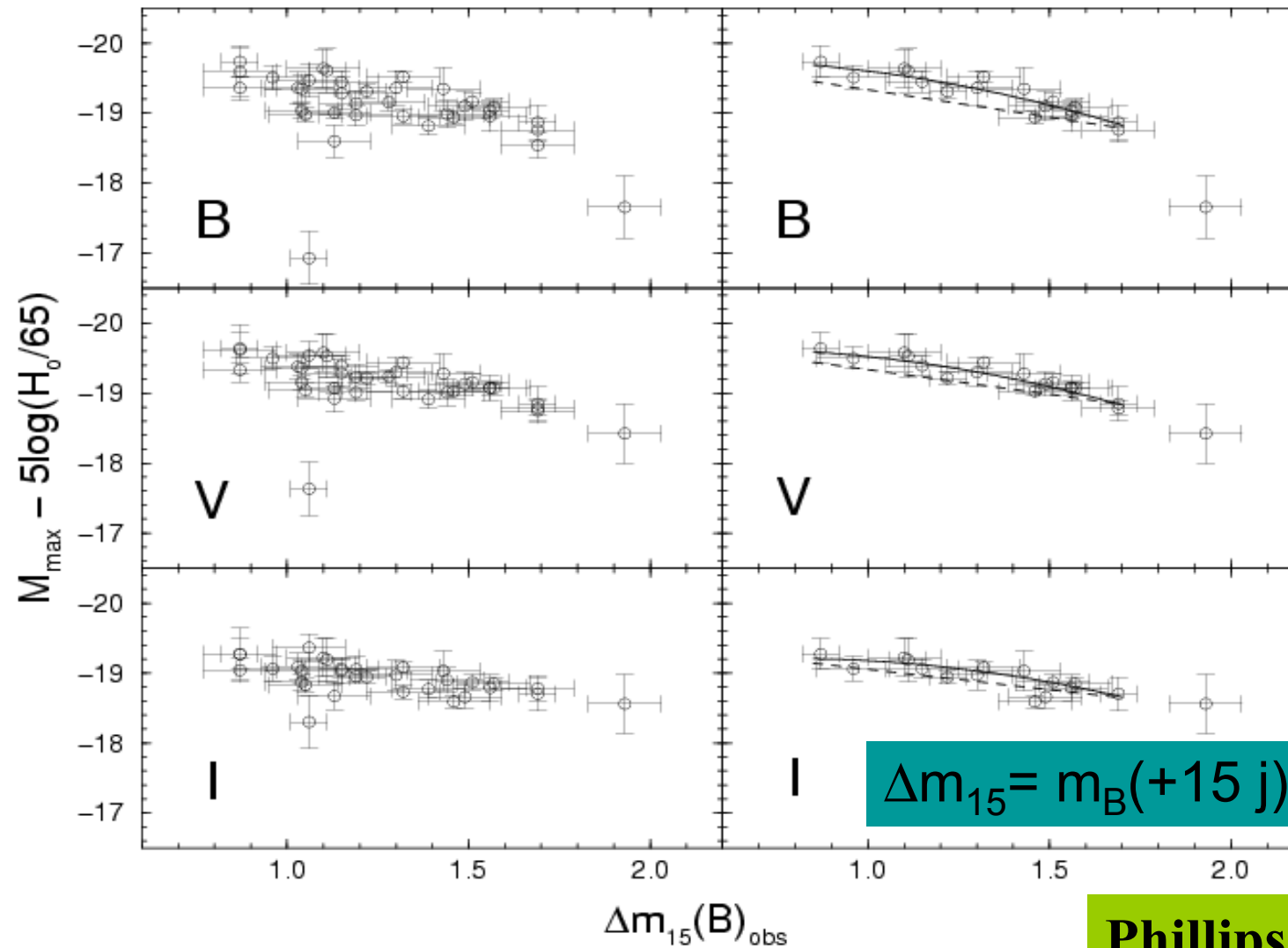
→ **Assez lumineuses** pour être mesurables jusqu'à des z de 1.2
(avec les instruments actuels)

81 SNe Ia ($0.3 < z < 1.0$) publiées + 6 ($z > 1.2$)

(Perlmutter et al. 1997, 1999, 2003, Garnavich et al. 1998, Riess et al. 1998, 2004, Tonry et al. 2003, Suntzeff et al. 2003, Leibundgut et al. 2003)

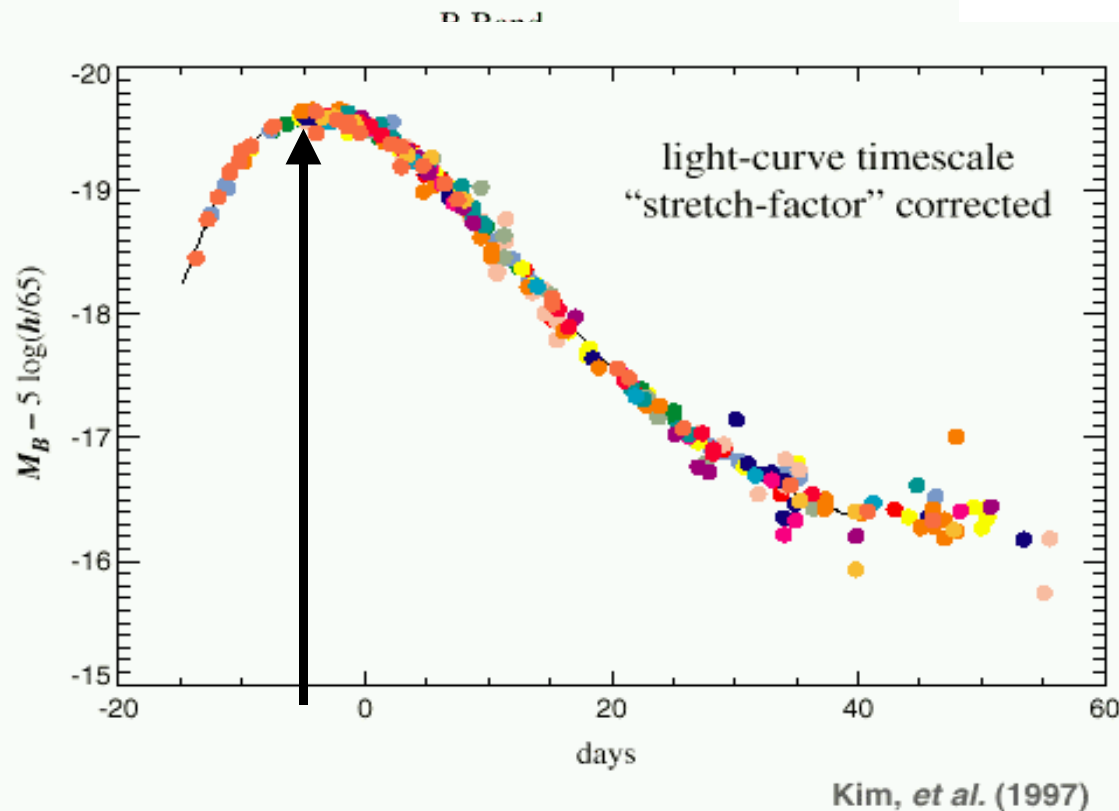
Correlations empiriques

La loi de Phillips



Phillips et al. 1999

La standardisation



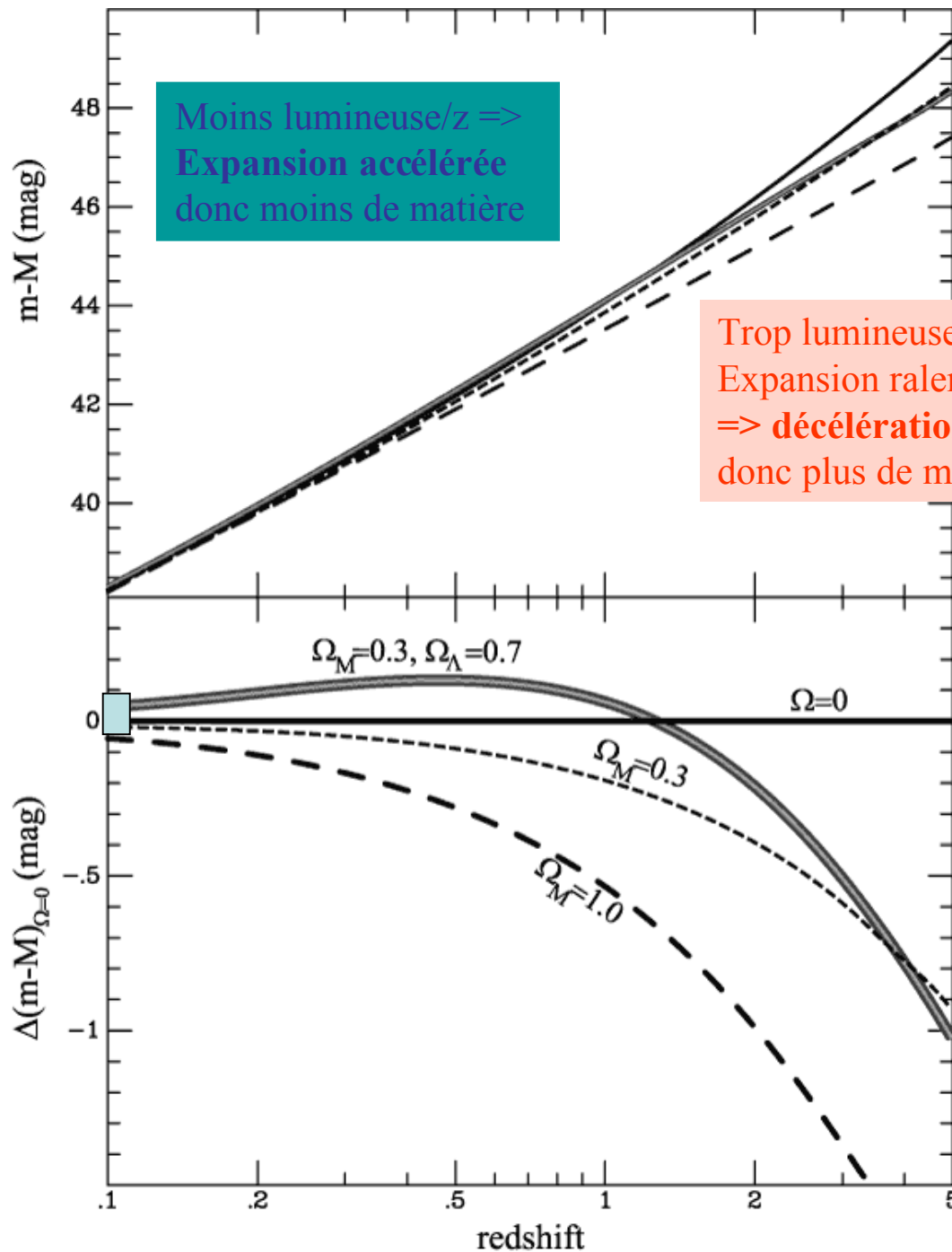
Les SNIa sont
standardisables

à 10-20 %

Echantillon SN proches

Mesure de la magnitude dans le bleu au pic de luminosité
Corriger pour minimiser la dispersion

La mesure de l'accélération



Utiliser des SNIa lointaines

$$m-M = M_0 + 5\log(DL(z, \Omega_M, \Omega_\Lambda))$$

HYPOTHESE

constante cosmologique

Equation d'état constante

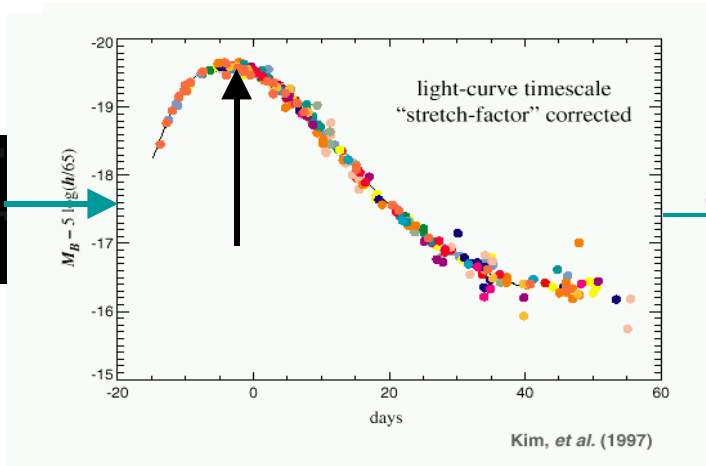
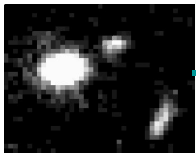
$w = p/\rho = -1$

la méthode



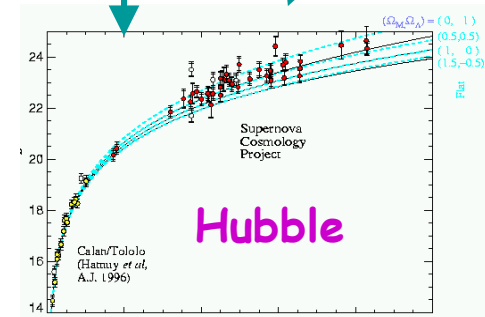
galaxy

Images



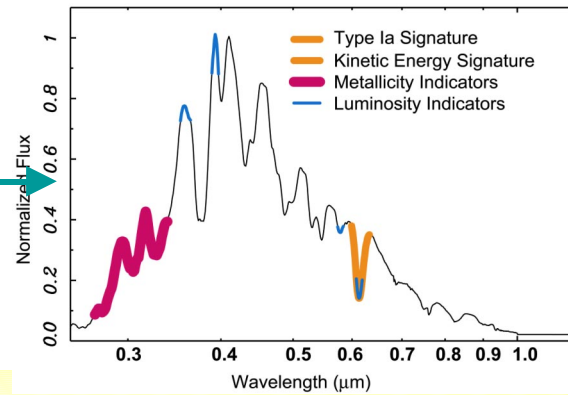
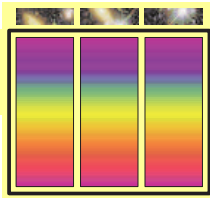
magnitude

z(redshift)



+ identification.

Spectra



Ia

data

analysis

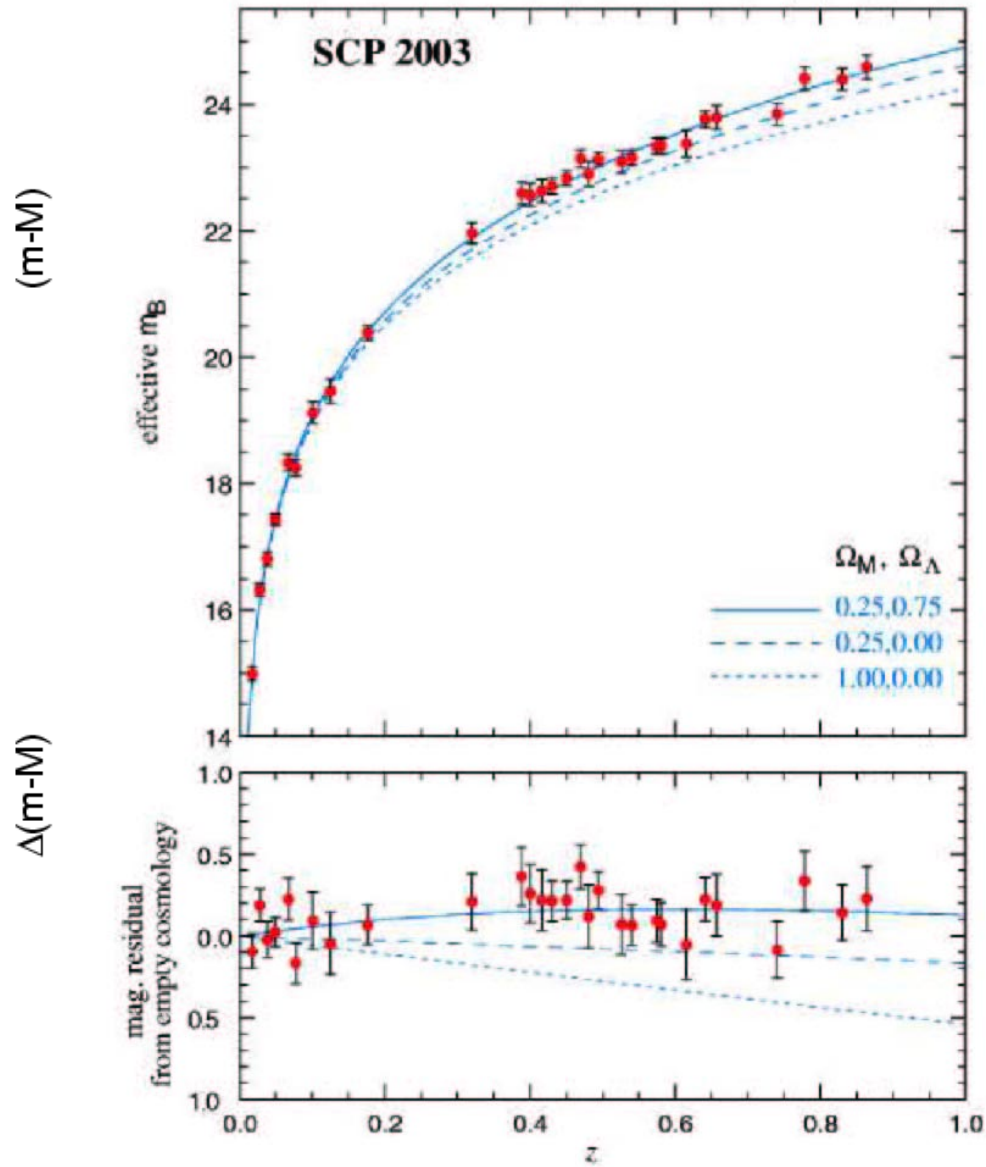
physics

Anne Ealet

Atelier MAX

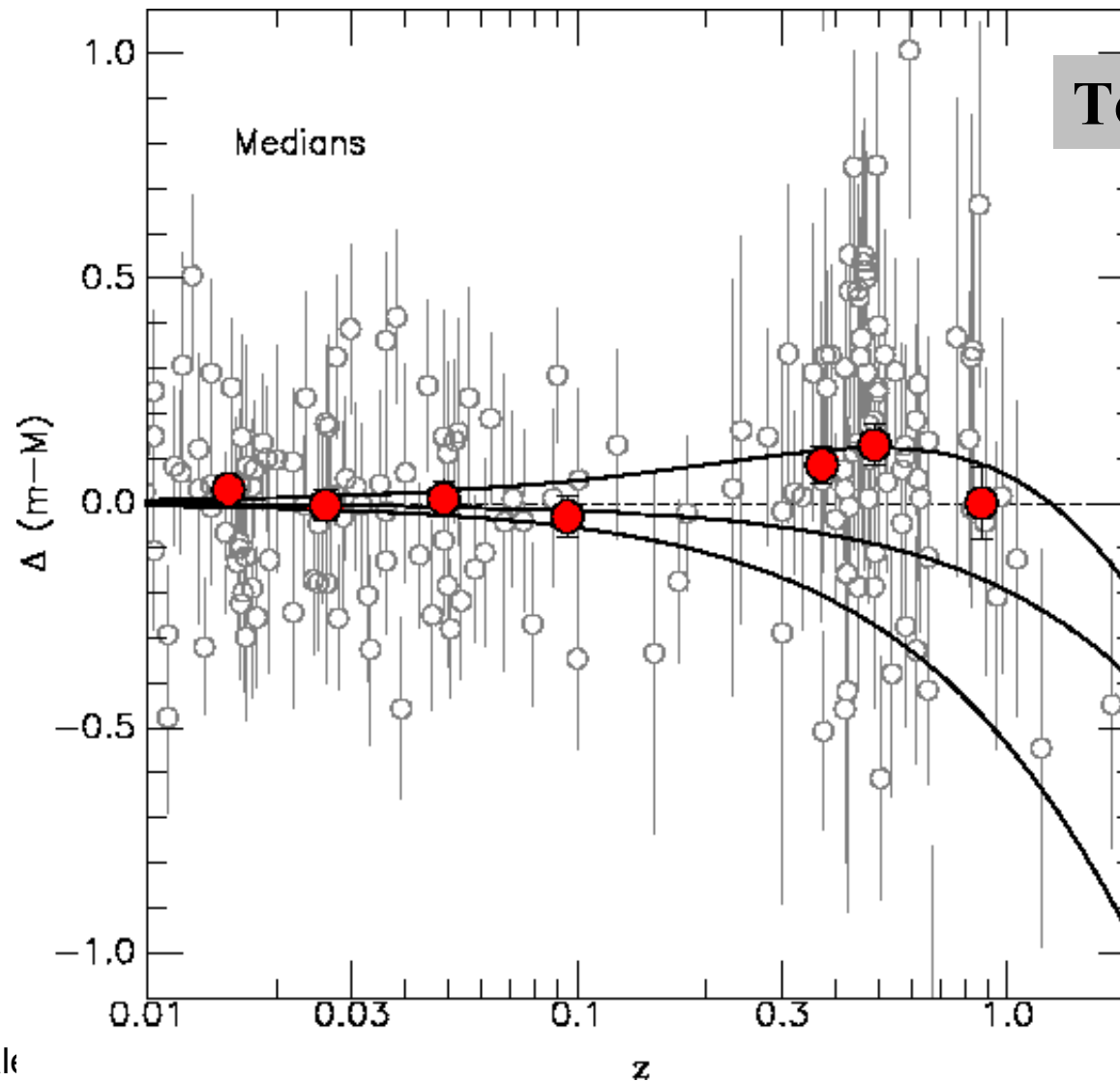
8

résultats



SCP 2003

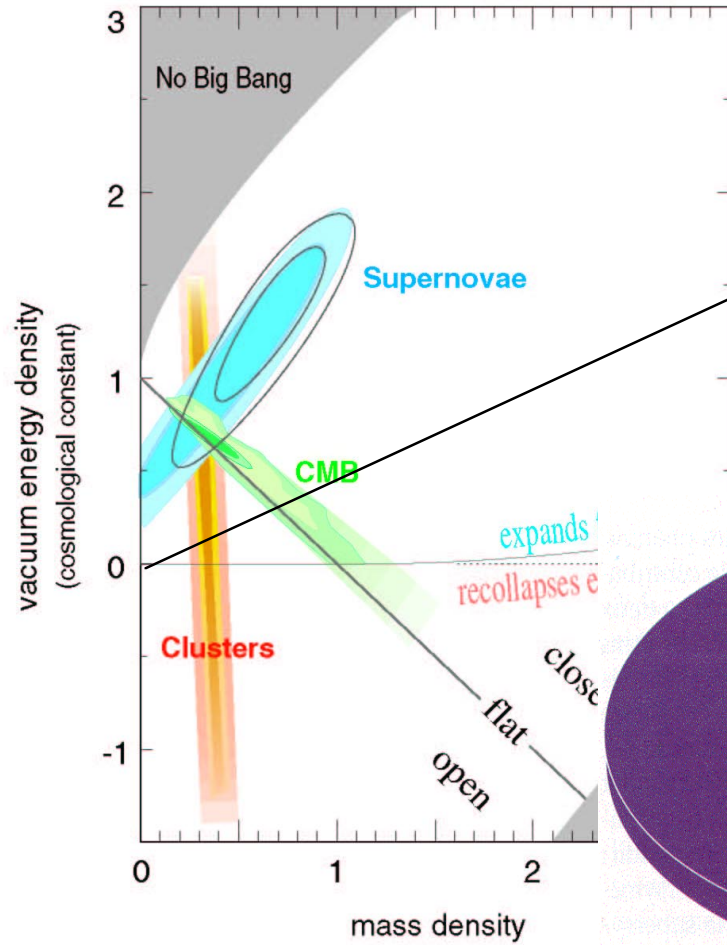
209 SN Ia et medians



Tonry et al. 2003

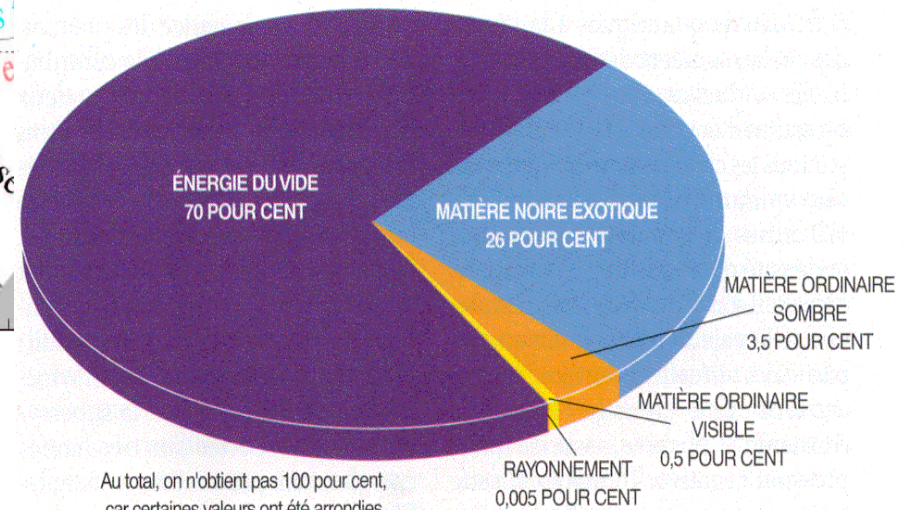
Combinaison
SCP+High z

Tonry et al. (2003)
 Knop et al. (ApJ, in press)
 Spergel et al. (2003)
 Allen et al. (2002)



Ω_Λ est \neq a 0 à 3 σ

Modèle de concordance



implications

$\Omega_\Lambda \neq 0$: Les supernovae donnent un univers en expansion accélérée!

Or la gravité fait décélérer l'univers (Einstein)

gravité répulsive? => une pression négative :
identique à une énergie du vide..

- Constante cosmologique? $w = -1$
- Energie noire ou énergie du vide? $w(z)$

Energie du vide...

Un champ scalaire ϕ avec une énergie potentielle $V(\phi)$ a pour équation d'état :

$$w_X(t) = \frac{\dot{\phi}/2 - V(\phi)}{\dot{\phi}/2 + V(\phi)}$$

- $\dot{\phi} = 0$ identique à l'énergie du vide : $w_\Lambda = -1$
- $\dot{\phi} \neq 0$ alors $+1 > w_X(t) > -1$

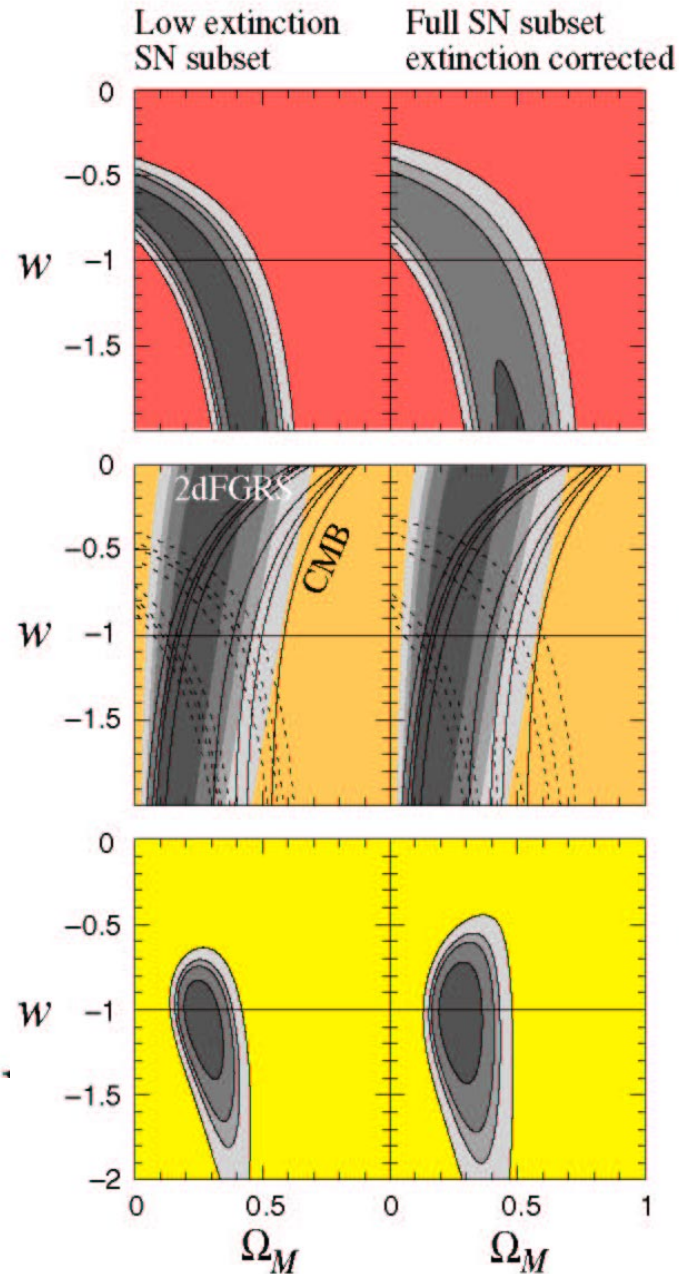
Le champ scalaire peut évoluer dans le temps.. $w(z)$
=> quintessence

Anne Ealet

Atelier MAX

$V(\phi)$ est le potentiel d'une théorie de champ quelconque (SUGRA, M-théorie(Brane), Kaluza-Klein..)

Hypothèse
 $w = \text{cste}$



Current SCP supernovae

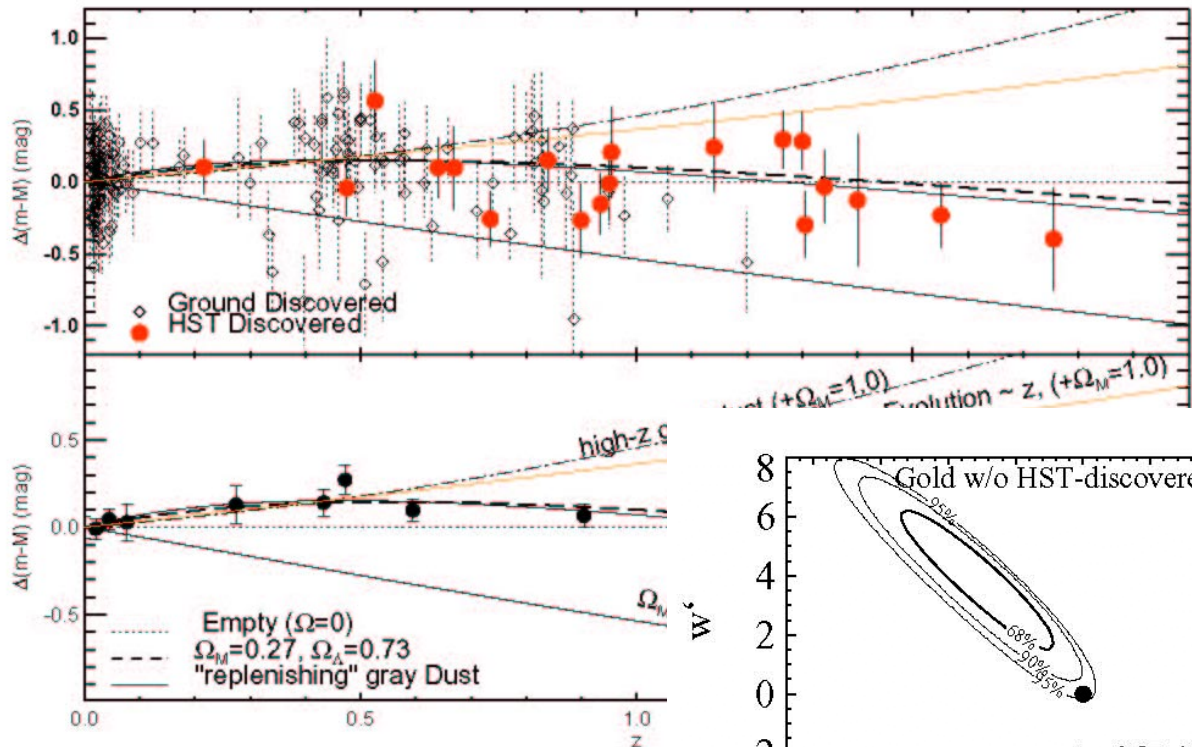
Limits from;
 2dFGRS (Hawkins et al. 2002)
 and CMB (Bennet et al. 2003,
 Spergel et al. 2003)

Combined confidence region

$w = -1.05^{+0.15}_{-0.20}$ (statistical)
 ± 0.09 (systematic)

Perlmutter 2003

Anne Ealet



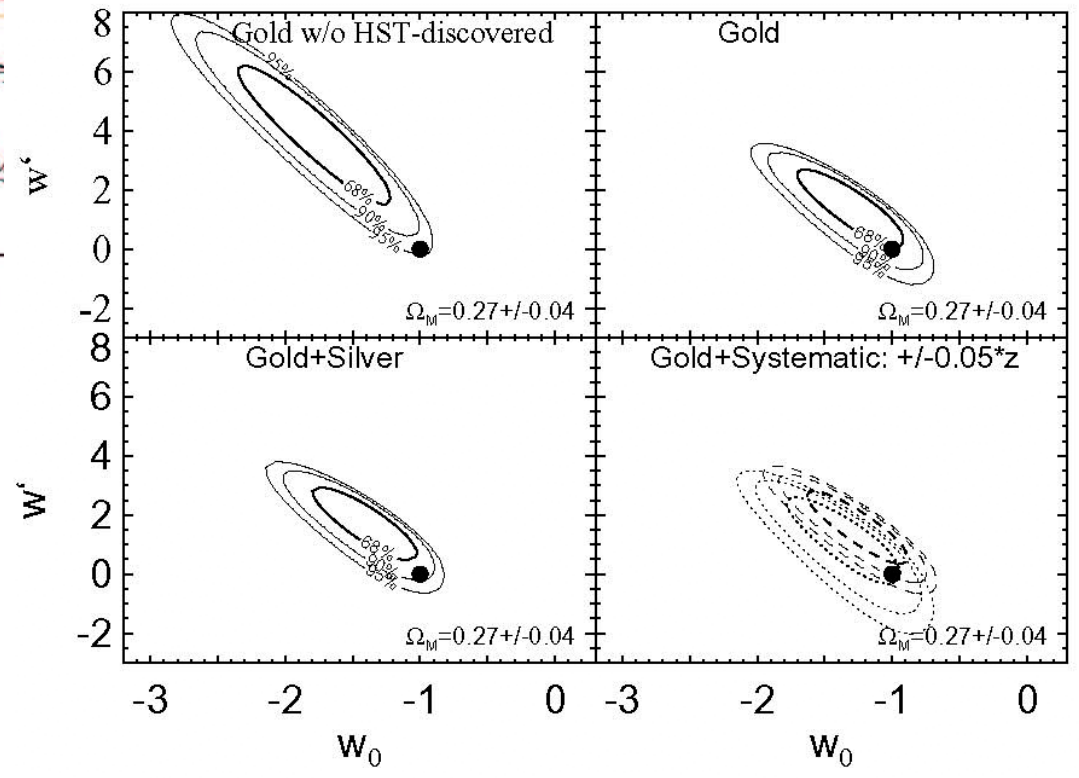
157 SNe
 16 HST dont 6 z>1.25

$$w = -1.08^{+0.20}_{-0.18}$$

$$w = -1.31^{+0.22}_{-0.28}$$

$$w' = 1.48^{+0.81}_{-0.90}$$

$$\text{avec } \Omega_M = 0.27 \pm 0.04$$



RIESS 2004

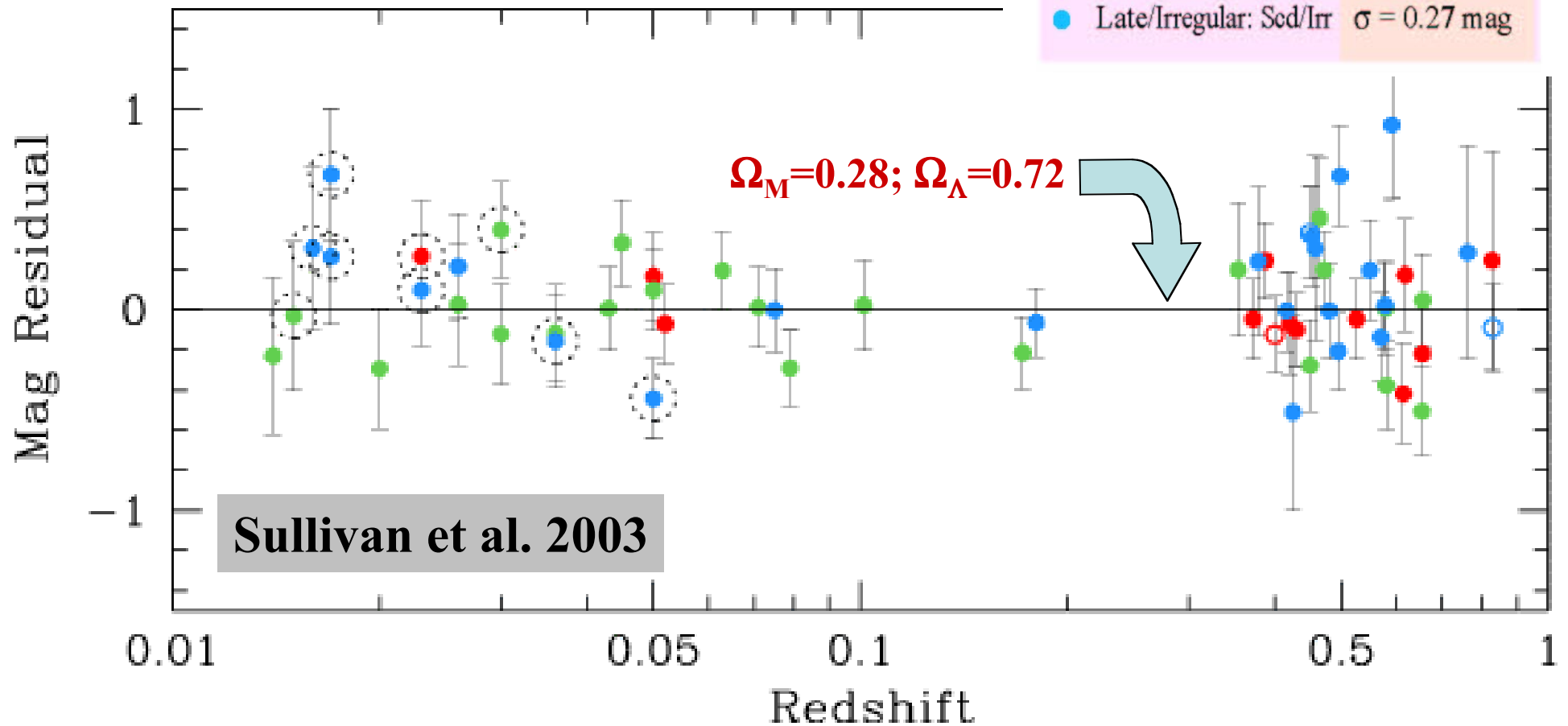
Anne Ealet

Questions ouvertes...

- Y a t il des effets de sélection ou d'évolution entre les SNIa proches et lointaines?
- Peut on croire la loi de Phillips?
 - 3 méthodes de standardisation différentes, résultats différents
 - Comprendre les objets sur/sous lumineux (SN 1991bg, SN 2000cx, SN 2002cx)?
- Peut-on améliorer la dispersion ?
 - Autres paramètres physiques ou observables ?
 - A t on un modèle???
- Y a-t-il des effets de poussière?
 - » Absorption et couleur
 - » Poussière grise?

Supernova Cosmology Project

galaxy type	dispersion from best fit flat model
● Elliptical: E/S0	$\sigma = 0.16$ mag
● Spiral: Sa/Sb/Sc	$\sigma = 0.20$ mag
● Late/Irregular: Scd/Irr	$\sigma = 0.27$ mag



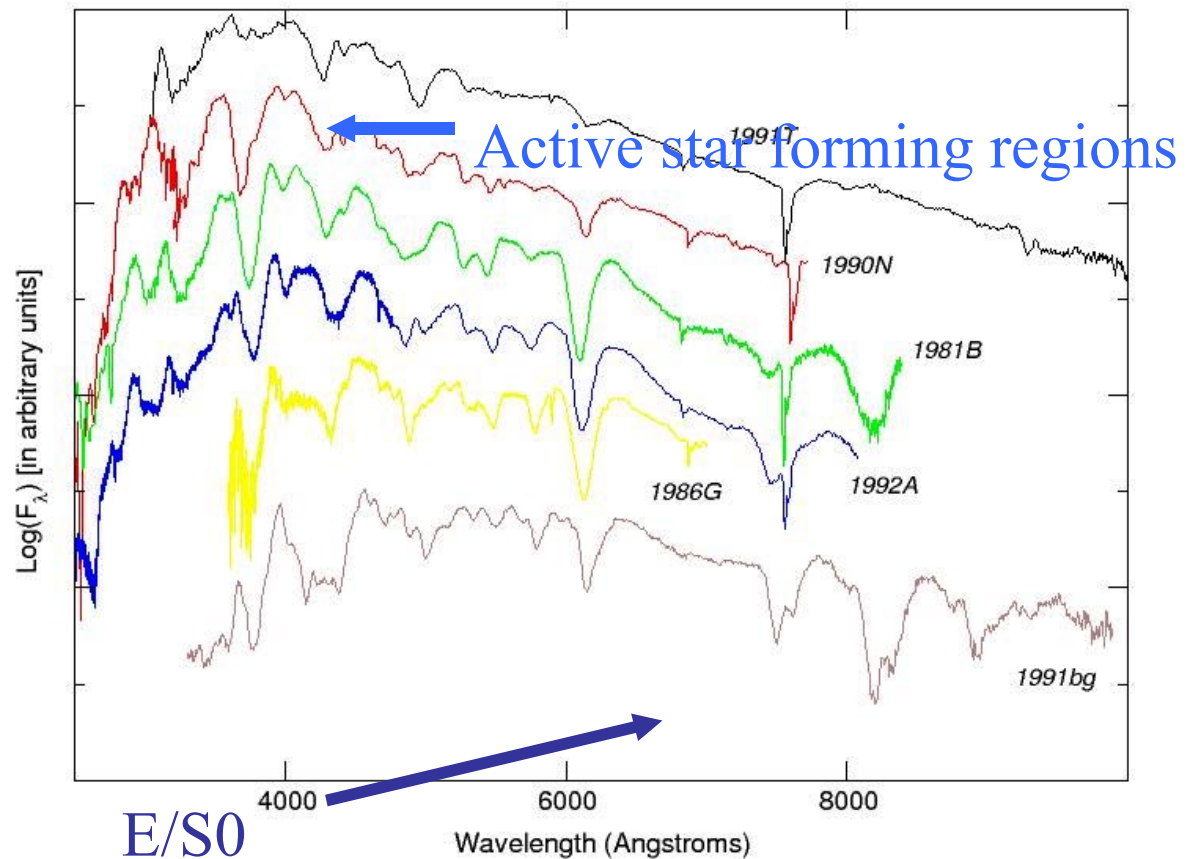
SN Ia Correlations

- Luminosité vs. la pente de déclin
 - Phillips 1993, Hamuy et al. 1996, Riess et al. 1996, 1998, Perlmutter et al. 1997, Goldhaber et al. 2001
- Luminosité vs. temps de montée
 - Riess et al. 1999
- Luminosité vs. couleur au maximum
 - Riess et al. 1996, Tripp 1998, Phillips et al. 1999
- Luminosité vs. la largeur et hauteur des raies
 - Nugent et al. 1995, Riess et al. 1998, Mazzali et al. 1998
- Luminosité vs. morphologie de la galaxie
 - Filippenko 1989, Hamuy et al. 1995, 1996, Schmidt et al. 1998, Branch et al. 1996

**Comprendre, classer et/ou corriger
pour diminuer la dispersion de la luminosité**

Luminosité, environnement et température

- SN Ia classiques dans toutes les galaxies
- Les brillantes (1991T-like) SN sont plutôt dans des régions de formation d'étoiles
- Les plus faibles (1991bg-like) SN dans les vieilles galaxies elliptiques.



FUTUR

- Conforter les résultats actuels
 - Répondre aux questions de standardisation
 - Effet de l'environnement
 - Contrôler l'évolution ?
 - Déterminer la nature de l'énergie noire
 - Dépendance de w en redshift
 - Combinaison avec d'autres données
- => Diminuer la dispersion de luminosité...

Mesurer dw/dz / JDEM

Combiner avec d'autres méthodes

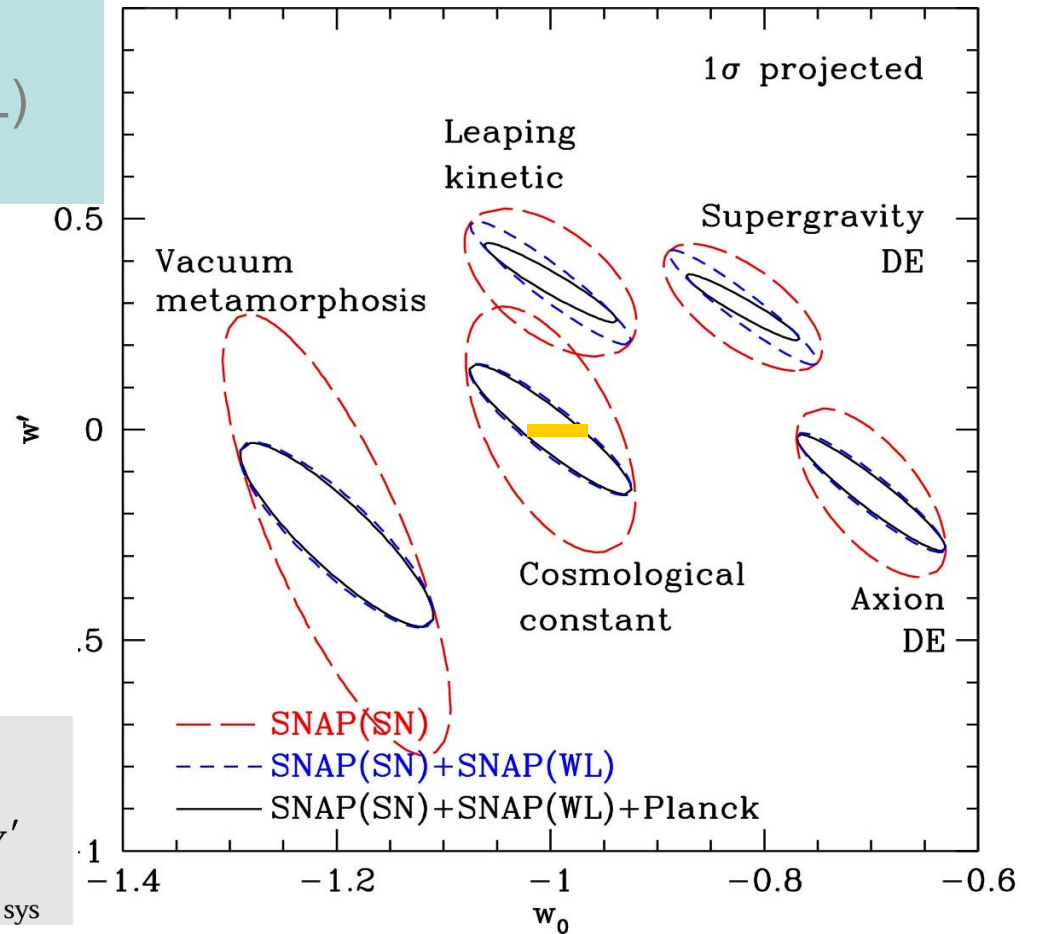
- cisaillement gravitationnel (WL)
- CMB

2000 SNIa

hypothèse	Ω_M		or Ω_{Λ} or $\Omega_{d.e.}$		stat	sys	
	stat	sys	stat	sys			
$w = 1$	0.02	0.02	0.05	<0.01	W	stat	sys
$w = 1, \text{flat}$			0.01	0.02			
$w = \text{const.}, \text{flat}$			0.02	0.02	W'	stat	sys
$\Omega_M \text{ known}$ $w = \text{const.}$			0.02	<0.01			
$\Omega_M \text{ known}$ $w(z) = w + w'z$			0.08	<0.01	0.12	0.15	

Anne Ealet

Atelier MAX



21

Conclusion

- Les SNIa des chandelles actuellement standardisables à mieux que 20 % (empiriquement)
- Une sonde incontournable pour mesurer les paramètres cosmologiques et en particulier répondre à la nature de l'énergie noire
- Relation luminosité - courbe de lumière/spectre –paramètres de l'explosion encore à explorer pour descendre la dispersion à mieux que 10%
- Indispensable pour la précision demandée dans les mesures futures