

Analyse de la diversité de couleur des supernovæ de type Ia

Avec les données de la SuperNova Factory

Mathilde Fleury

Sous la direction de Sébastien Bongard



2 - 6 décembre 2013

1 Cosmologie

- Contexte cosmologique
- Les SNe Ia : des chandelles standardisables

2 Séparation des composantes intrinsèque et extrinsèque de la couleur

3 Couleurs des SNe de SNf

- Supernova Factory
- Les couleurs

Section 1

Cosmologie

Contexte cosmologique



Photo: U. Morin

Saul Perlmutter



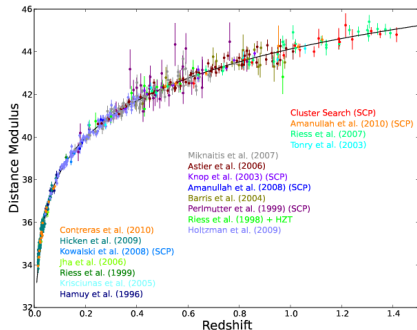
Photo: U. Morin

Brian P. Schmidt



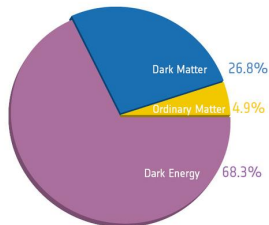
Photo: U. Morin

Adam G. Riess



L'Univers

- Accélération de l'expansion de l'Univers $\Rightarrow$ S. Perlmutter, A. Riess, B. Schmidt 1998
- Mise en évidence par l'observation de SNe Ia
- Étude des SNe Ia pour contraindre Ω_Λ
- Nature de l'énergie noire



Distance de luminosité



d_L , flux et module de distance

$$f = \frac{L_*}{4\pi d_L^2} \quad (1)$$

$$m - m_* = -2.5 \log_{10} \frac{f}{f_*} = -2.5 \log_{10} \frac{L}{L_*} \frac{d_L^2}{d_{L*}^2} \quad (2)$$

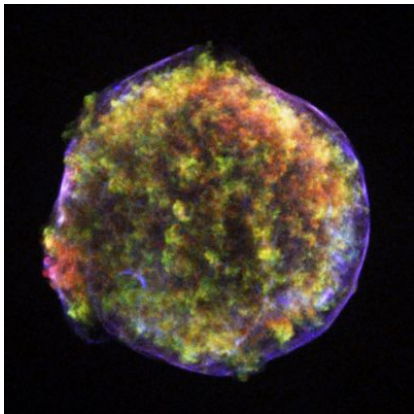
$$\mu \equiv m - M = 5 \log_{10} \frac{d_L [\text{pc}]}{10} \quad (3)$$

De la distance de luminosité aux chandelles standards

- $d_L = f(H_0, z, \Omega_\Lambda \dots)$
- Objet avec f se mesurant loin : SNe
- $\Rightarrow$ Nécessité de connaître L_*
- L_* ne se mesure pas $\Rightarrow$ utilisation d'objets dont L_* est standard et connu :

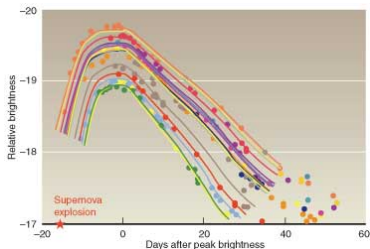
Les chandelles standards

Les SNe Ia : des chandelles standardisables



SNe Ia

- raie hydrogène
- raie du silicium 6150 Å
- explosion naine blanche $\Rightarrow$ groupe homogène $\Rightarrow$ chandelles quasi standard



Corrélations et corrections

Groupe homogène mais 40 % de variabilité au pic de luminosité

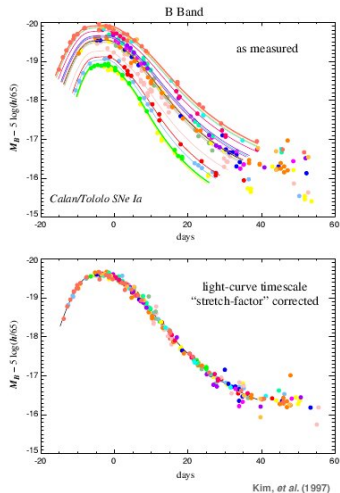
- Corrélation entre la largeur de la courbe de lumière et sa hauteur $\Rightarrow$ on corrige l'éq. 3 par :

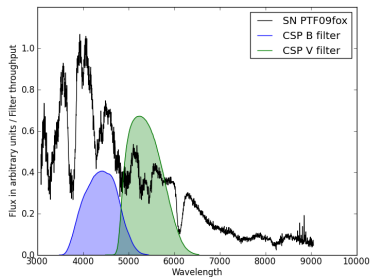
$$\mu = m_B^* - M + \alpha \times x_1 \quad (4)$$

où x_1 est le paramètre de stretch (largeur du pic de luminosité de la courbe de lumière)

- Corrélation avec paramètre de couleur $\Rightarrow$

$$\mu = m_B^* - M + \alpha \times x_1 - \beta \times c \quad (5)$$





La couleur

- Couleur = rapport de flux entre les bandes B et V
- $C = B - V$
- $B - V = -2.5 \log\left(\frac{F_B}{F_V}\right)$
- $B - V < 0 \Rightarrow F_B > F_V \Rightarrow$ objet "bleu"

Couleur : intrinsèque et extrinsèque

$$(B - V)_{mes} = (B - V)_{int} + E(B - V) \quad (6)$$

La poussière, cause de la couleur extrinsèque



Couleurs et poussières

- SN entourées de poussières $\Rightarrow$ atténuation et rougisement
- Nécessité de distinguer couleur intrinsèque et couleur extrinsèque

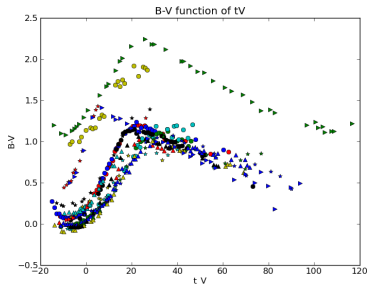
Intérêt

- Séparer couleur intrinsèque et extrinsèque
- Contraindre les erreurs systématiques $\Rightarrow$ améliorer les SNe Ia comme sondes cosmologiques

Section 2

Séparation des composantes intrinsèque et extrinsèque de la couleur

Une évolution homogène de couleur

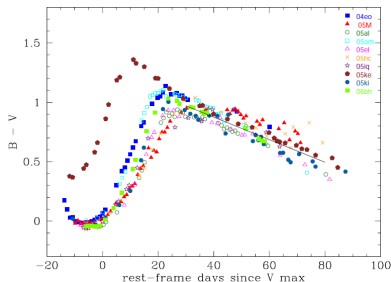


Évolution des couleurs après 35 jours

- $B - V = f(t_V)$ (= temps écoulé depuis le maximum de luminosité dans la bande V)
- Groupe homogène + outliers
- Groupe homogène $\Rightarrow$ relation linéaire?

Une couleur intrinsèque et une extinction

- Hypothèse : Loi linéaire = couleur intrinsèque, dispersion = extinction
- On peut avoir $(B - V) = (B - V)_{int} + E(B - V)$



Principe

- Sélectionner un échantillon peu rougi
 - ↪ SNe dans des galaxies E/SO
 - ↪ SNe loin des bras des galaxies ou du noyau
 - ↪ Absence de raies de Na ID dans le spectre primordial
- En déduire, grâce à ce sous échantillon, la loi linéaire

Relation entre B-V et t_V

$$(B - V)_{tail} = -0.0095 \times t_V + 1.254 \pm 0.077 \quad (7)$$

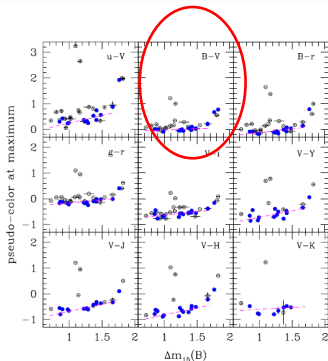
Extinction

On peut calculer l'extinction : $E(B - V) = (B - V)_{mes} - (B - V)_{Lira}$

Couleur homogène au maximum de luminosité

Une autre loi linéaire...

- On s'intéresse à la corrélation avec le paramètre Δm_{15} qui est la différence de luminosité entre le maximum et 15 jours après le maximum
- Δm_{15} est très fortement corrélé au stretch x_1 : correction sur le module de distance



Relation entre $(B_{max} - V_{max})$ et Δm_{15}

$$(B_{max} - V_{max}) = 0.12 \times \Delta m_{15} - 0.148 \pm 0.06 \quad (8)$$

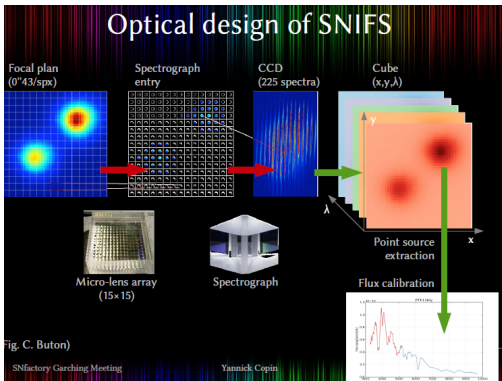
Section 3

Couleurs des SNe de SNf

SuperNova Factory



Optical design of SNIFS



SNf

- Collaboration française, américaine, allemande et chinoise
- Mesures spectrophotométriques des SNe dans le flot de Hubble
- Télescope UH à Hawaï
- 136 SNe la bien calibrées
- Instrument : Supernova Integral Field Spectrograph (SNIF)

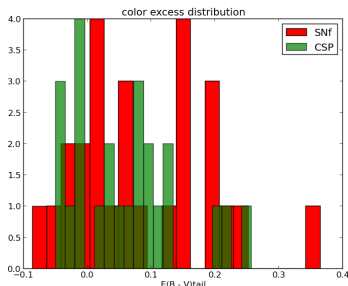
Excès de couleurs dans SNf

Calcul des excès de couleur

Excès de couleur = différence entre le $B - V$ de l'échantillon **entier** et le $(B - V)_0$ calculé par les lois précédentes : $E(B - V) = (B - V) - (B - V)_0$

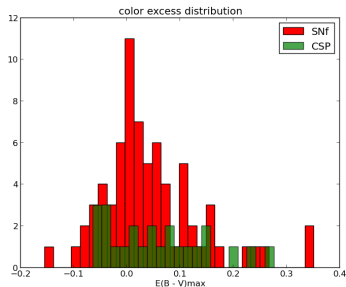
tail (Lira)

$$(B - V)_0 = 0.095 \times t_V + 1.2545$$



max

$$(B - V)_0 = 0.12 \times \Delta m_{15} - 0.148$$



SNf

- Tail
 - ↪ Moyenne : 0.09
 - ↪ Standard deviation : 0.104
- Max
 - ↪ Moyenne : 0.05
 - ↪ Standard deviation : 0.09

CSP

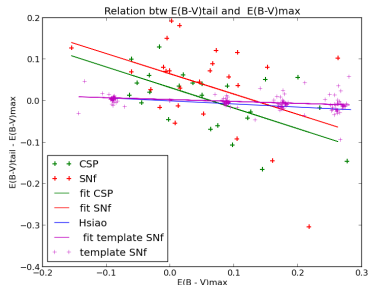
- Tail
 - ↪ Moyenne : 0.06
 - ↪ Standard deviation : 0.08
- Max
 - ↪ Moyenne : 0.06
 - ↪ Standard deviation : 0.09

CSP/SNf

Plus de SNe “bleues” dans SNf que dans CSP au max **alors que**, au tail, plus de SNe “rouges” dans SNf.

⇒ Pourquoi ?

Comparaison des excès de couleur



Nouveau template

Hsiao juste? Nouveau template avec les données de SNf

⇒ Courbe magenta : similaire à Hsiao et éloigné des données

⇒ On n'a pas capturé tout l'intrinsèque

Tail - max

- Si $E(B-V)$ = poussières, peu d'évolution entre $E(B-V)_{max}$ et $E(B-V)_{tail}$
- Légère évolution car la couleur intrinsèque évolue $\rightsquigarrow$ Utilisation d'un template
- Mais CSP et SNf : corrélation plus forte

Conclusion

- Intérêt de l'étude : séparation composantes $\Rightarrow$ meilleure connaissance de la couleur $\Rightarrow$ correction sur $\mu \Rightarrow$ diagramme de Hubble $\Rightarrow$ contraintes sur les paramètres cosmo
- La variabilité entre le tail et le max est réelle
- Au moins une des deux lois n'est pas correcte
- Échantillon plus rouge ou plus bleu : pourquoi ?

Perspectives

- Utiliser les spectres de SNf pour trouver la partie intrinsèque
- On projette SNe sur un spectre correspondant à Δm_{15}
- On projette SNe sur un spectre correspondant à $(B - V)_{max}$
- Spectre obtenu a des structures spectrales inconsistentes avec de la poussière (spectre lisse) ? Si oui, intrinsèque