



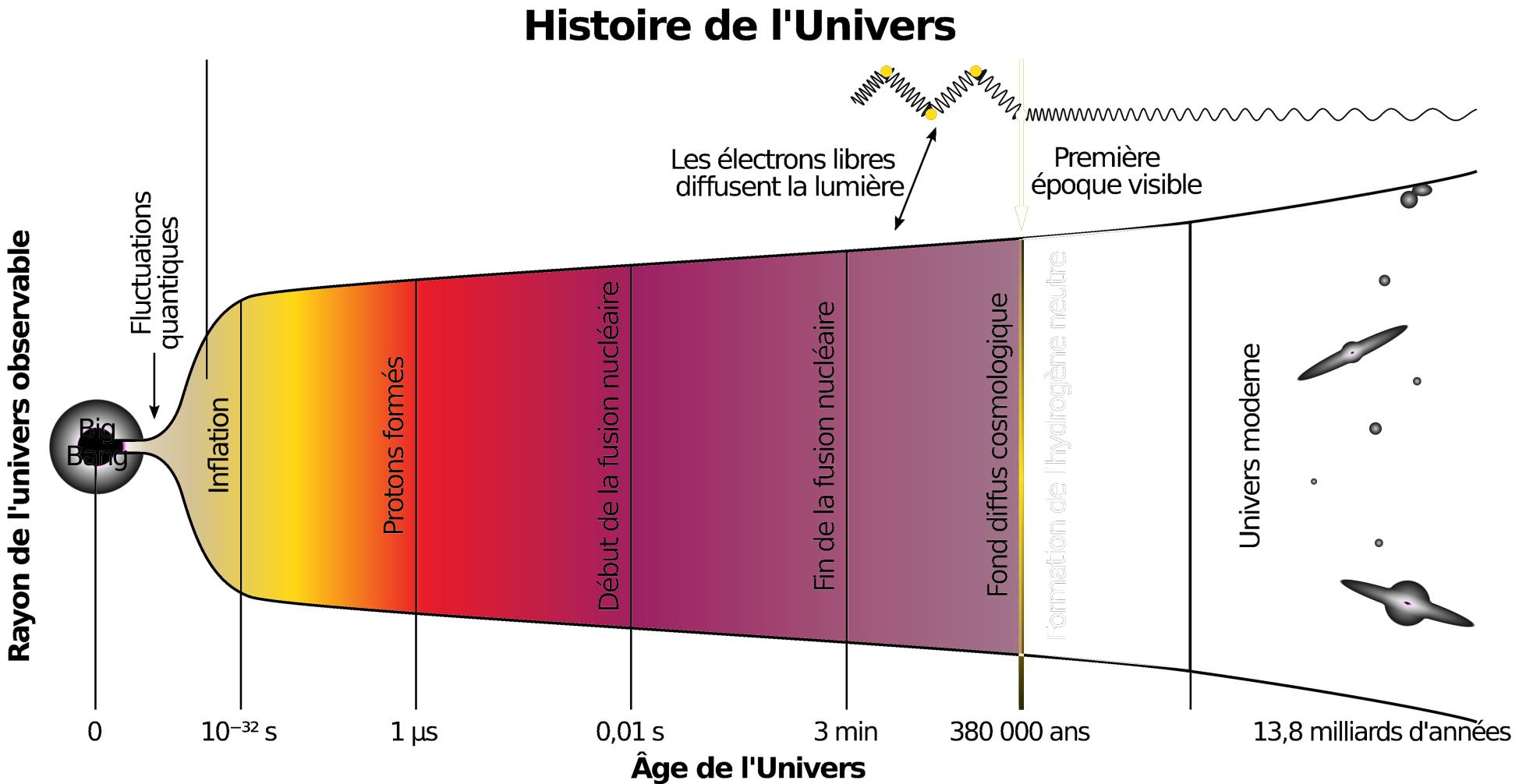
Variabilités intrinsèques des supernovæ de type Ia et leurs conséquences sur les paramètres cosmologiques

Nora NICOLAS
Groupe Cosmos IP2I
Vendredi 30 septembre 2022
Soutenance de thèse de Doctorat

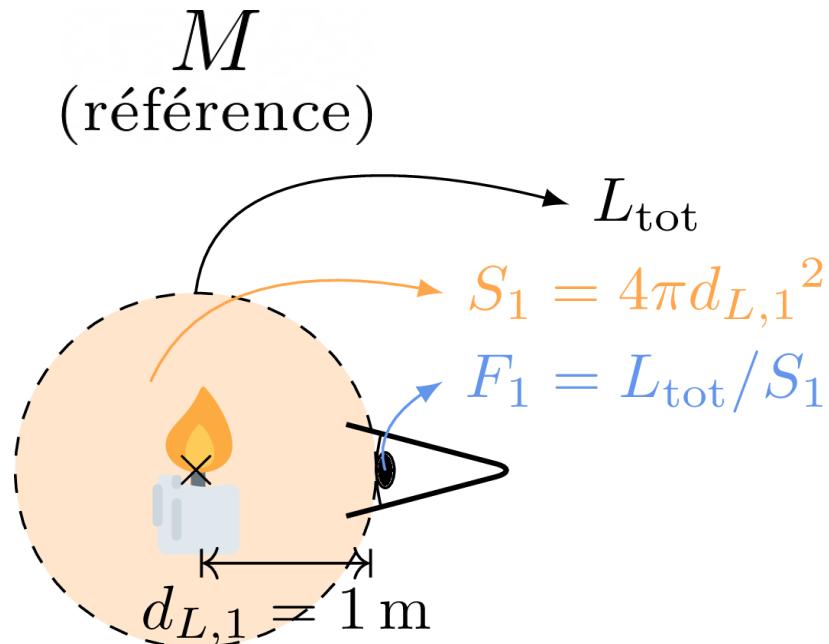
Sous la direction de
M. RIGAULT
M. SMITH
Y. COPIN



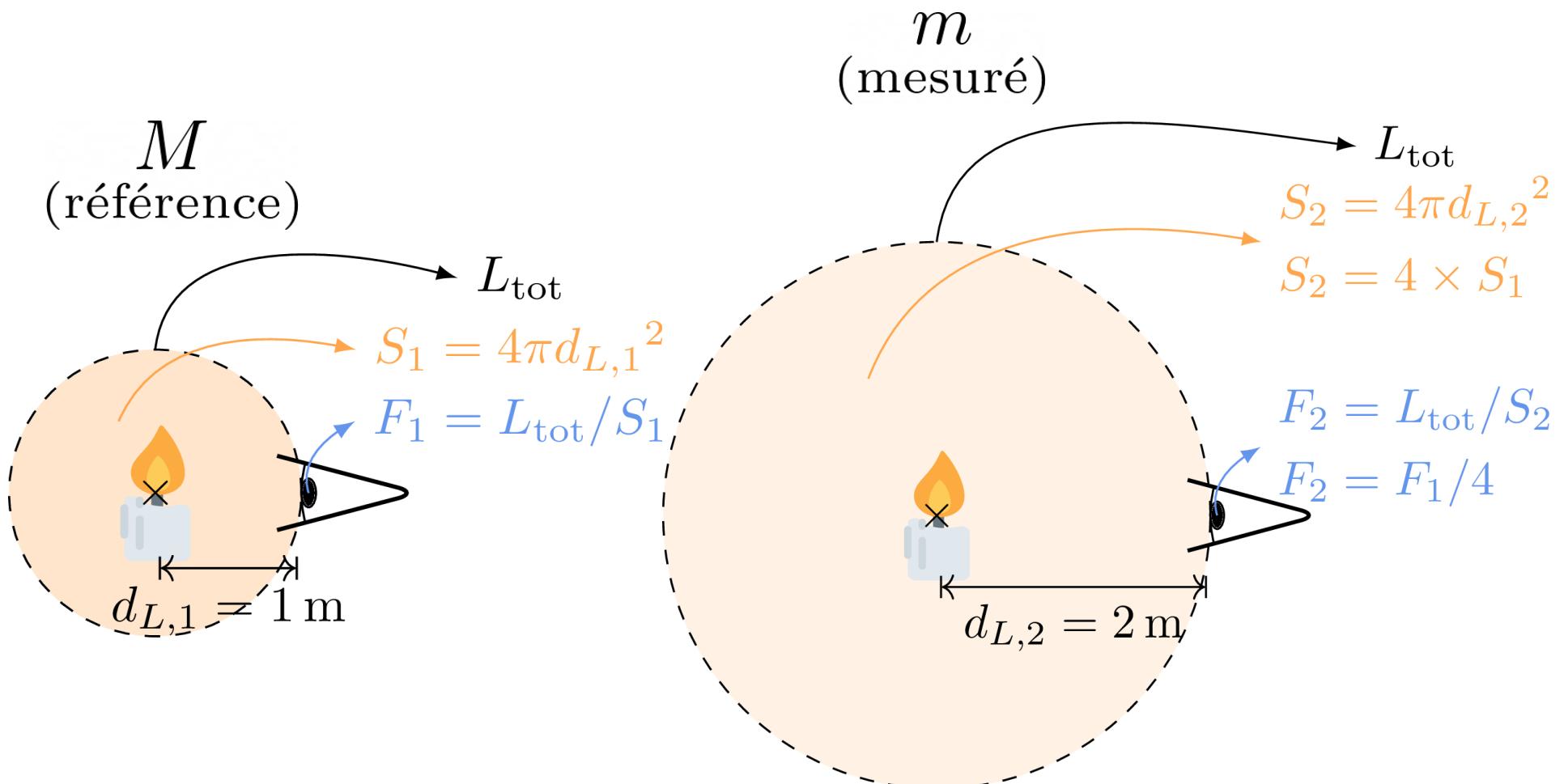
Cosmologie observationnelle : histoire



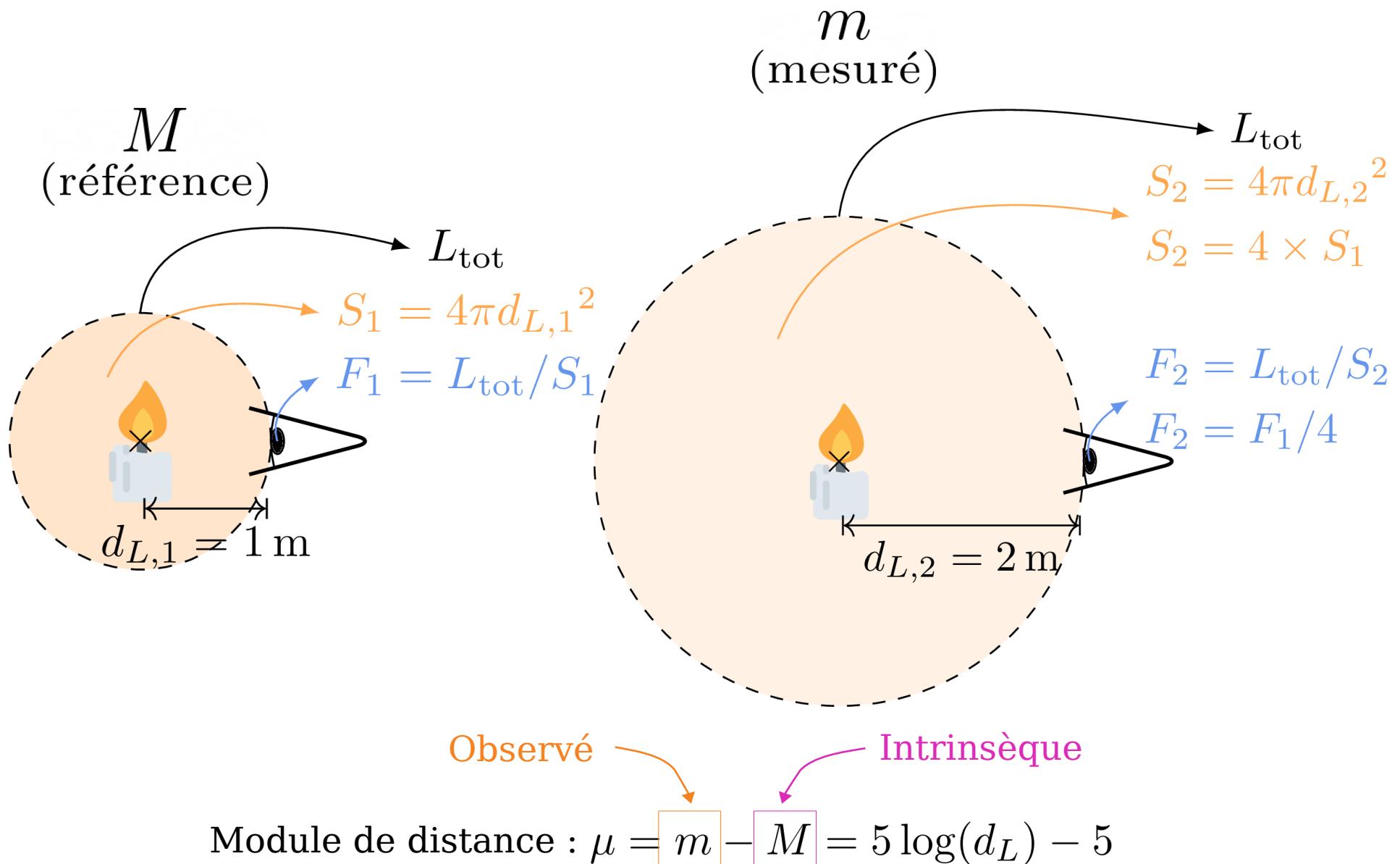
Cosmologie observationnelle : mesure



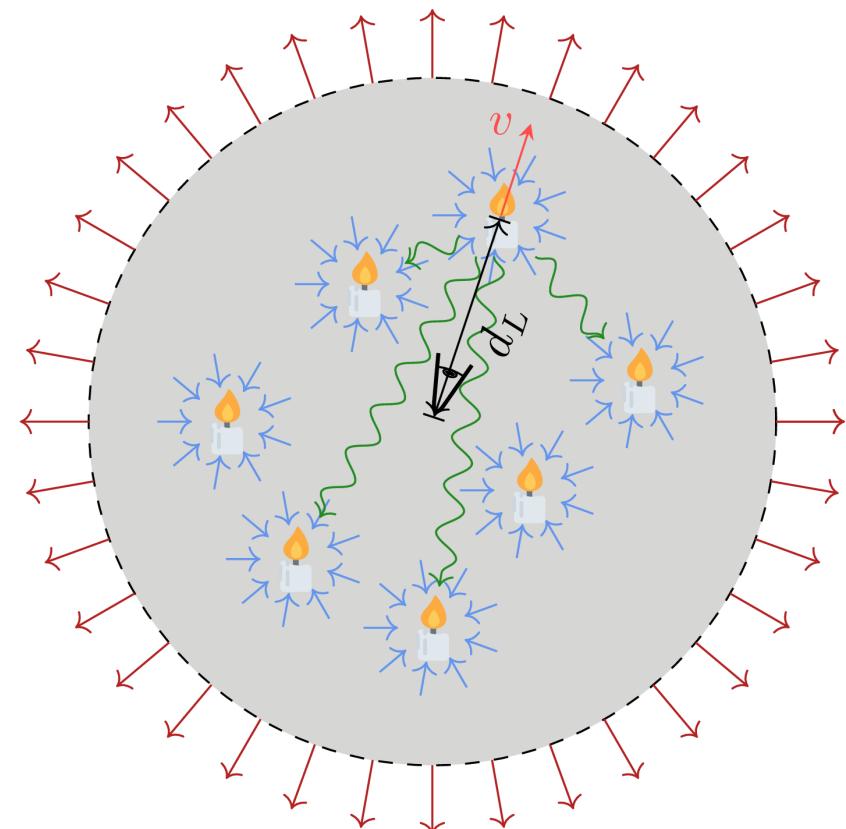
Cosmologie observationnelle : mesure



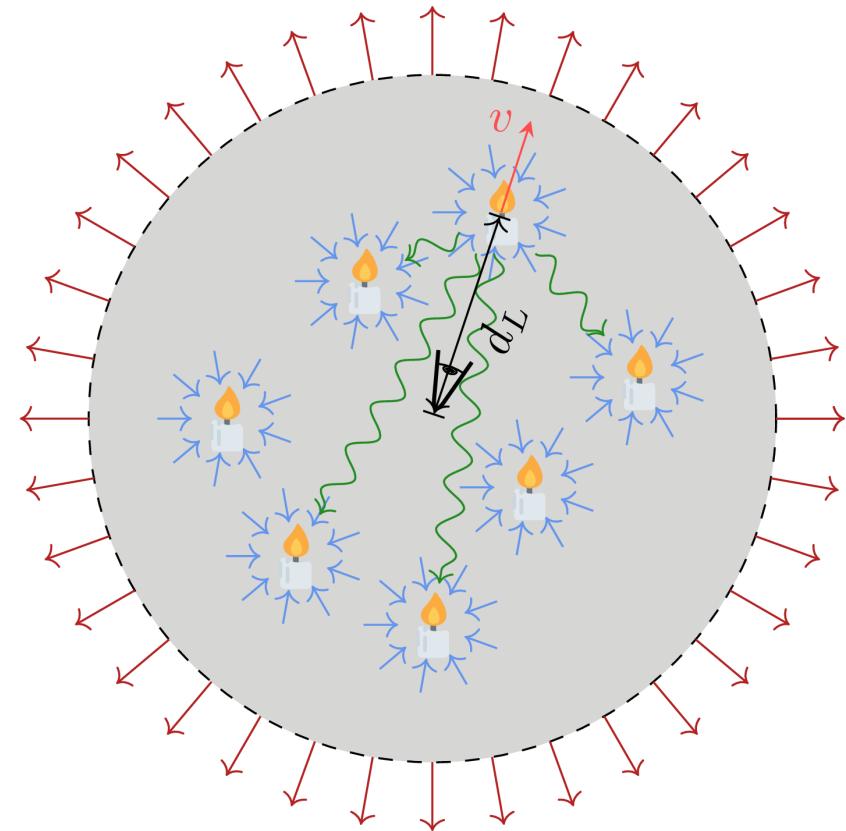
Cosmologie observationnelle : mesure



Cosmologie observationnelle : théorie

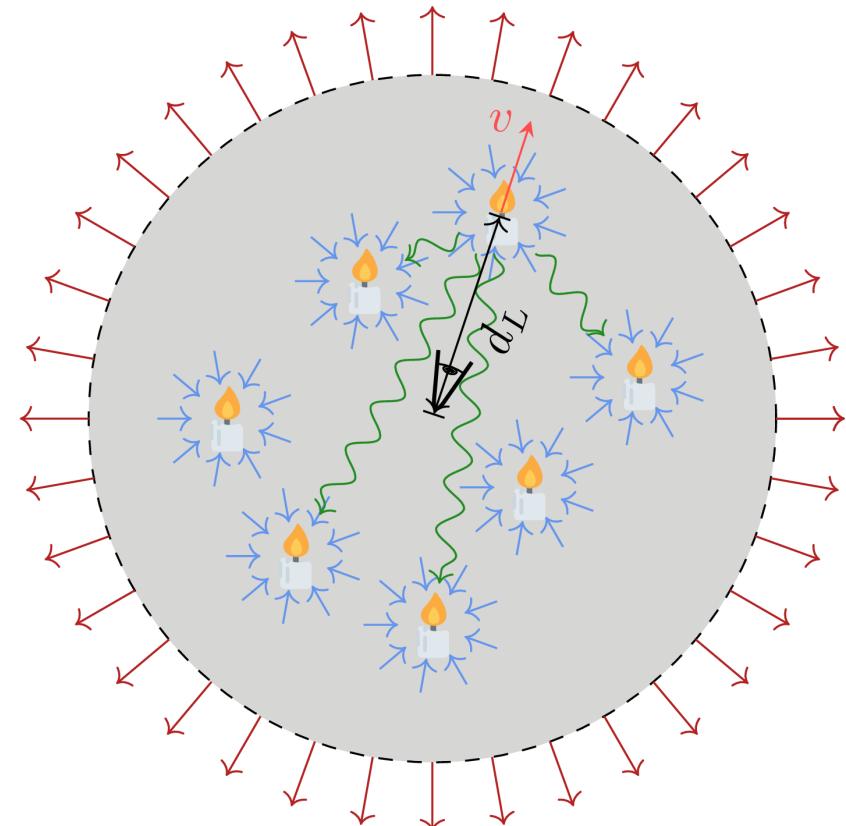


Cosmologie observationnelle : théorie



Paramètres cosmologiques :	
H_0 : taux d'expansion	$\rightarrow d_L \nearrow \Rightarrow v \nearrow$
Ω_r : densité du rayonnement	\rightarrow Faible contribution
Ω_m : densité de la matière	\rightarrow Contracte l'espace
Ω_Λ : densité de l'énergie sombre	\rightarrow Dilate l'espace
w : paramètre d'état de Ω_Λ	\rightarrow Décrit son comportement

Cosmologie observationnelle : théorie



Paramètres cosmologiques :

H_0 : taux d'expansion	$\rightarrow d_L \nearrow \Rightarrow v \nearrow$
Ω_r : densité du rayonnement	\rightarrow Faible contribution
Ω_m : densité de la matière	\rightarrow Contracte l'espace
Ω_Λ : densité de l'énergie sombre	\rightarrow Dilate l'espace
w : paramètre d'état de Ω_Λ	\rightarrow Décrit son comportement

Vitesse (redshift)

Distance : $d_L = (1+z) \times \frac{c}{H_0} \left(\int_0^z dz' \left[\Omega_R(1+z')^4 + \Omega_M(1+z')^3 + \Omega_\Lambda(1+z')^{3(1+w)} \right]^{-1/2} \right)$

Const. de Hubble Radiation Matière Énergie sombre

Cosmologie observationnelle : pratique

Observé → Intrinsèque

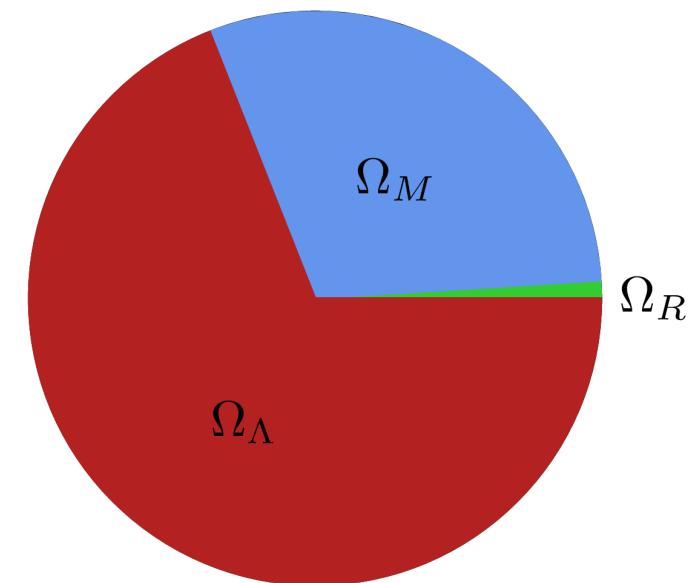
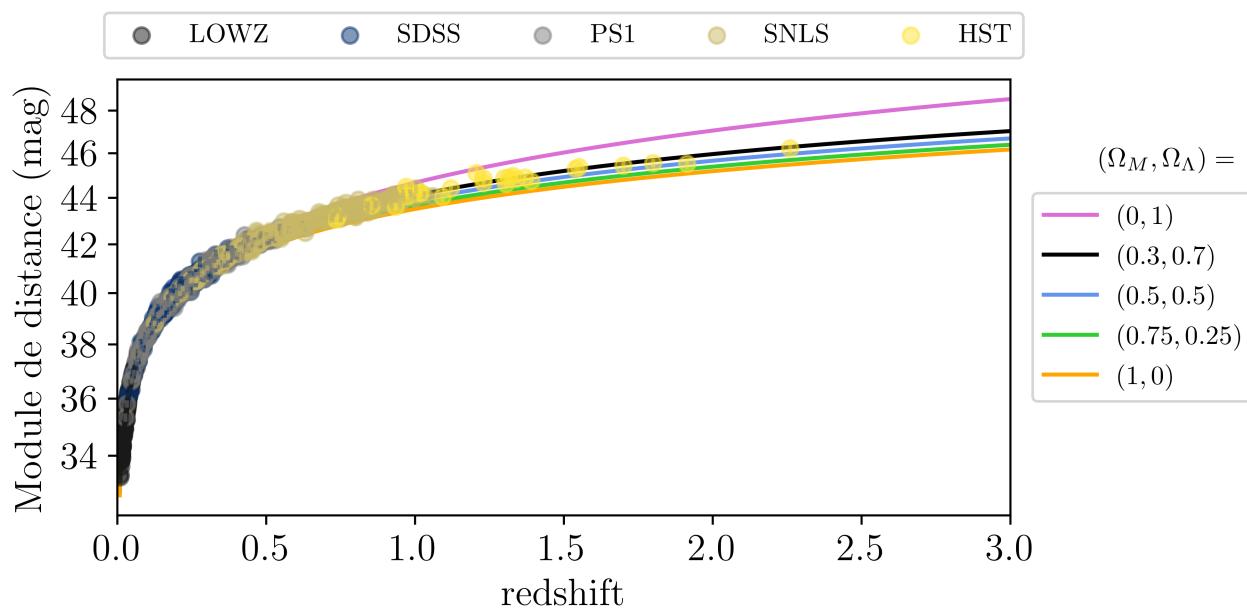
Module de distance : $\mu = m - M = 5 \log(d_L) - 5$

Vitesse
(redshift)

Distance : $d_L = (1 + z) \times \frac{c}{H_0} \left(\int_0^z dz' \left[\Omega_R(1 + z')^4 + \Omega_M(1 + z')^3 + \Omega_\Lambda(1 + z')^{3(1+w)} \right]^{-1/2} \right)$

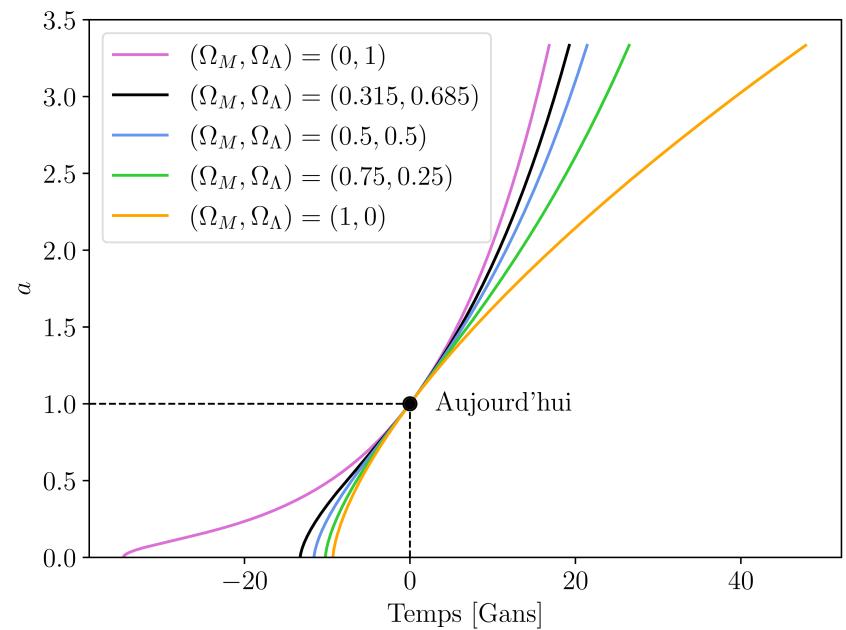
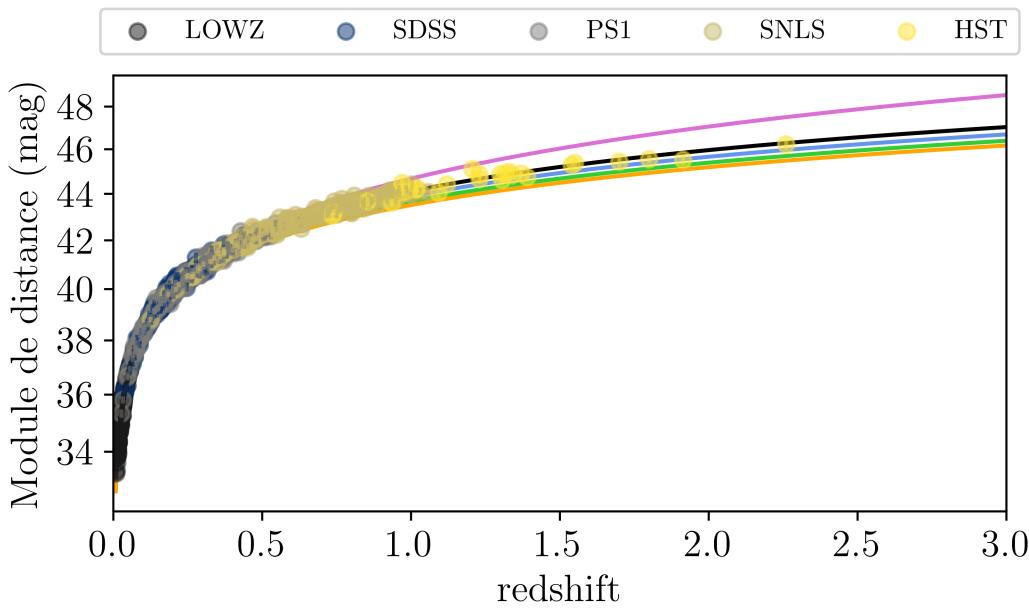
Const. de Hubble Radiation Matière Énergie sombre

Comportement de l'énergie sombre



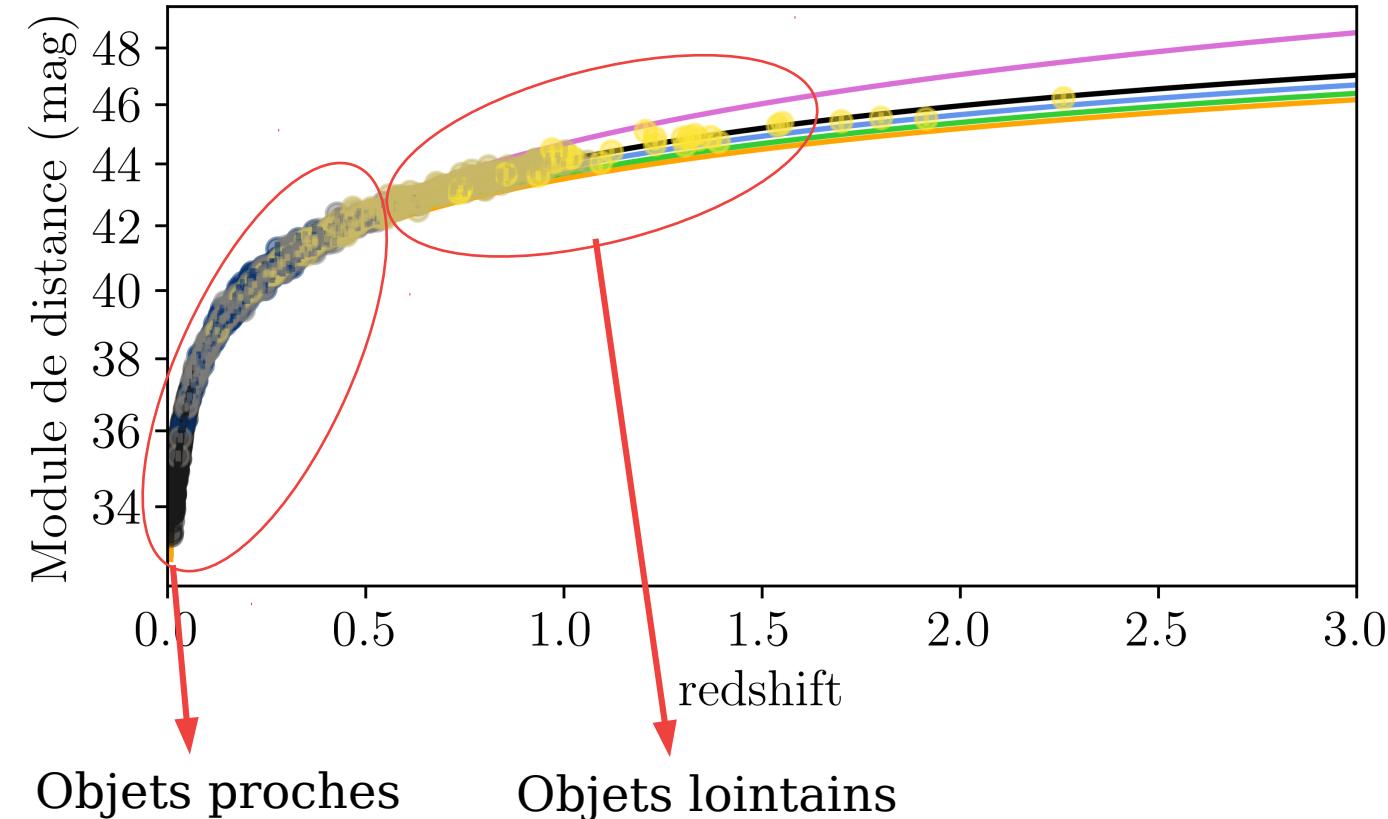
Cosmologie observationnelle : pratique

Observé → Intrinsèque
 Module de distance : $\mu = m - M = 5 \log(d_L) - 5$
Vitesse
(redshift)
 Distance : $d_L = (1 + z) \times \frac{c}{H_0} \left(\int_0^z dz' \left[\Omega_R(1 + z')^4 + \Omega_M(1 + z')^3 + \Omega_\Lambda(1 + z')^{3(1+w)} \right]^{-1/2} \right)$
Const. de Hubble Radiation Matière Énergie sombre
Comportement de
l'énergie sombre



Cosmologie observationnelle : SNe Ia

● LOWZ ● SDSS ● PS1 ● SNLS ● HST

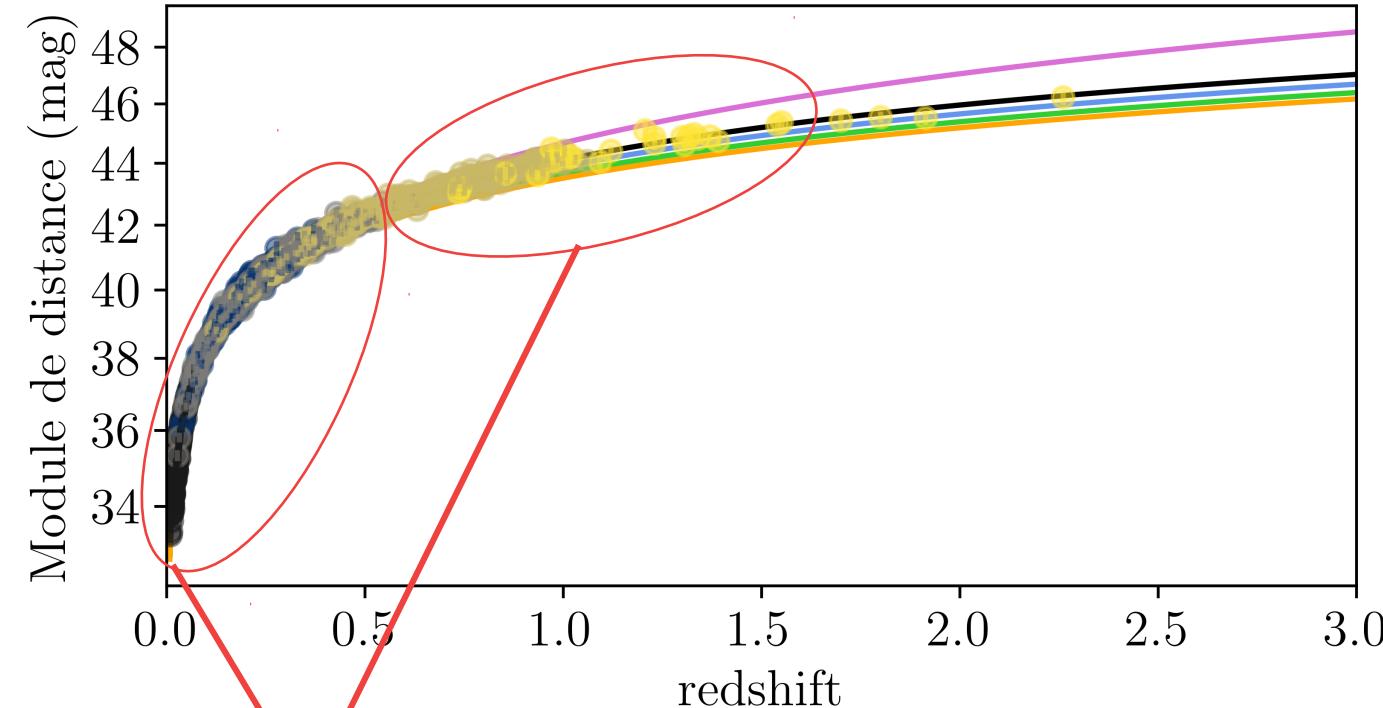


✓ $L_{\text{SN}} \approx L_{\text{galaxie}}$

$\underbrace{L_{\text{SN}}}_{15 \text{ jours}}$ $\underbrace{L_{\text{galaxie}}}_{5 \text{ Mans}}$

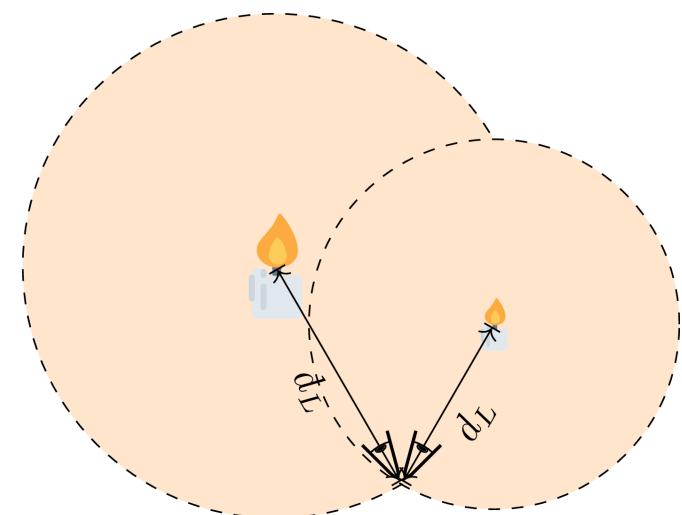
Cosmologie observationnelle : SNe Ia

● LOWZ ● SDSS ● PS1 ● SNLS ● HST



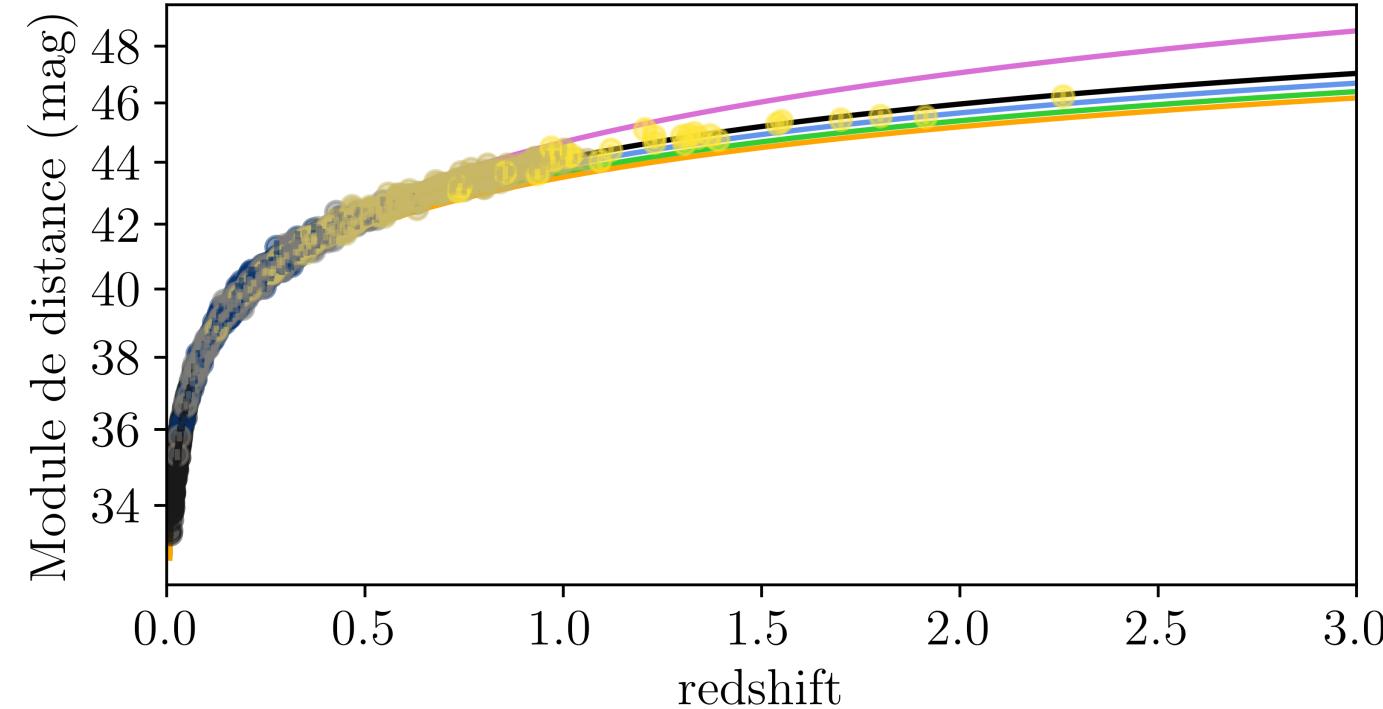
Même luminosité ?

- ✓ $L_{\text{SN}} \approx L_{\text{galaxie}}$
15 jours 5 Mans
- ✗ $L_{\text{astre}_1} \neq L_{\text{astre}_2}$



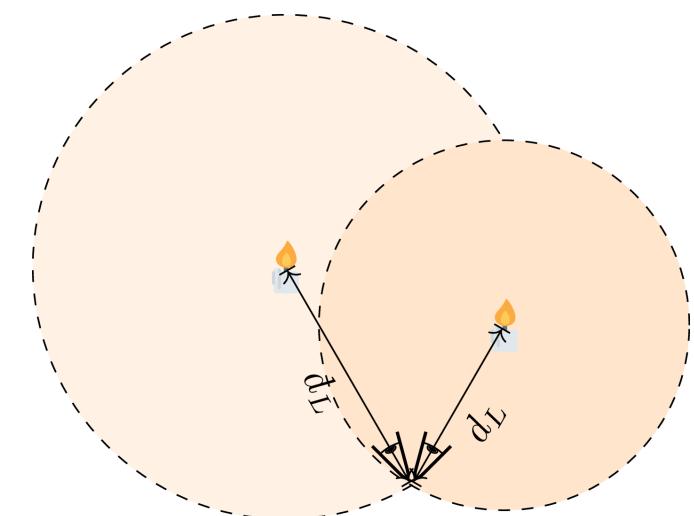
Cosmologie observationnelle : SNe Ia

● LOWZ ● SDSS ● PS1 ● SNLS ● HST

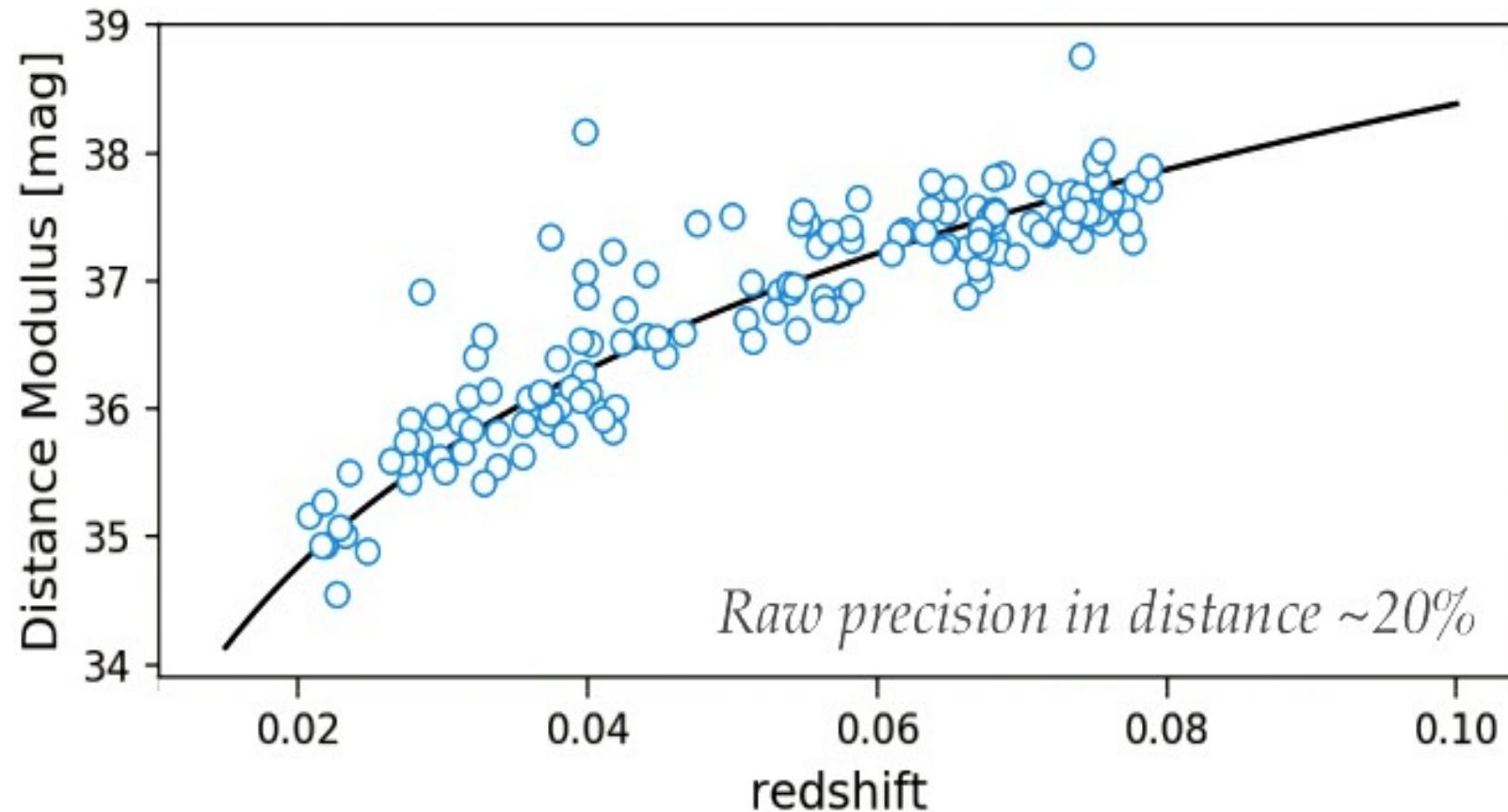


« Chandelles standard »

- ✓ $L_{\text{SN}} \approx L_{\text{galaxie}}$
15 jours 5 Mans
- ✓ $L_{\text{SNe Ia}} \approx \text{const}$

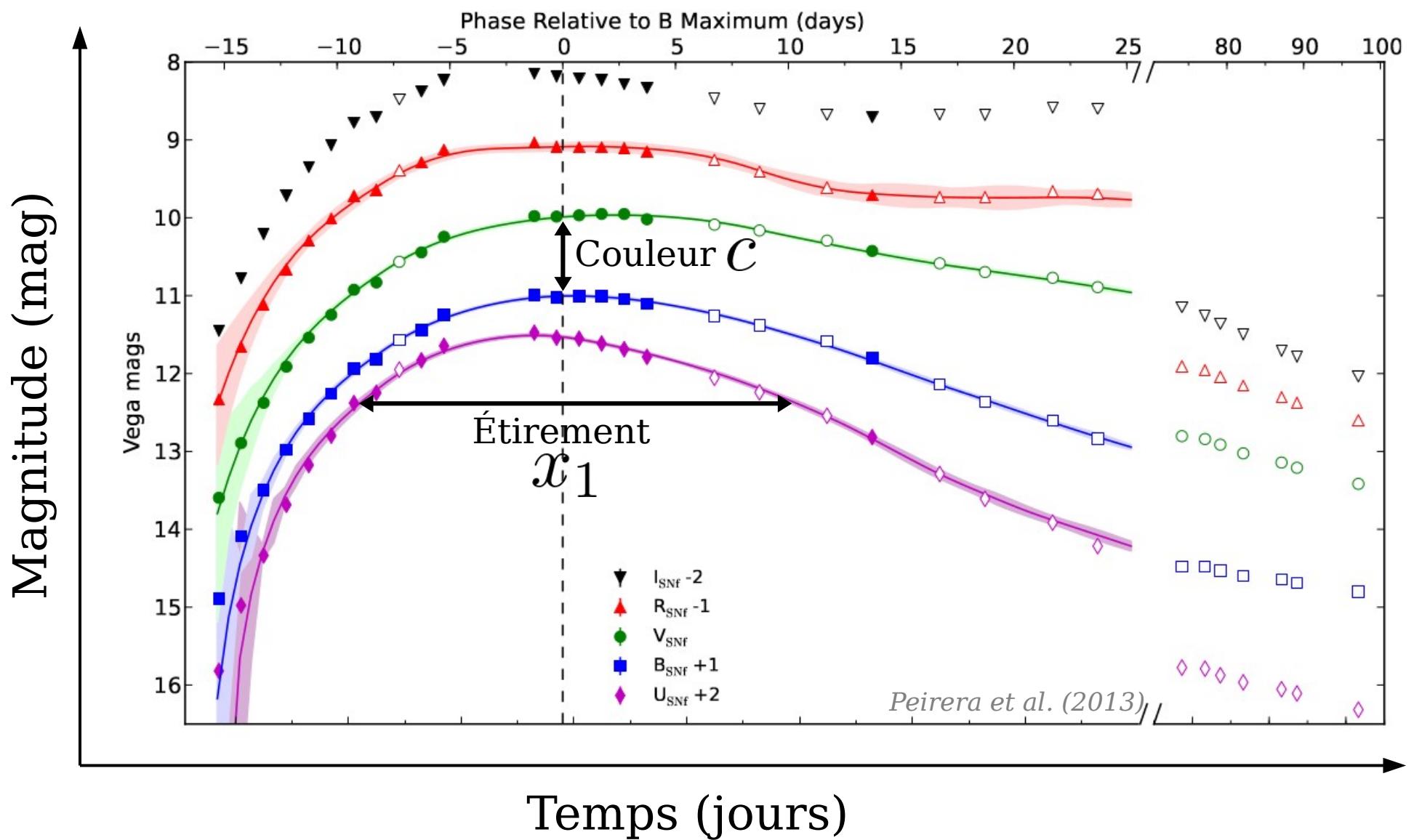


Cosmologie observationnelle : SNe Ia

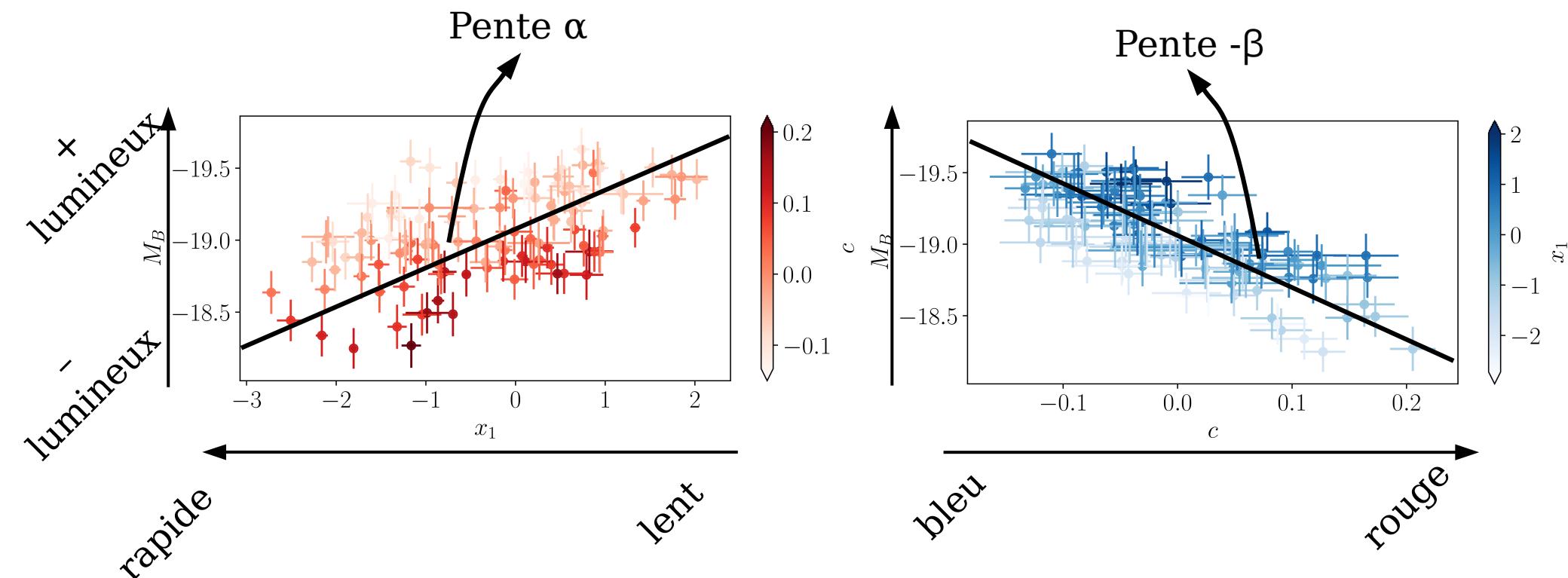


« Chandelles standardisables »

Paramètres de courbe de lumière



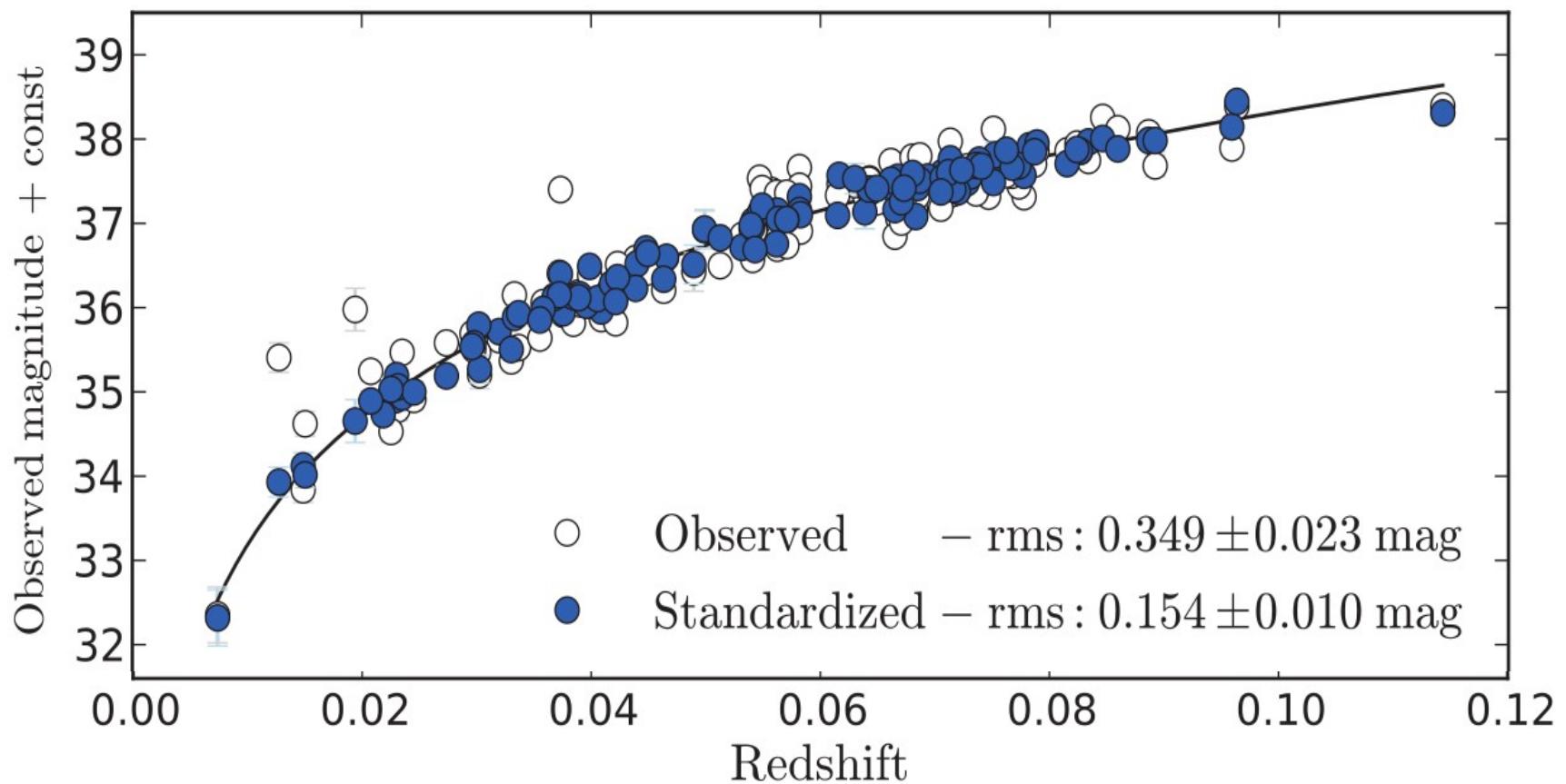
Relation luminosité - largeur et couleur



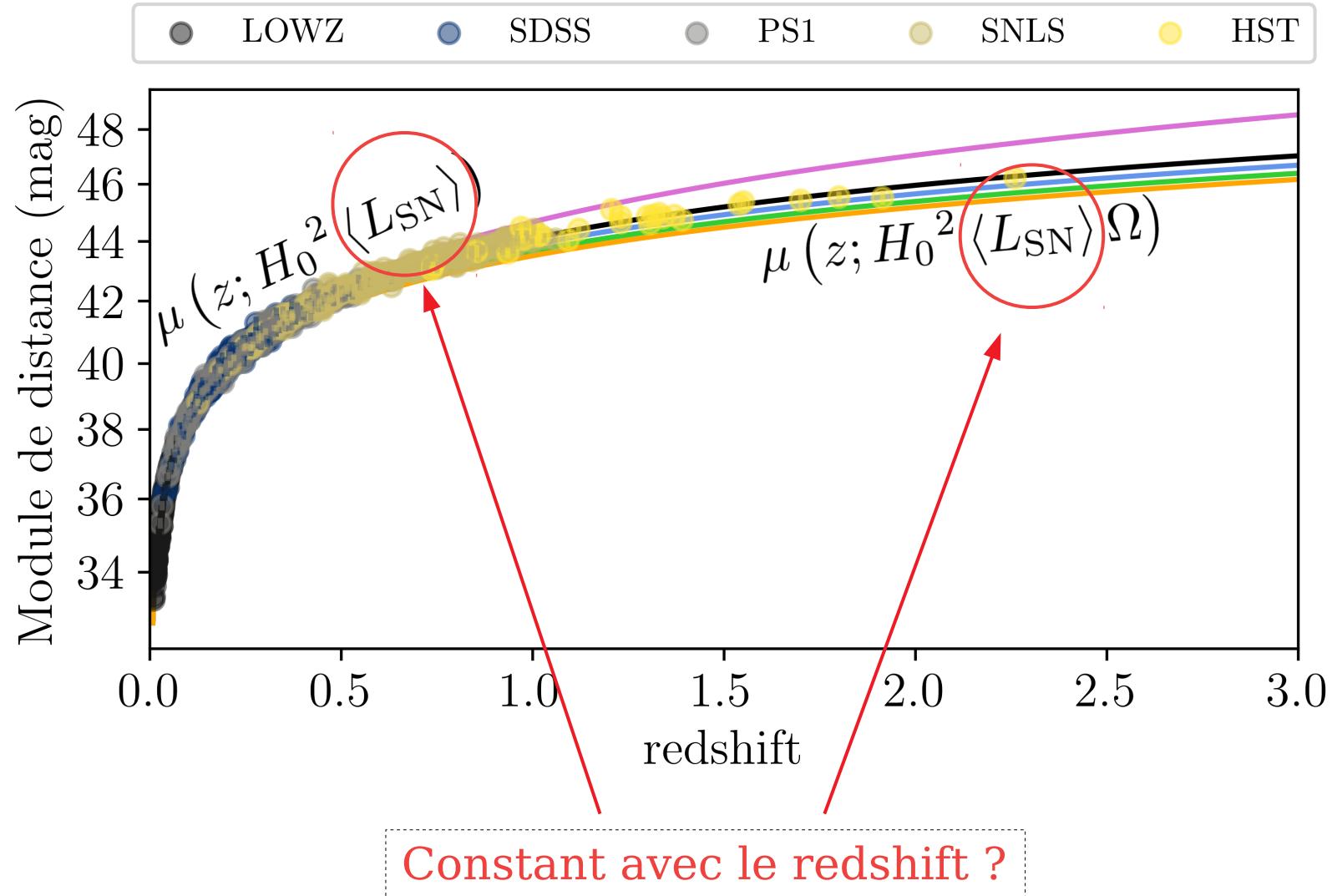
Module de distance standardisé : $\mu = m_B - M + (\alpha x_1 - \beta c)$

Cosmologie observationnelle : SNe Ia

Module de distance *standardisé* : $\mu = m_B - M + (\alpha x_1 - \beta c)$



Erreurs systématiques - ancrage de l'étude



Base de réflexion :

Modèle d'évolution des jeunes étoiles

Physique du progéniteur des SNe Ia largement inconnue

- ? Explosion simplement dégénérée
- ? Explosion doublement dégénérée

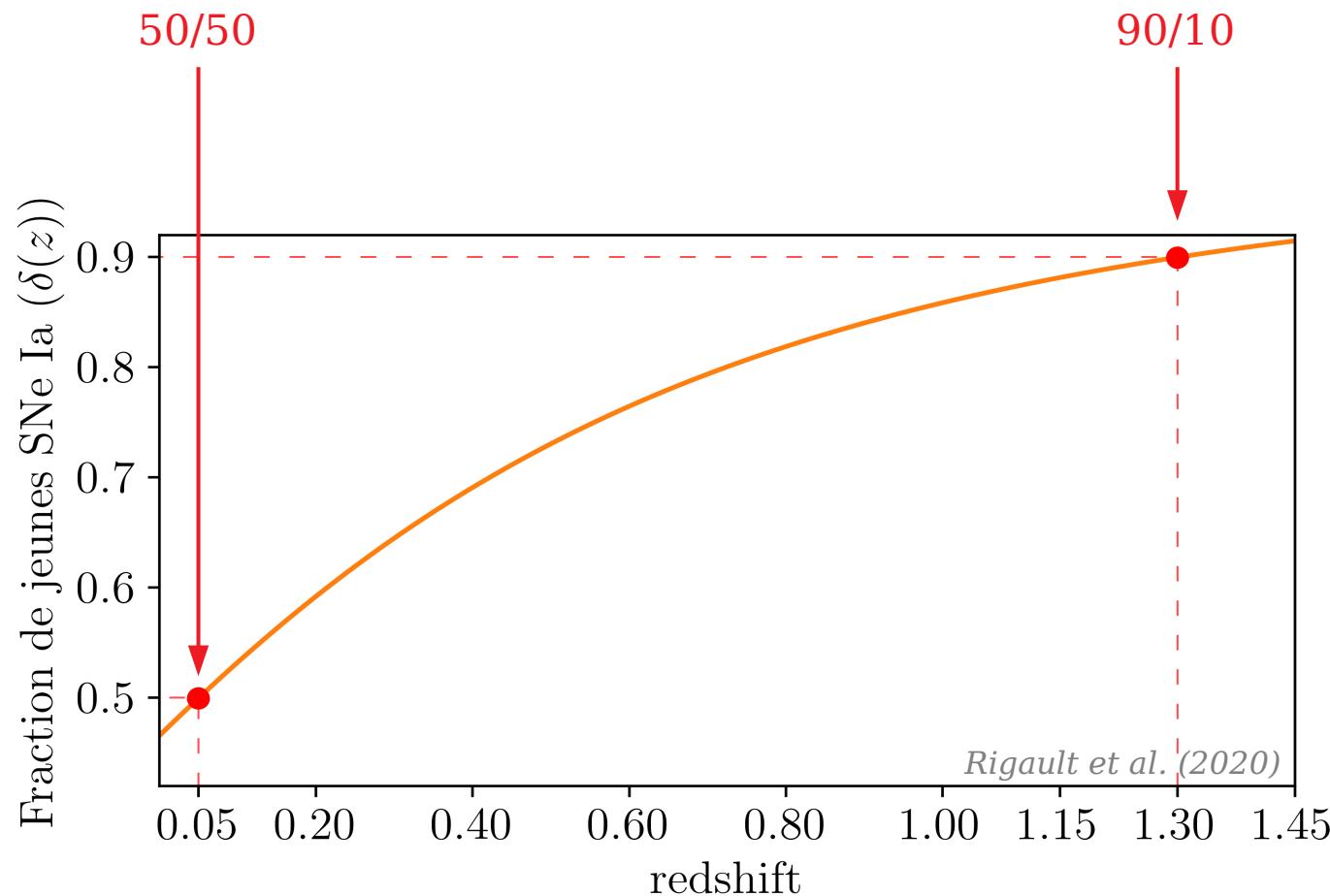
✓ Propriétés des étoiles sont liées à la population stellaire

→ Comment évolue la population stellaire avec le redshift ?

**Si les propriétés des étoiles évoluent avec
le redshift, celles des progéniteurs aussi**

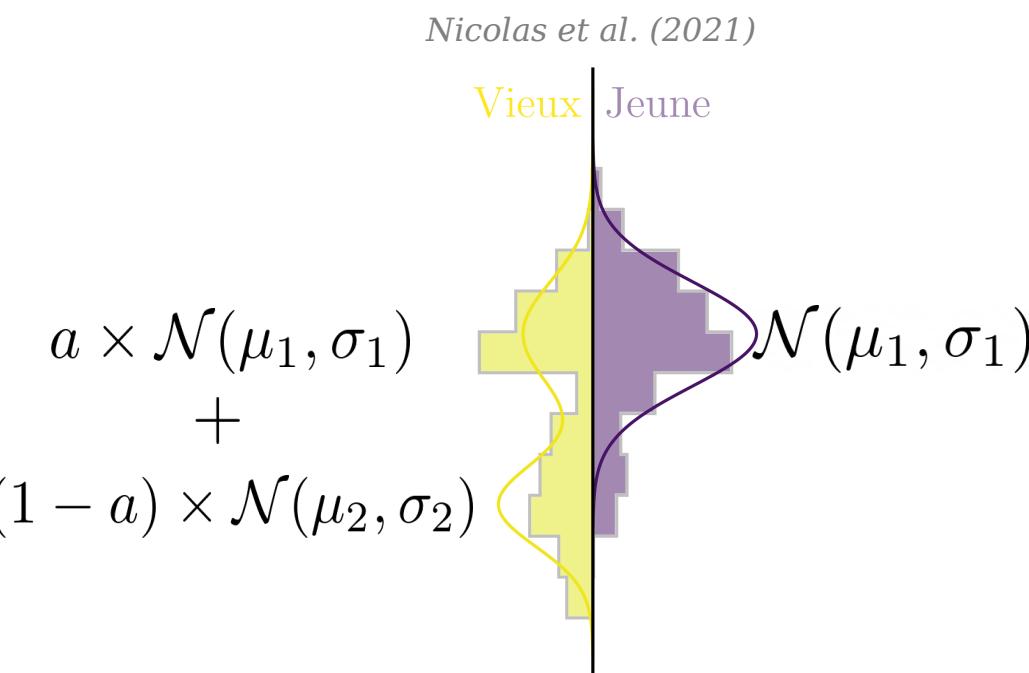
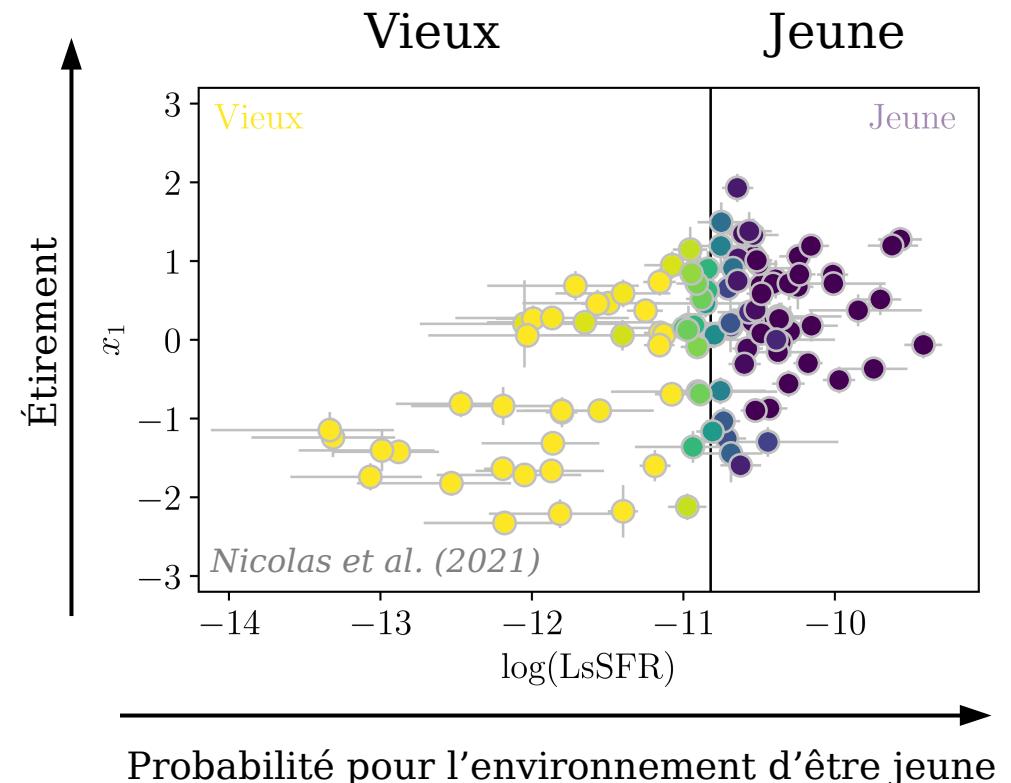
Base de réflexion :

Modèle d'évolution des jeunes étoiles



Environnement évolue avec le redshift

Base de réflexion : Modèle d'évolution des jeunes étoiles

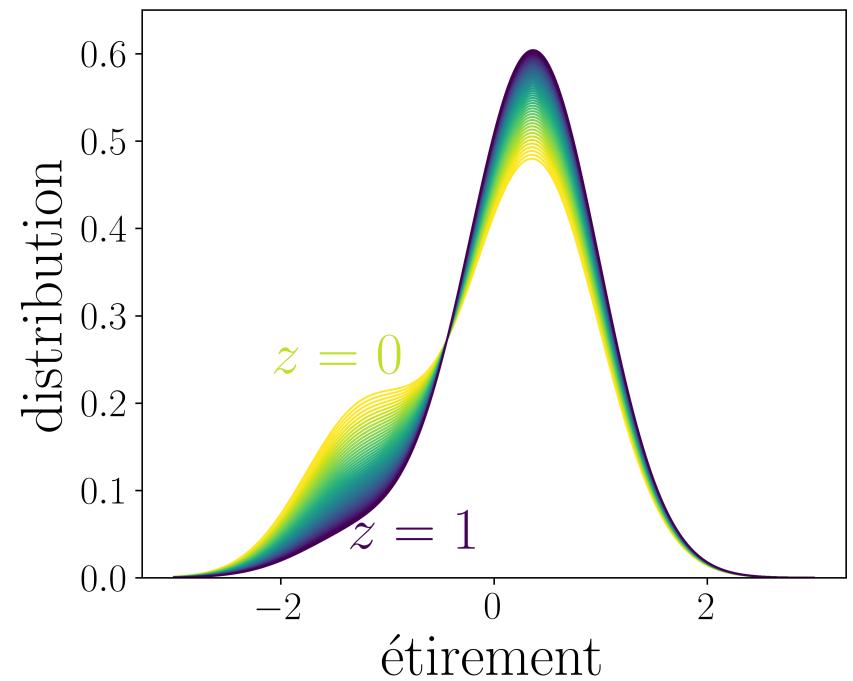
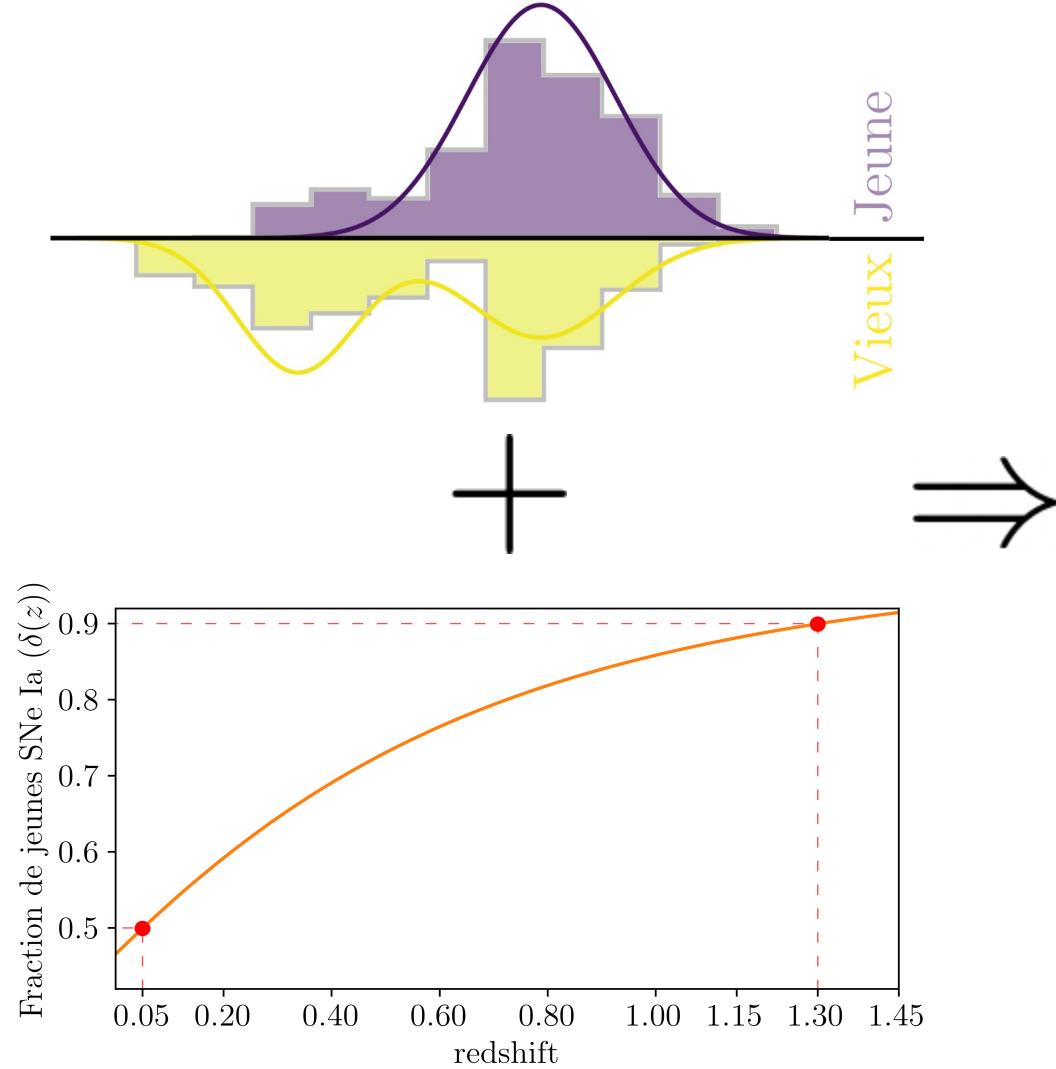


Probabilité pour l'environnement d'être jeune

SNe Ia dépendent de l'environnement

Base de réflexion : Modèle d'évolution des jeunes étoiles

Nicolas et al. (2021)

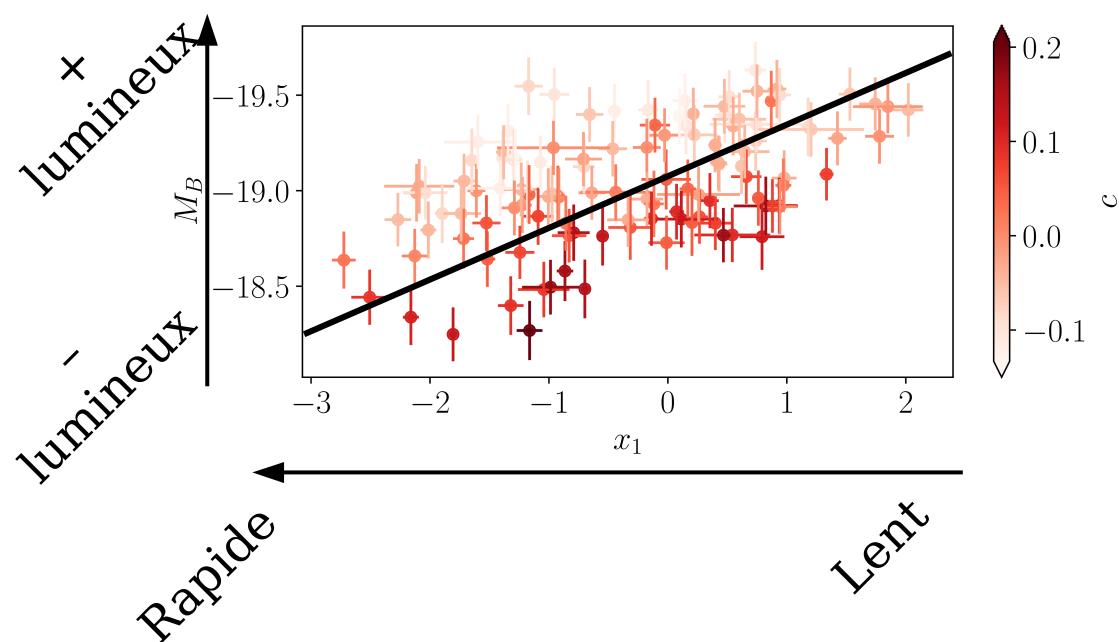
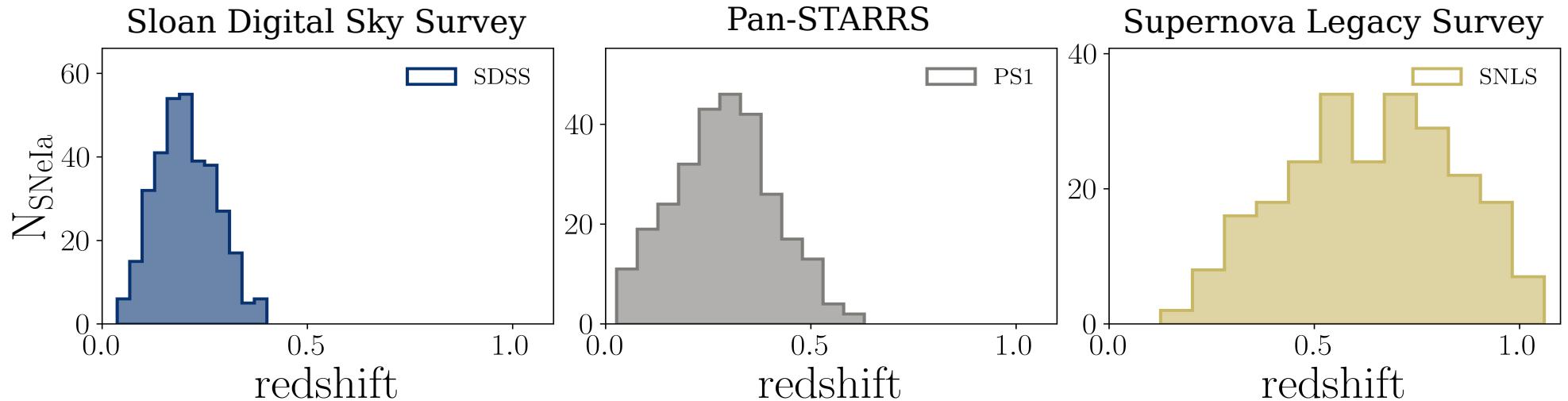


Étirement des SNe Ia
évolue avec le redshift

Échantillon complet

Exempt d'effets de sélection

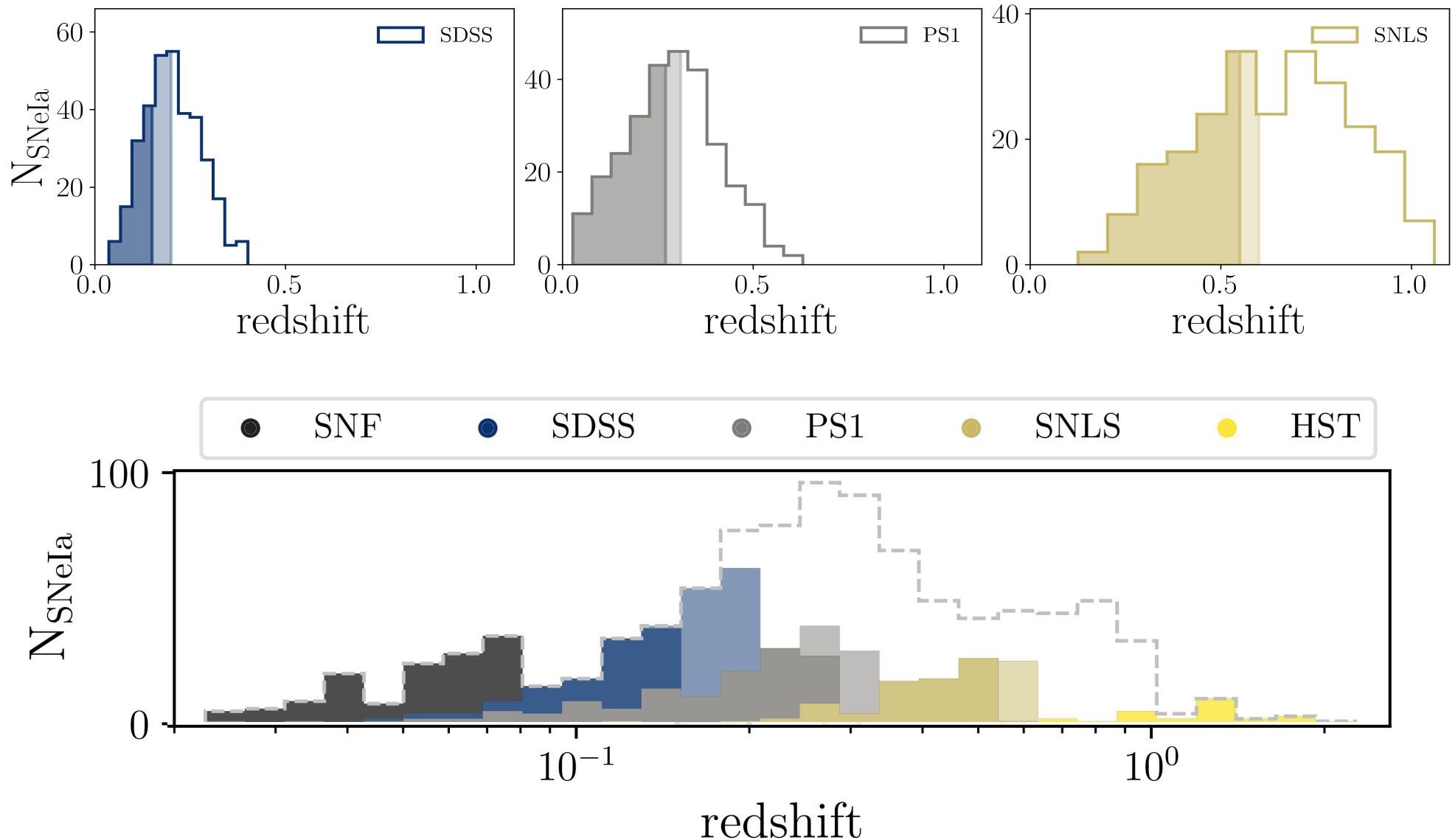
Nicolas et al. (2021)



Échantillon complet

Exempt d'effets de sélection

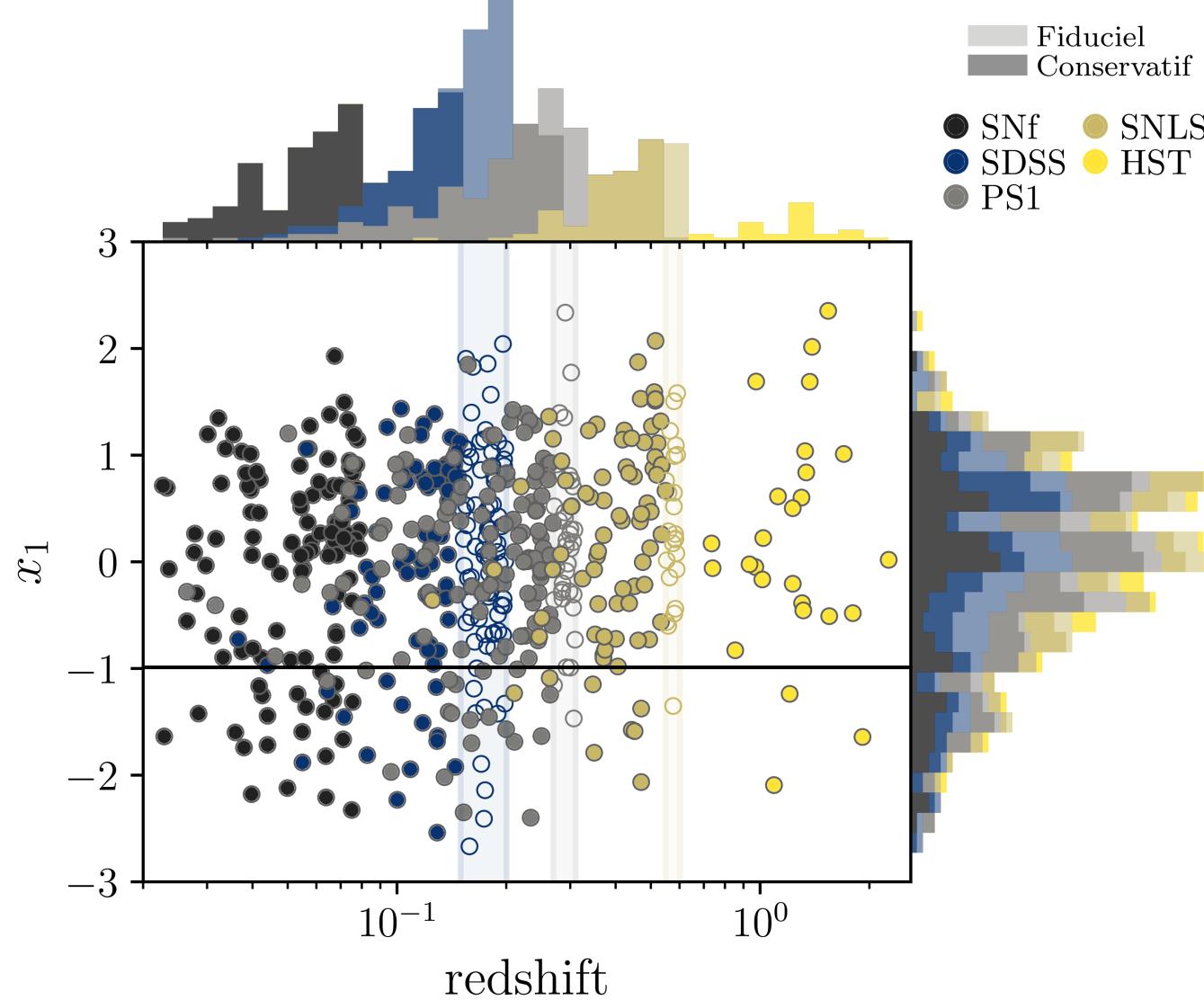
Nicolas et al. (2021)



Échantillon complet

Exempt d'effets de sélection

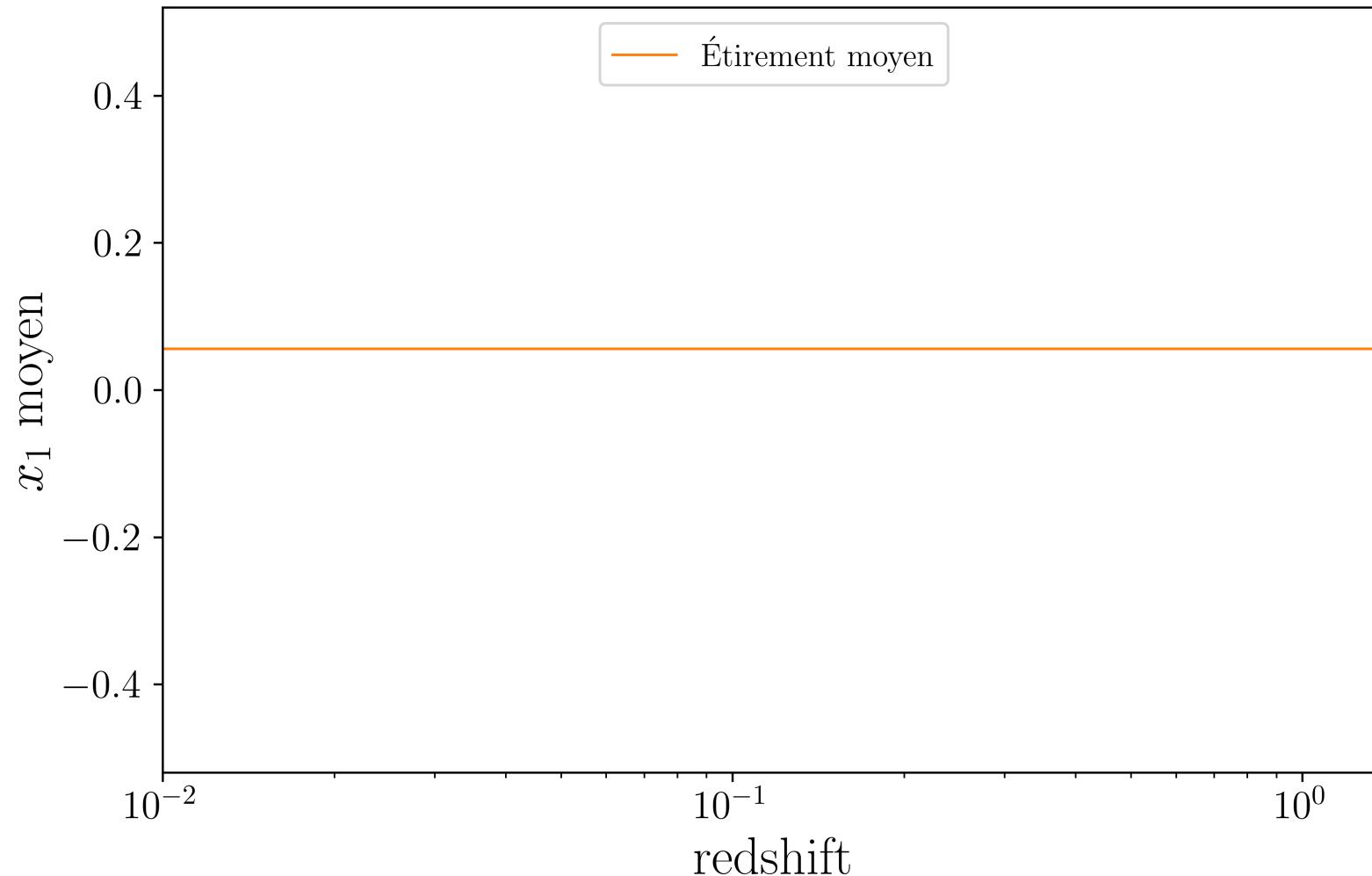
Nicolas et al. (2022)



Évolution de l'étirement

Dérive de l'étirement comparée aux données

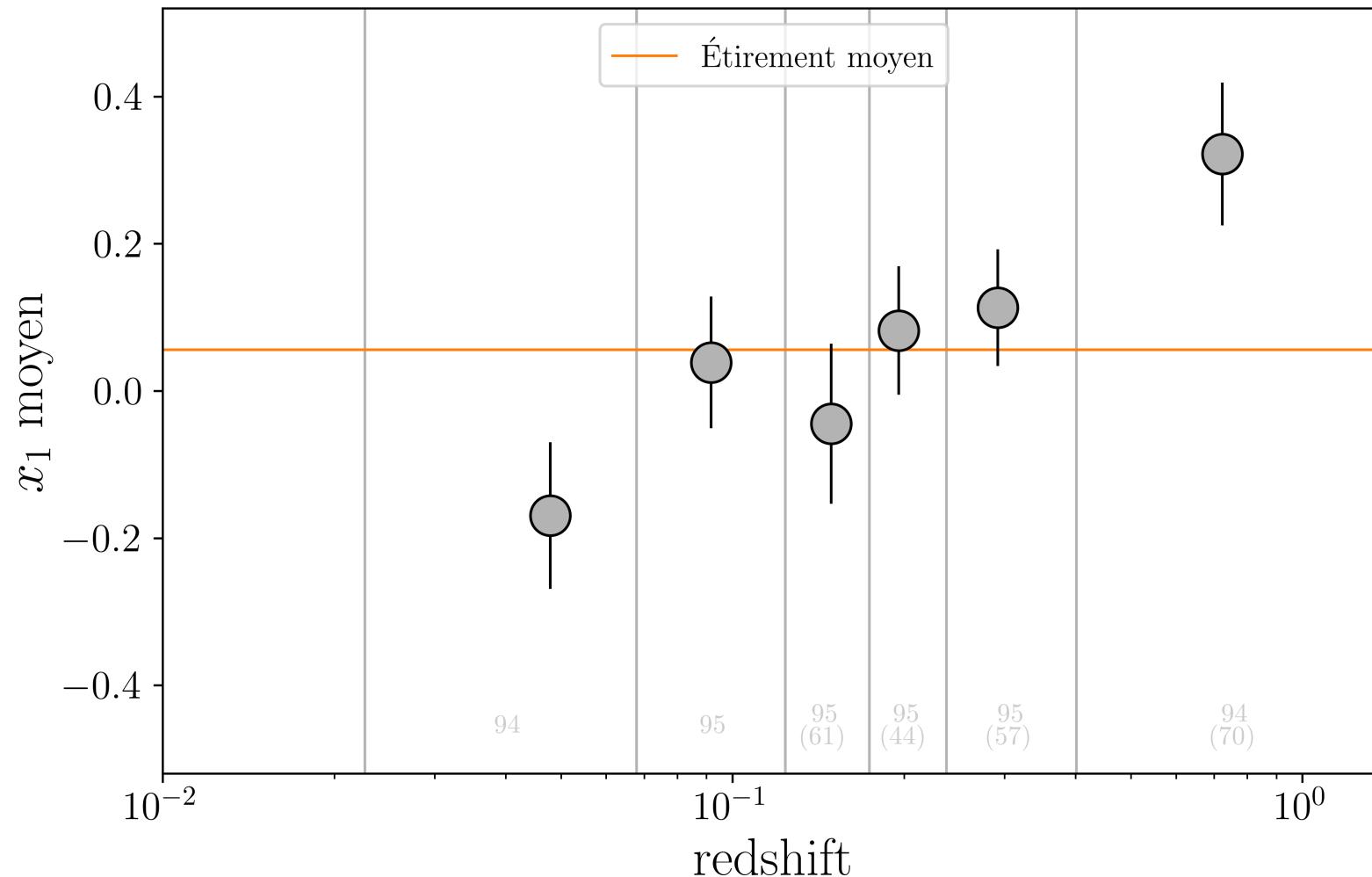
Nicolas et al. (2021)



Évolution de l'étirement

Dérive de l'étirement comparée aux données

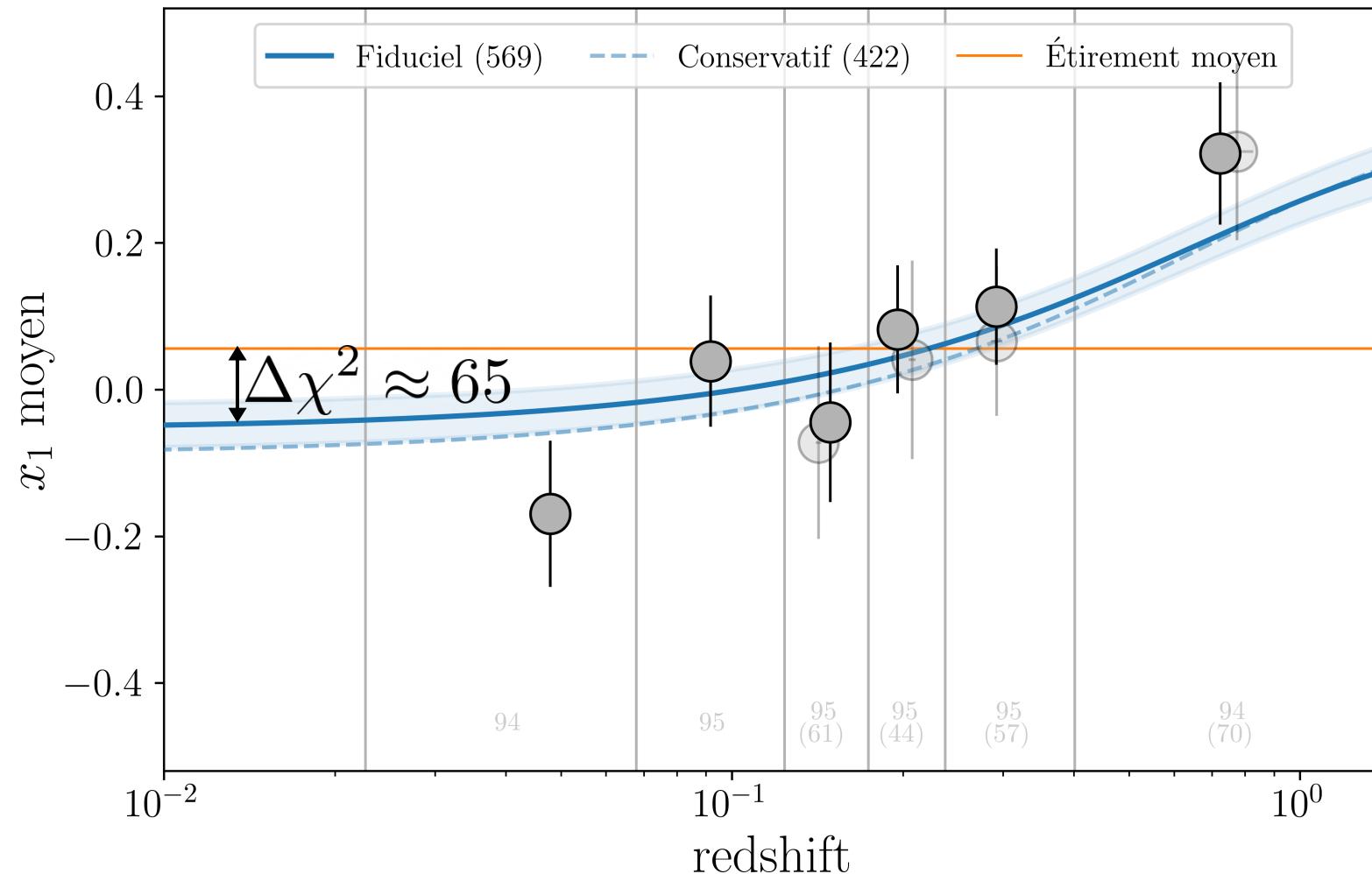
Nicolas et al. (2021)



Évolution de l'étirement

Dérive de l'étirement comparée aux données

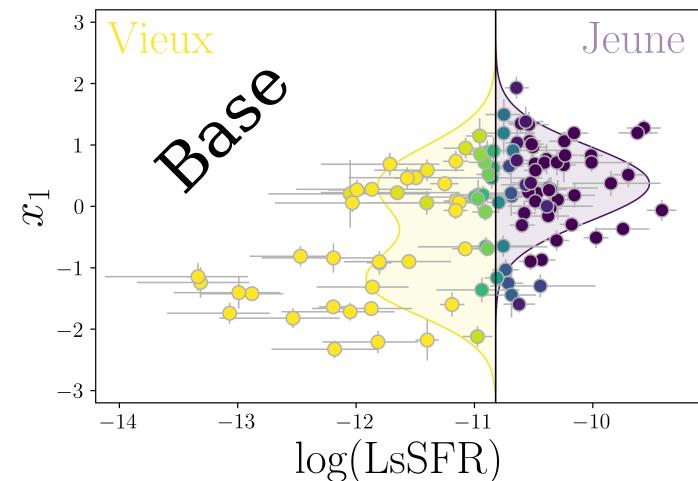
Nicolas et al. (2021)



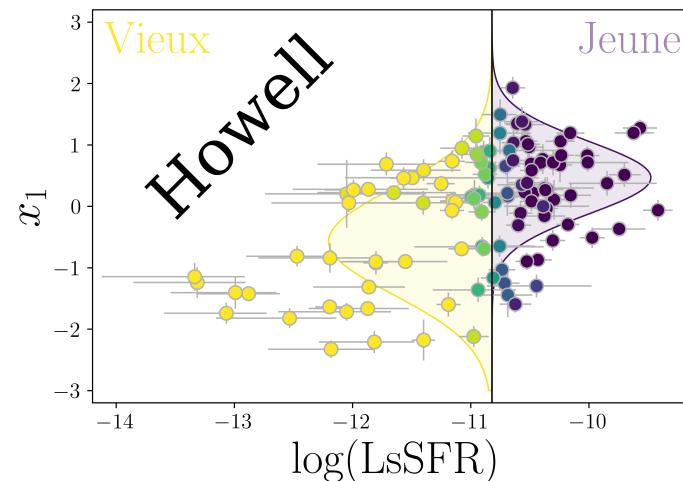
Évolution de l'étirement

Dérive de l'étirement comparée aux données

Nicolas et al. (2021)



5 paramètres



4 paramètres

Dérive de l'âge

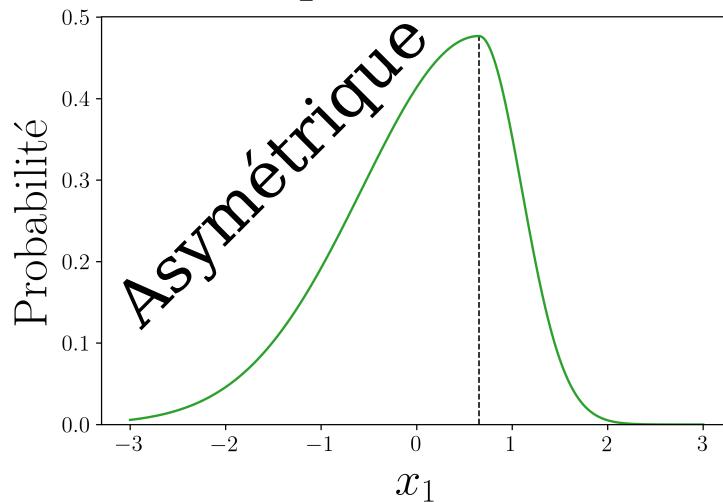
$$\delta(z) = (K^{-1} \times (1 + z)^{-\phi} + 1)^{-1}$$

+

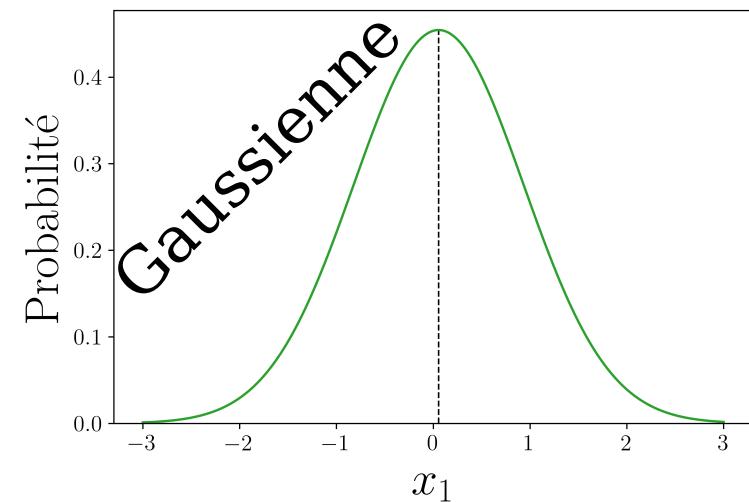
Ou sans dérive

$$\delta(z) = \text{cst}$$

3 paramètres

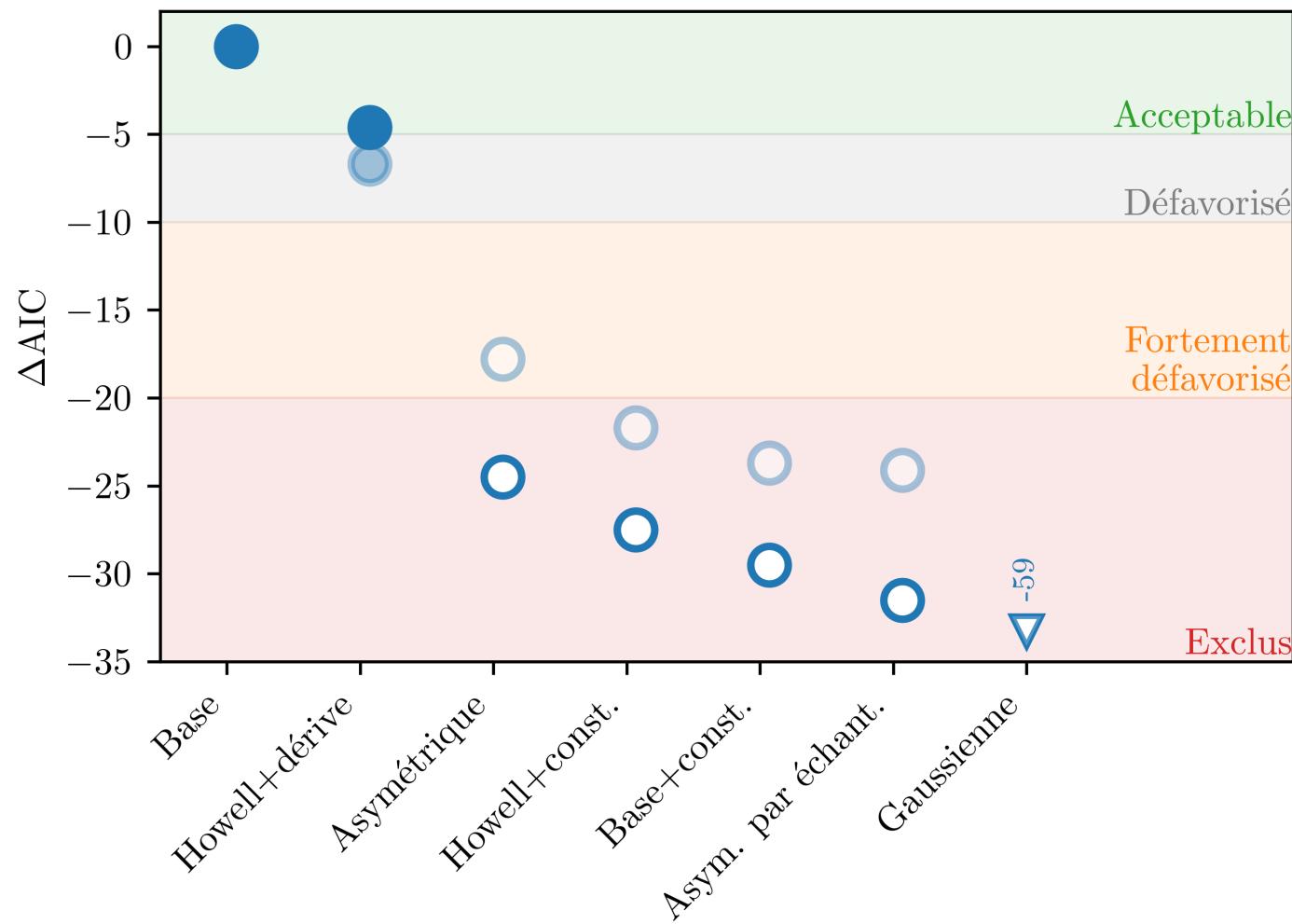


2 paramètres



Résultats de la comparaison

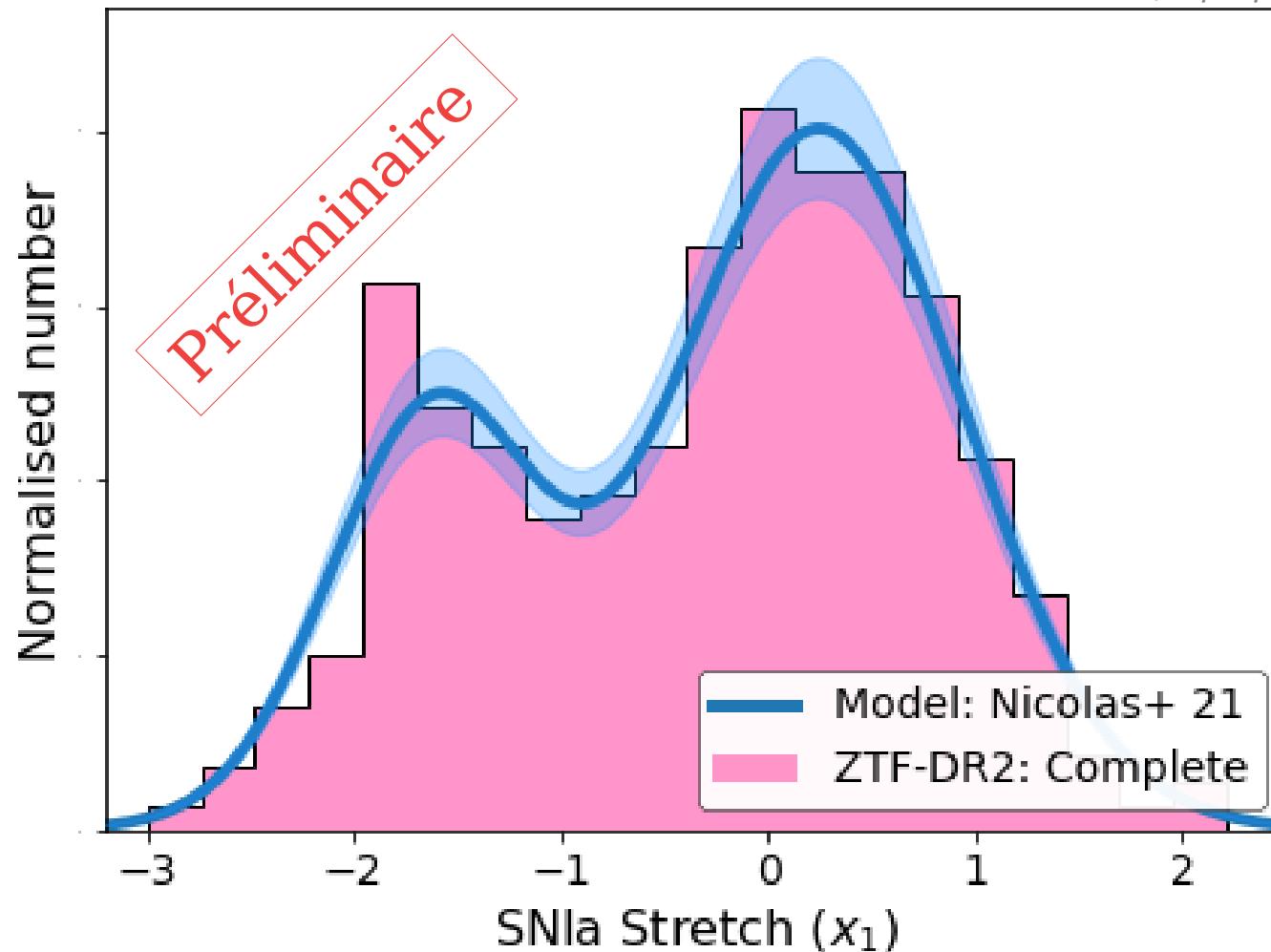
Nicolas et al. (2021)



Mon modèle de base est devenu la référence pour la communauté

Force du modèle

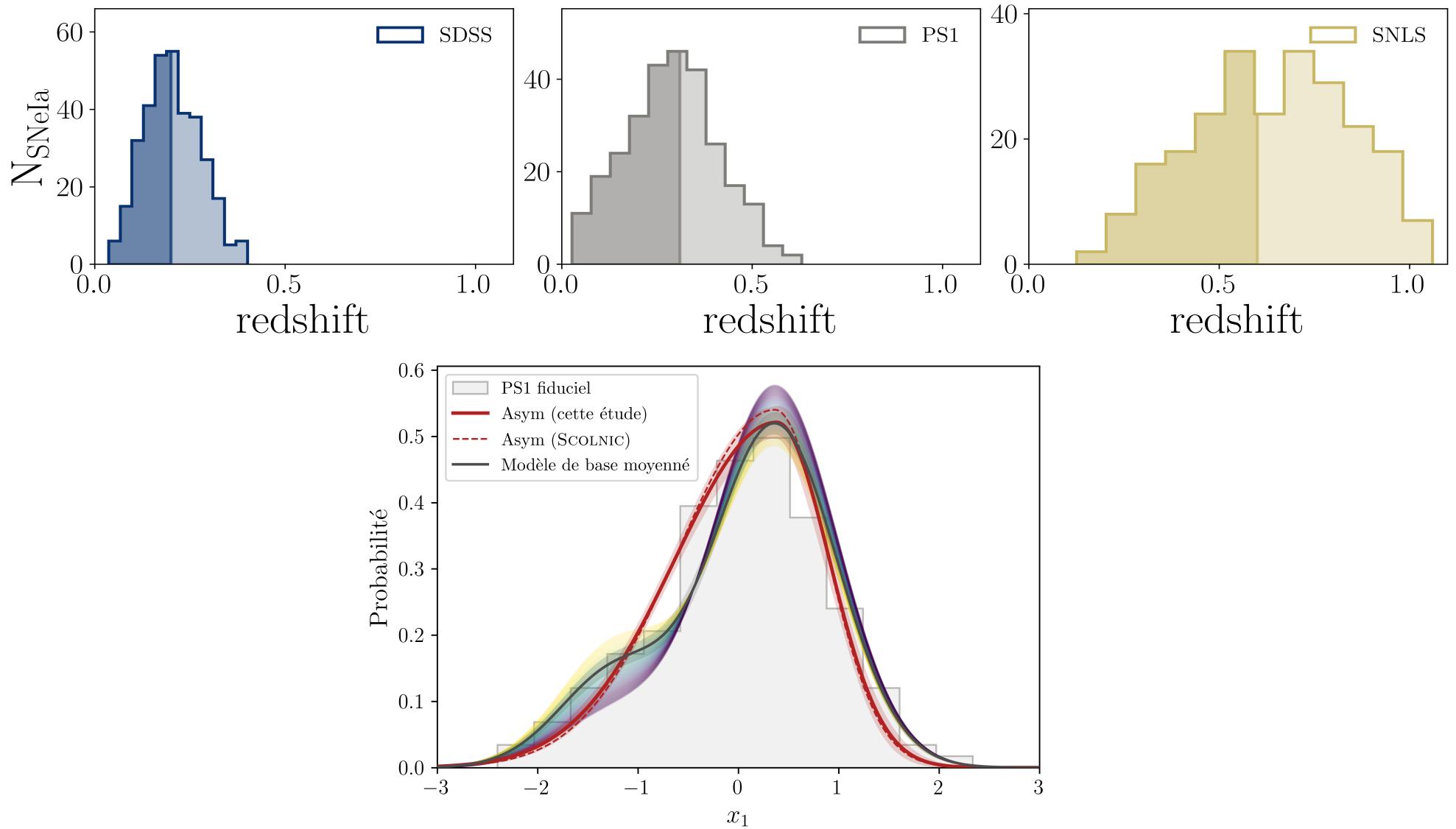
Smith et al. (in prep)



Échantillon complet

Exempt d'effets de sélection

Nicolas et al. (2021)



Simulations avec SNANA

Présentation

Nicolas et al. (in prep)

1) Choisir une galaxie

Position, masse, redshift...

2) Corréler la SN avec et prendre paramètres « parfaits » (x_1, c)

3) Simuler le télescope qui acquiert

Cadence, nuage, qualité de la caméra...

4) Appliquer la sélection cosmologique

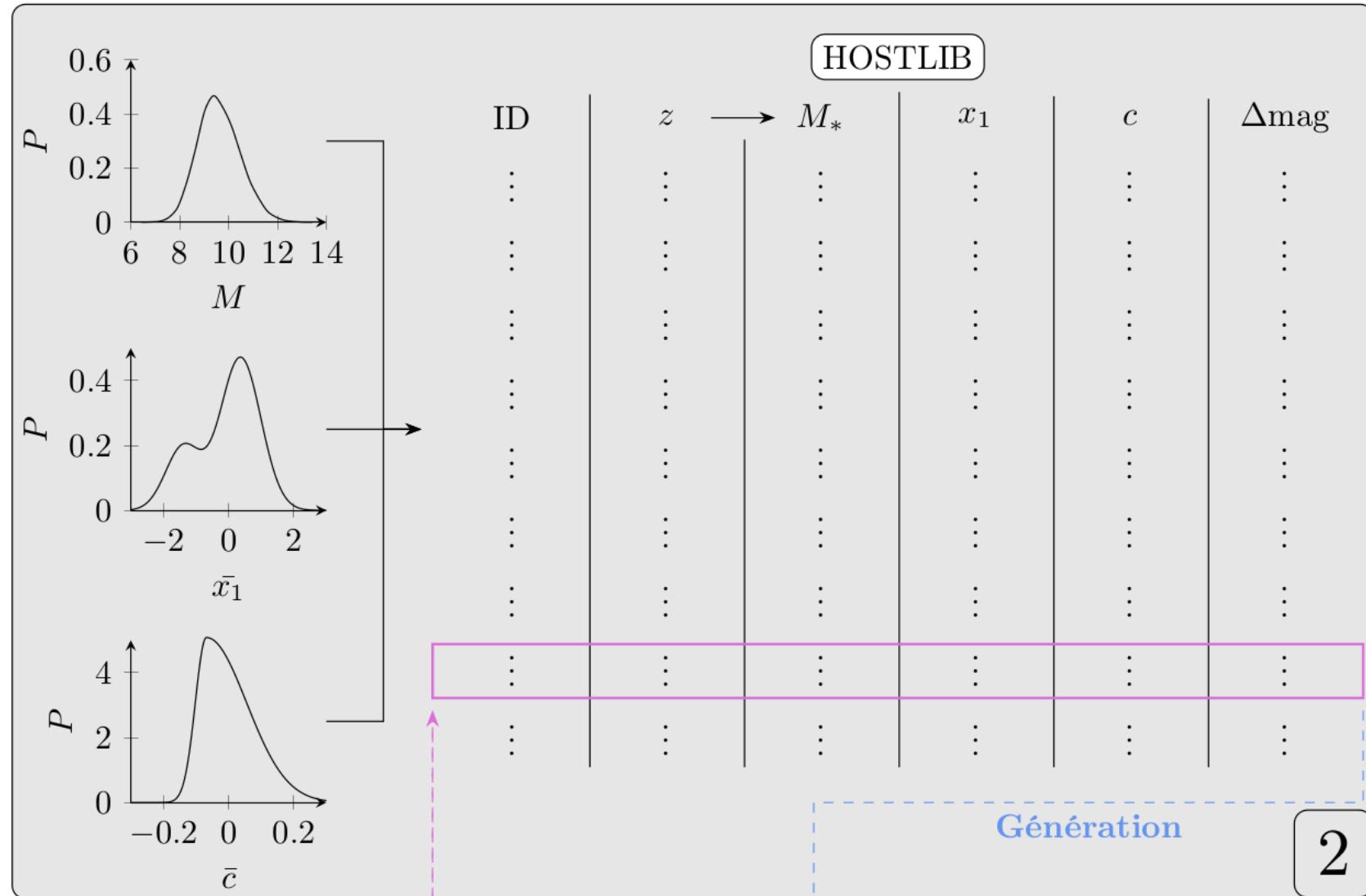
Coupe de qualité, classification réussie

Simulations avec SNANA

Présentation

Nicolas et al. (in prep)

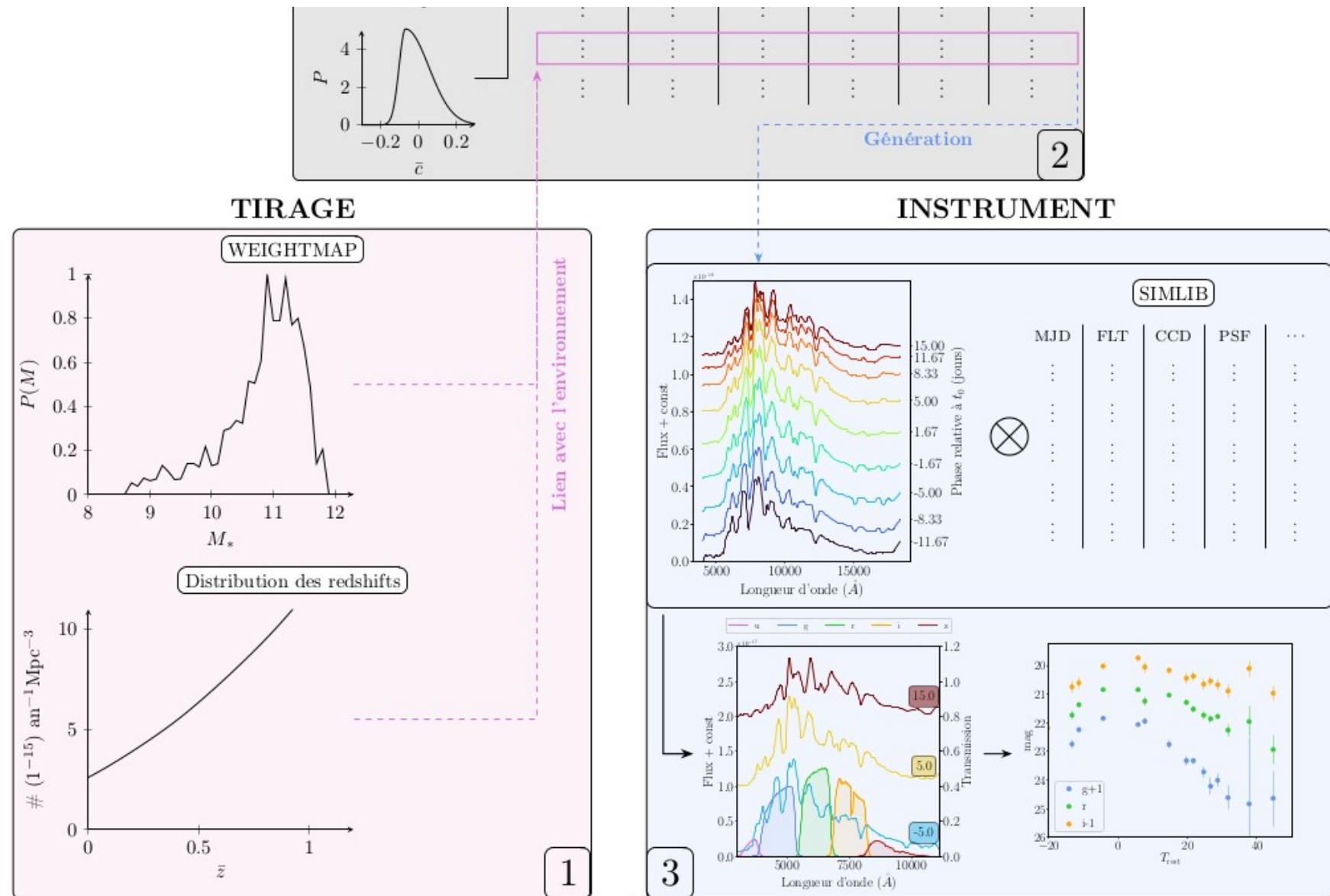
CRÉATION HOSTLIB



Simulations avec SNANA

Présentation

Nicolas et al. (in prep)

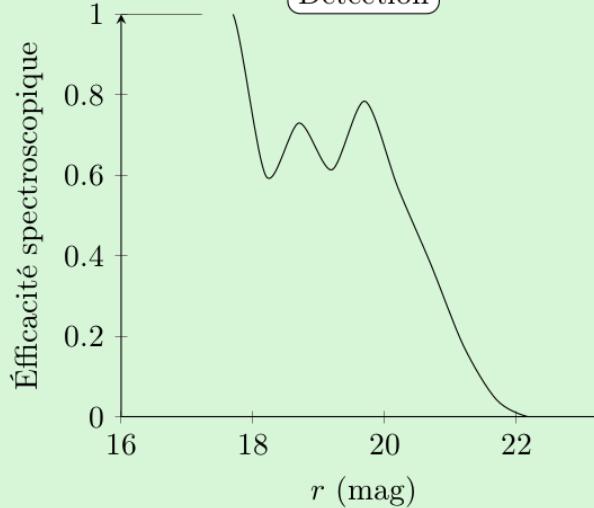


Simulations avec SNANA

Présentation

Nicolas et al. (in prep)

SÉLECTION



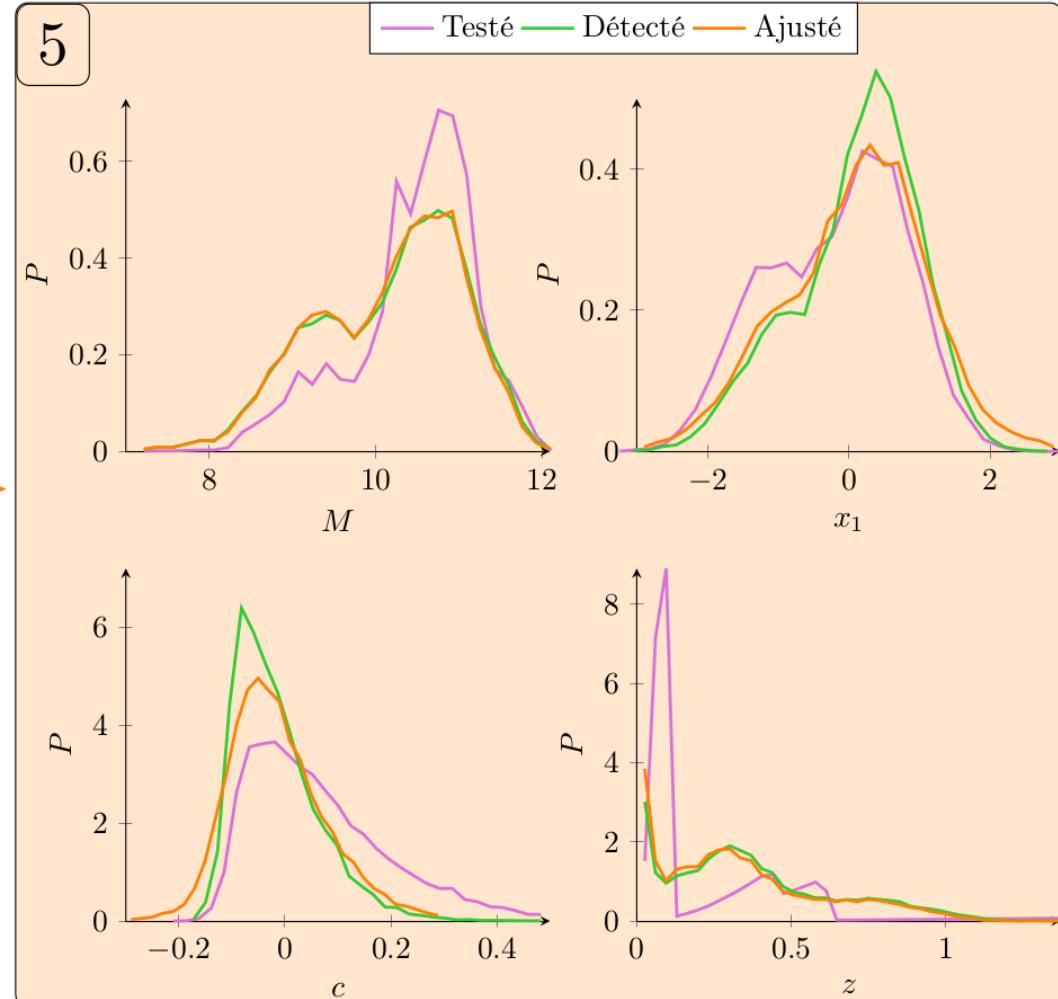
Coupes de qualité

$T_{\text{rest}} < 0$	$T_{\text{rest}} > 10$	$\text{SNR} > 5 \text{ gri}$	$-3 < x_1 < 3$...
✓	✗	✗	✗	...
✓	✓	✓	✗	...
✗	✗	✓	✗	...
✓	✓	✓	✓	...
...

4

Détection rejetée

CONSERVÉ



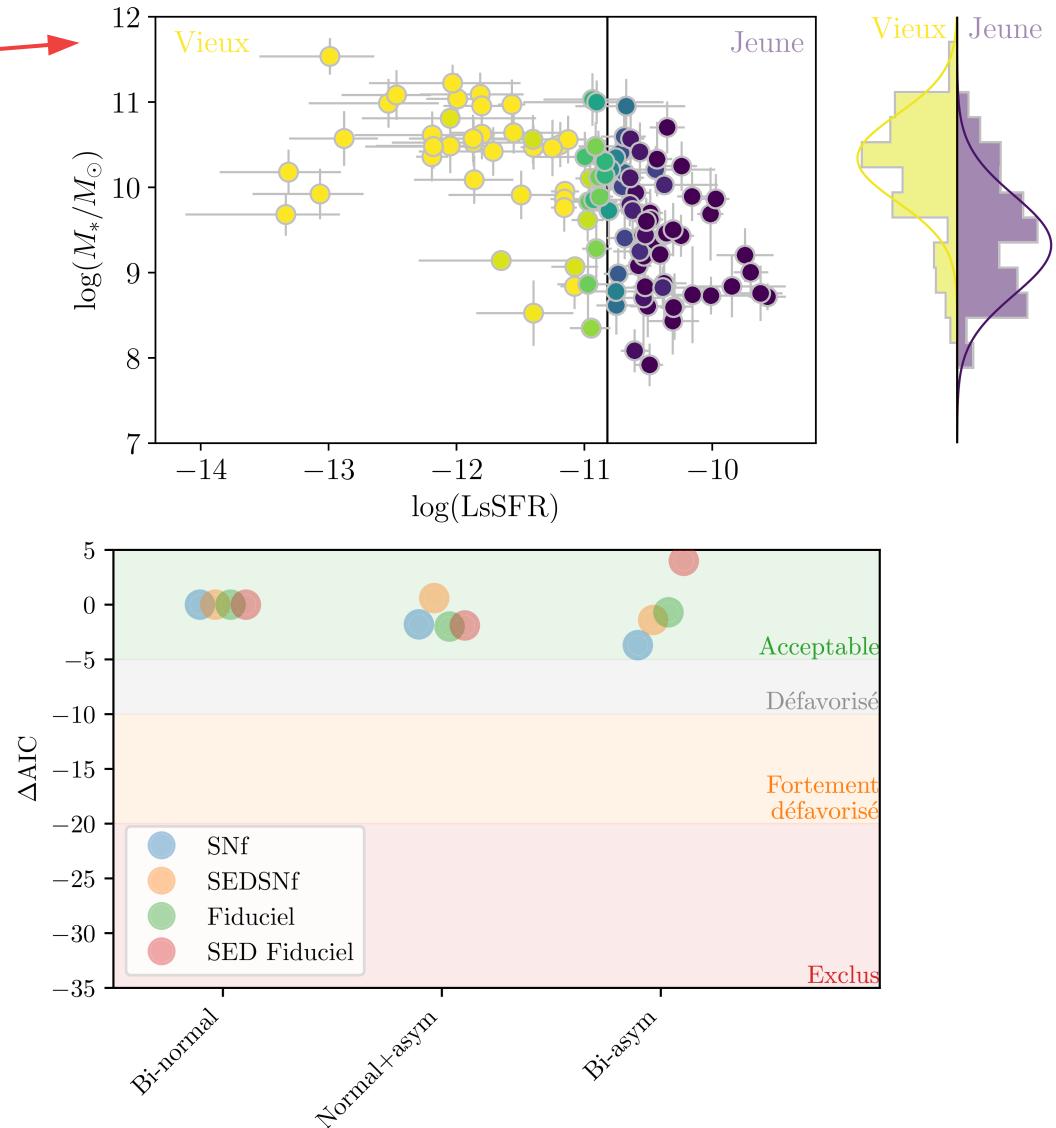
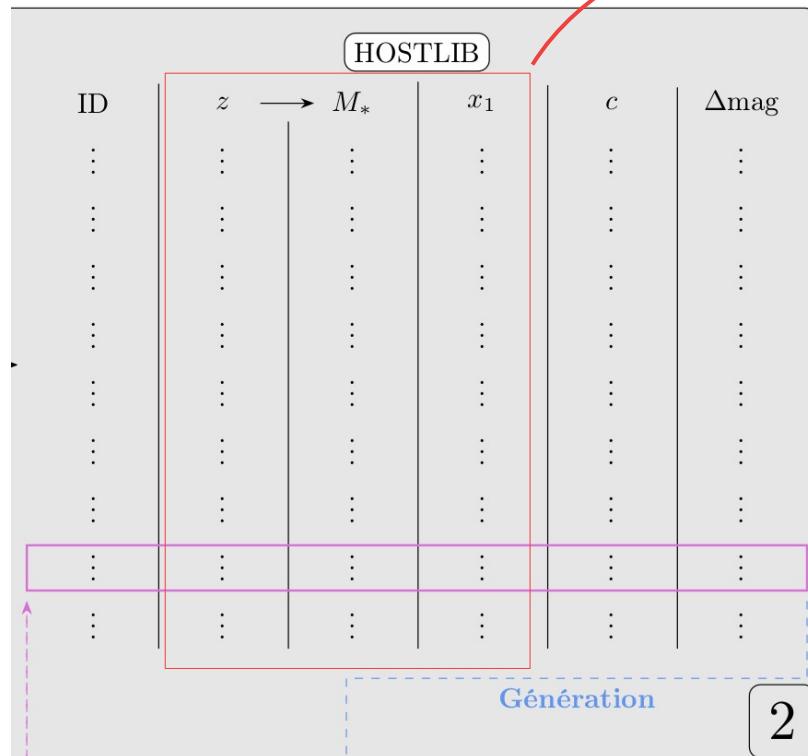
5

Ajustement conservé

Simulations avec SNANA

Implémentation du modèle dans les logiciels

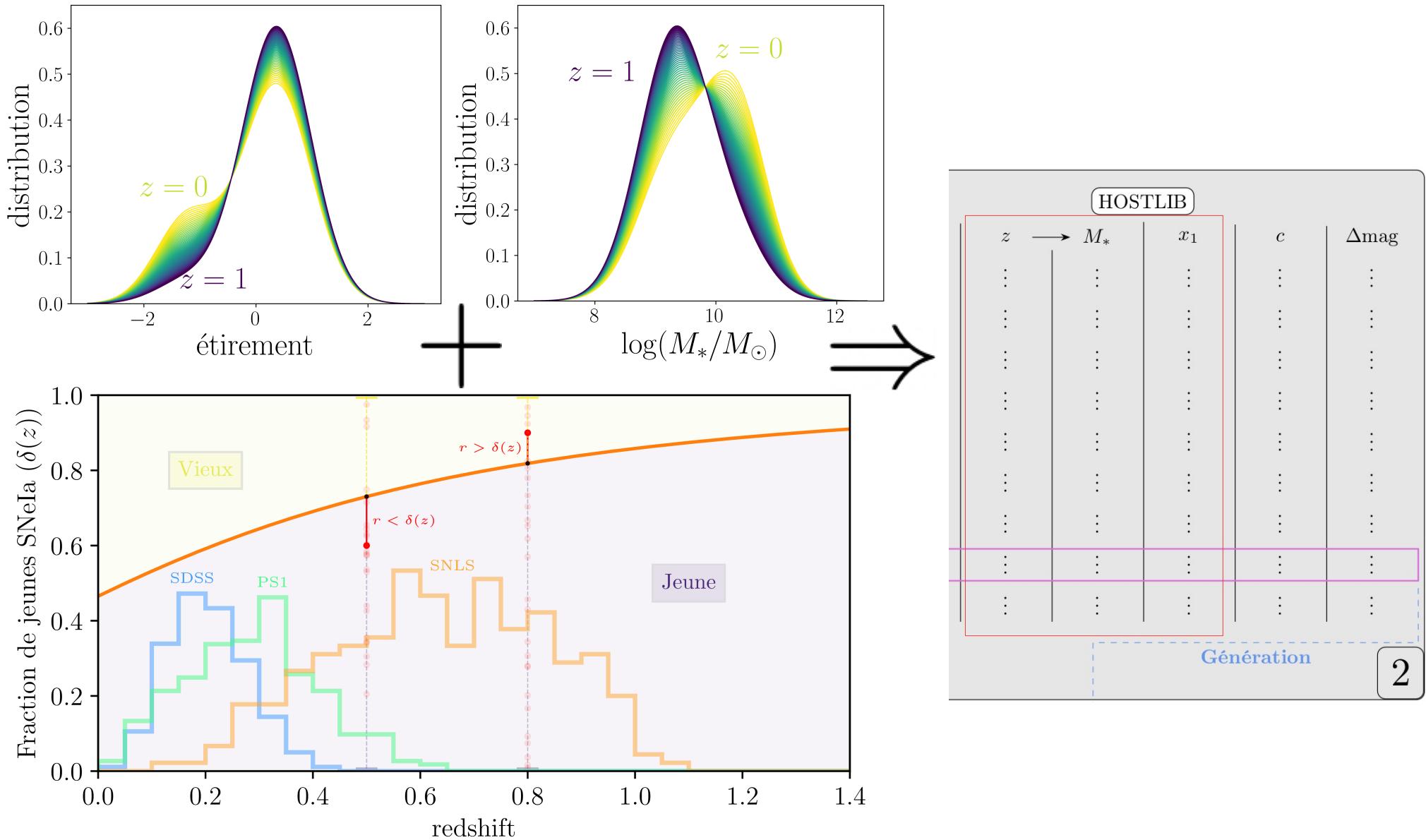
Nicolas et al. (in prep)



Simulations avec SNANA

Implémentation du modèle dans les logiciels

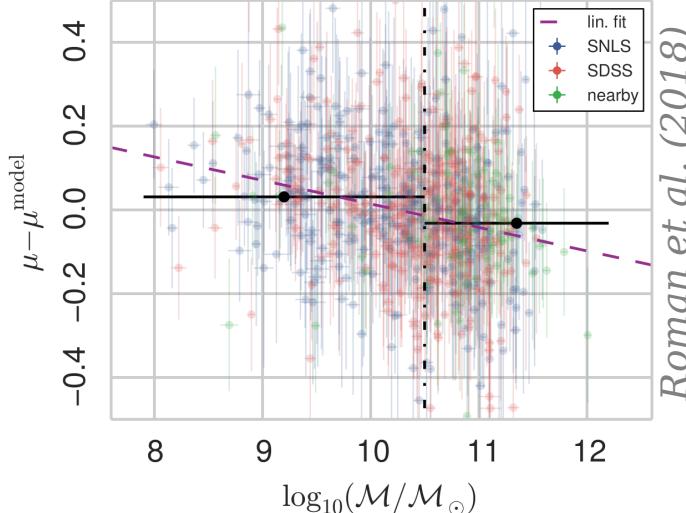
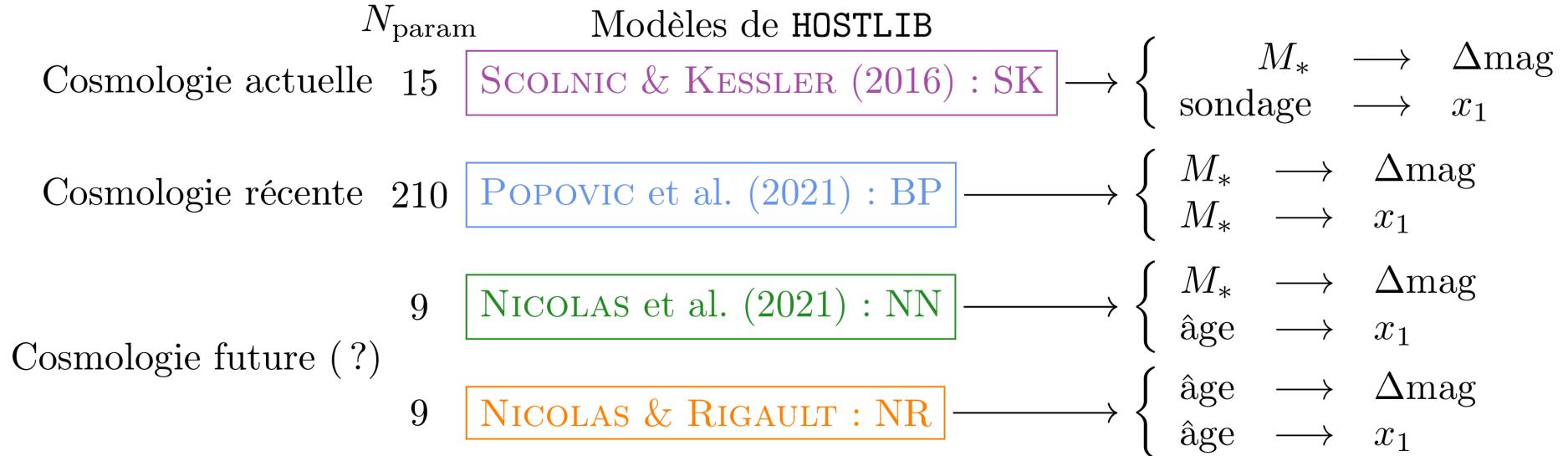
Nicolas et al. (in prep)



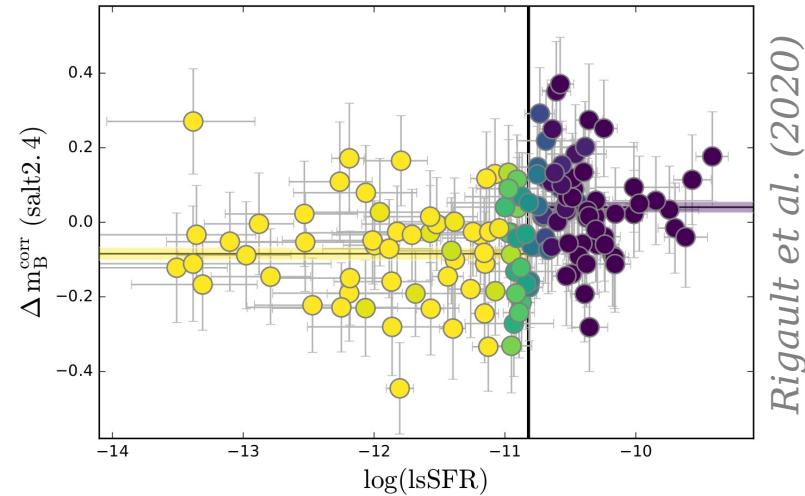
Simulations avec SNANA

Présentation des modèles

Nicolas et al. (in prep)



Marche de magnitude basée sur la masse

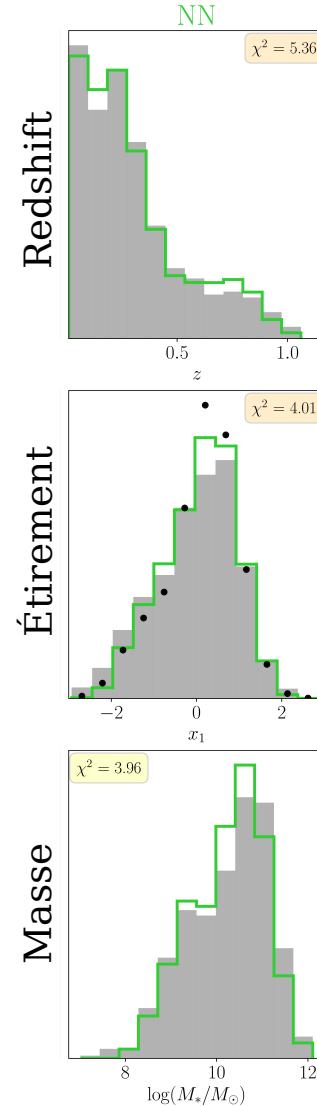


Marche de magnitude basée sur l'âge

Simulations avec SNANA

Comparaison des modèles aux données

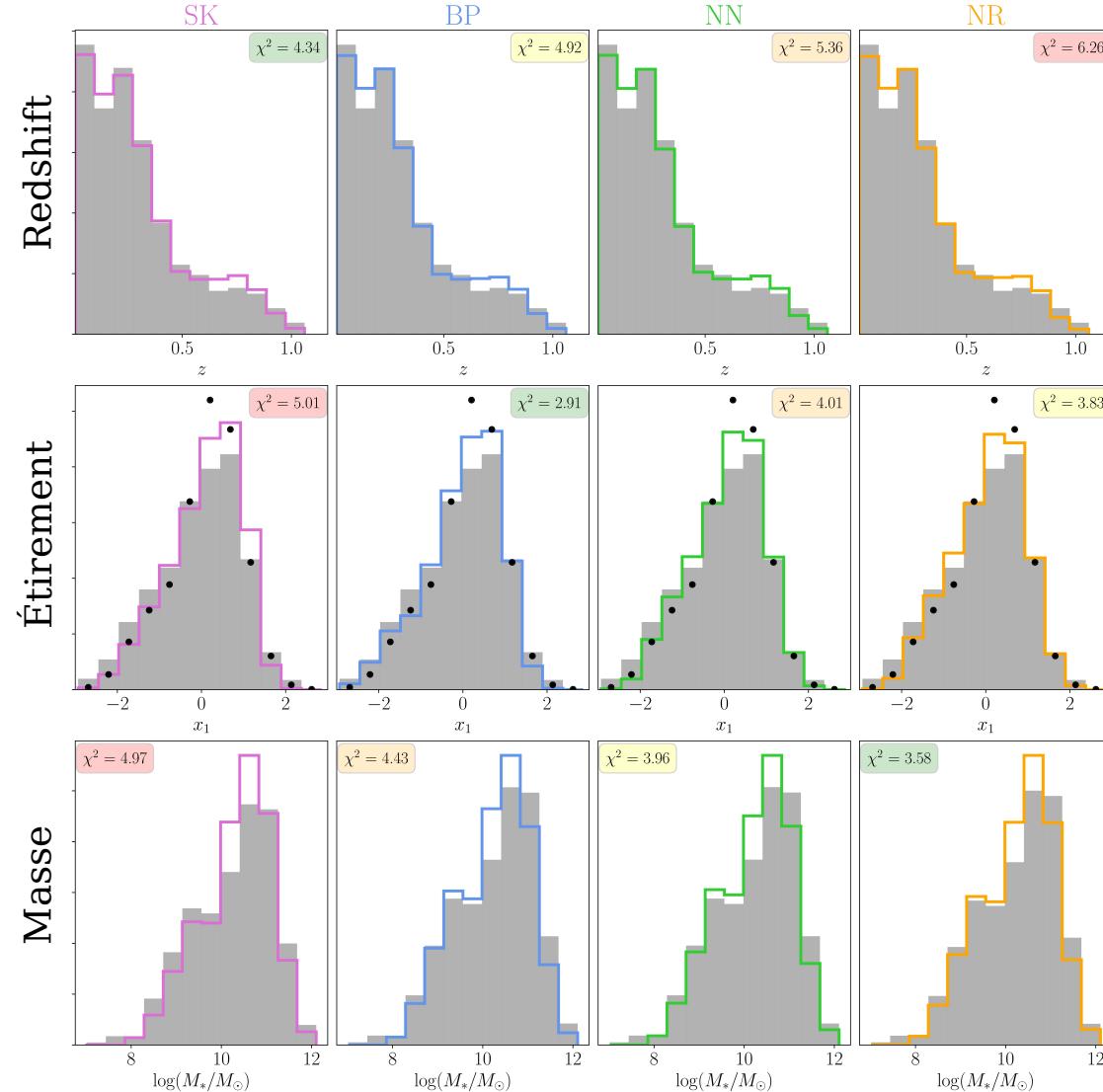
Nicolas et al. (in prep)



Simulations avec SNANA

Comparaison des modèles aux données

Nicolas et al. (in prep)

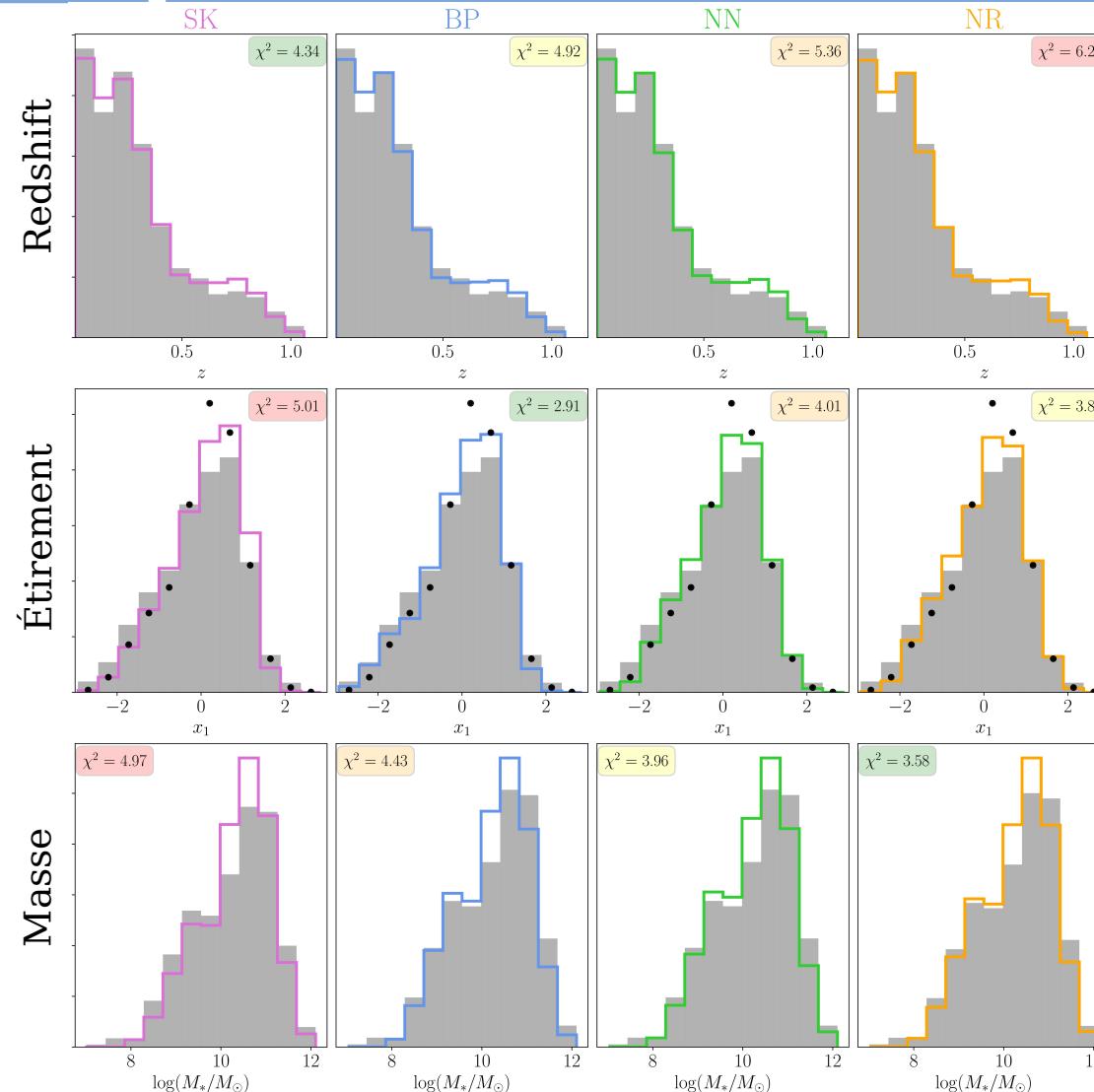


Tous de bonnes représentations des données

Simulations avec SNANA

Comparaison des modèles aux données

Nicolas et al. (in prep)



Comparaison pour tous les paramètres

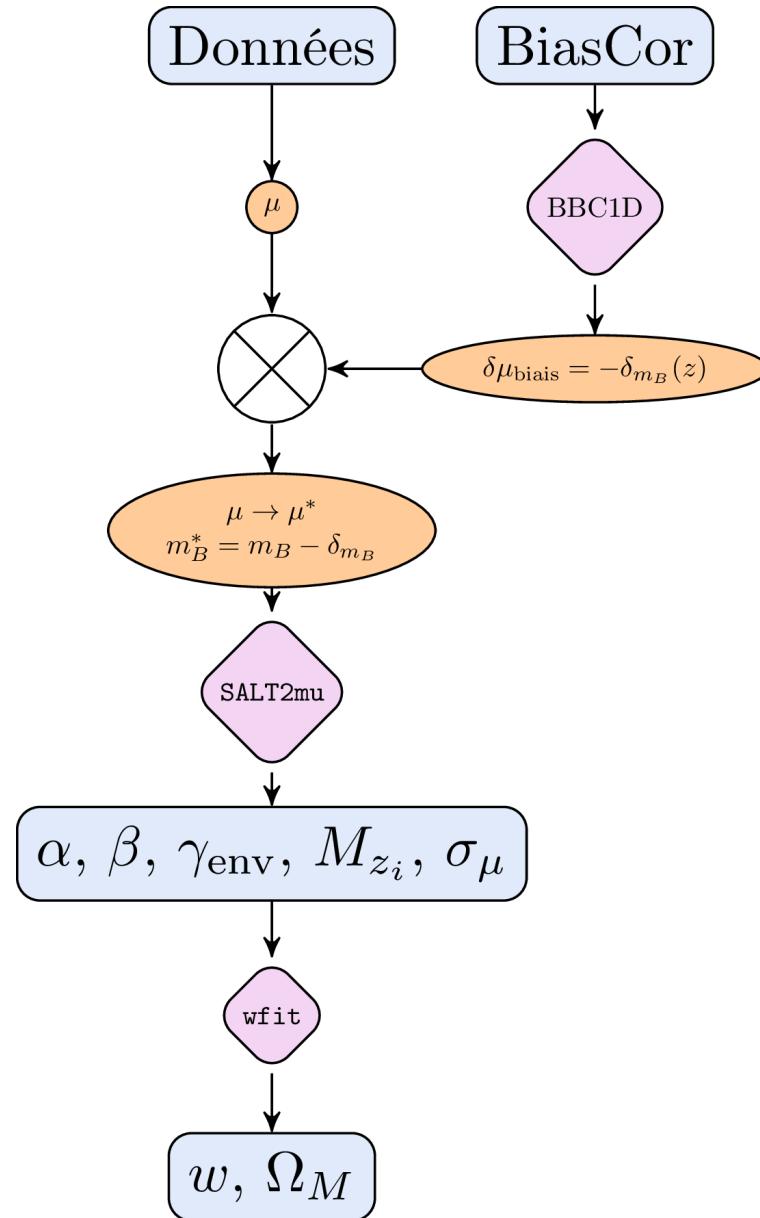
Paramètre	χ^2			
	SK	BP	NN	NR
Redshift	4.34	4.92	5.36	6.26
Étirement	5.01	2.91	4.01	3.83
Masse	4.97	4.43	3.96	3.58
Somme	14.32	12.26	13.33	13.67
Probabilité	0.36	1.00	0.59	0.49

Tous de bonnes représentations des données

Simulations avec SNANA

Correction des biais

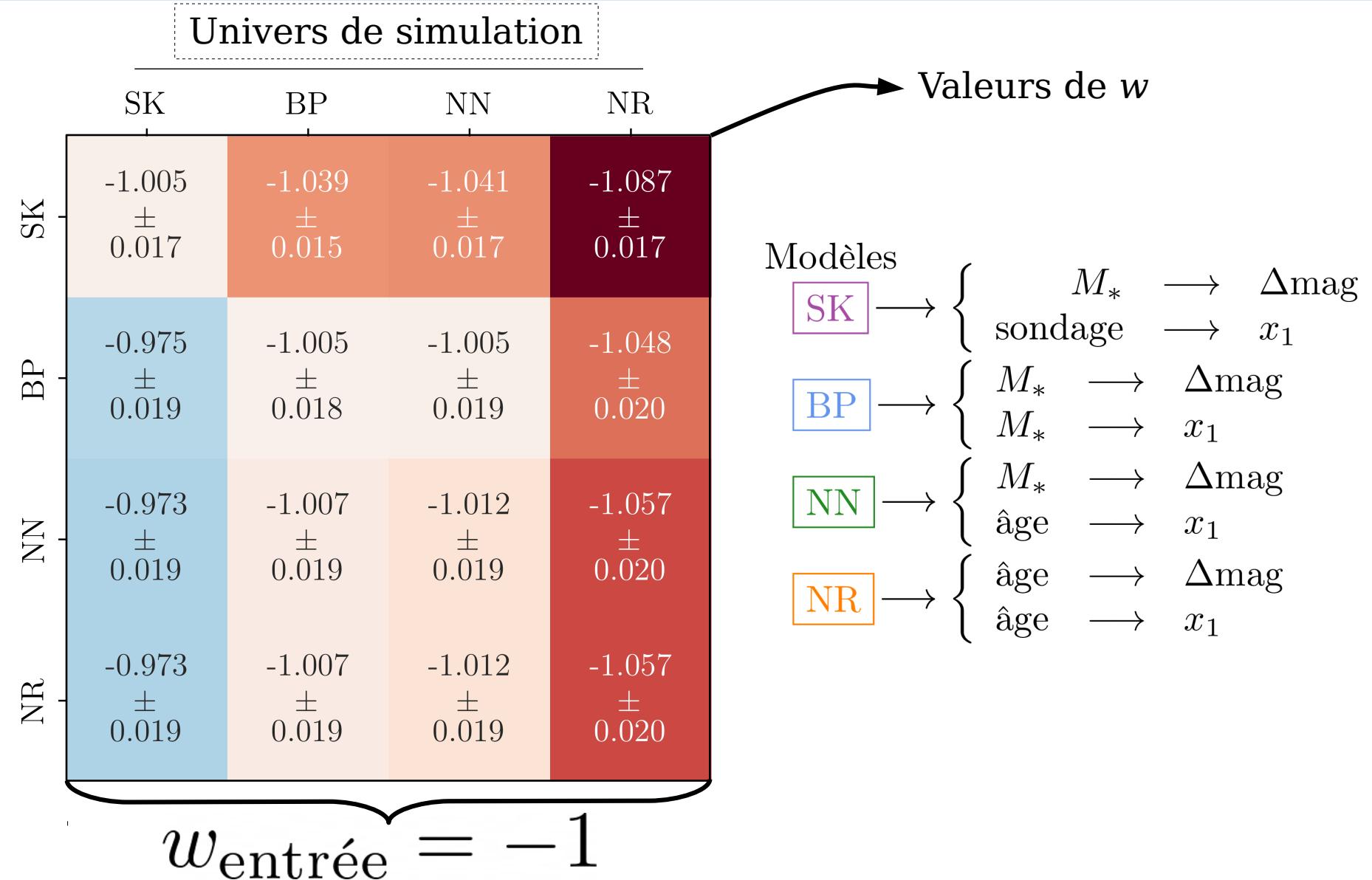
Nicolas et al. (in prep)



Impact des modèles sur la cosmologie

Paramètre d'état de l'énergie sombre

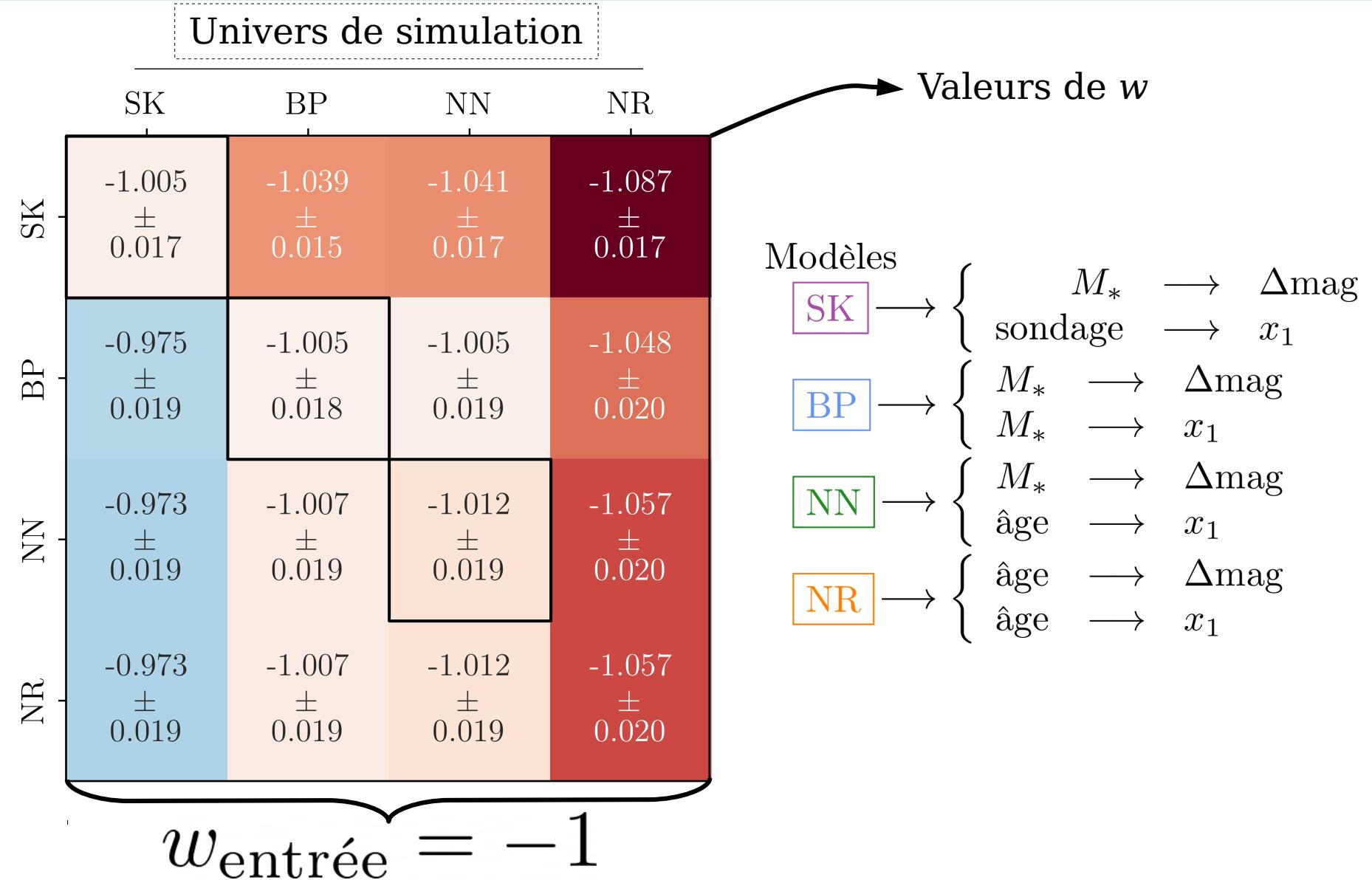
Nicolas et al. (in prep)



Impact des modèles sur la cosmologie

Paramètre d'état de l'énergie sombre

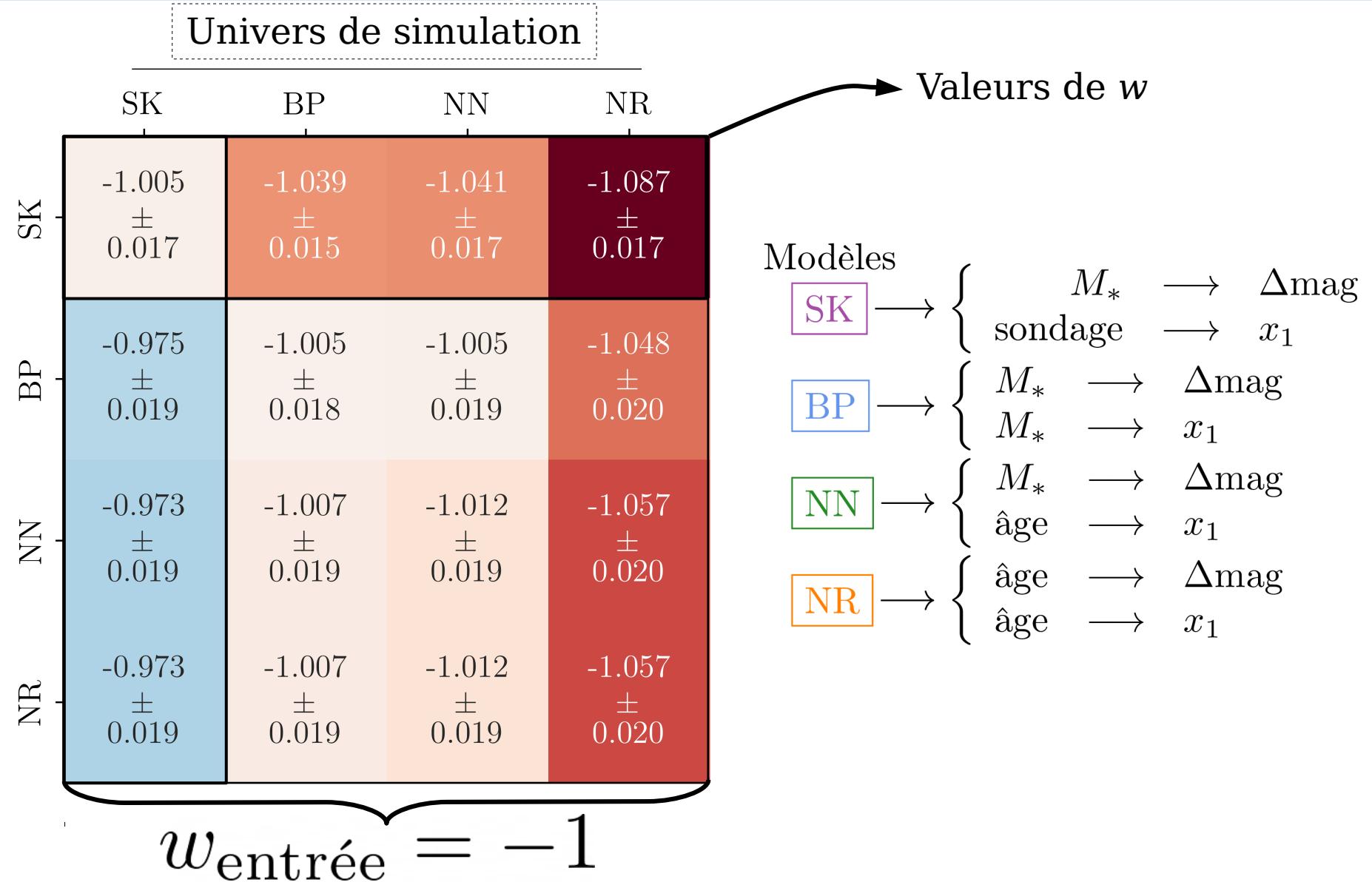
Nicolas et al. (in prep)



Impact des modèles sur la cosmologie

Paramètre d'état de l'énergie sombre

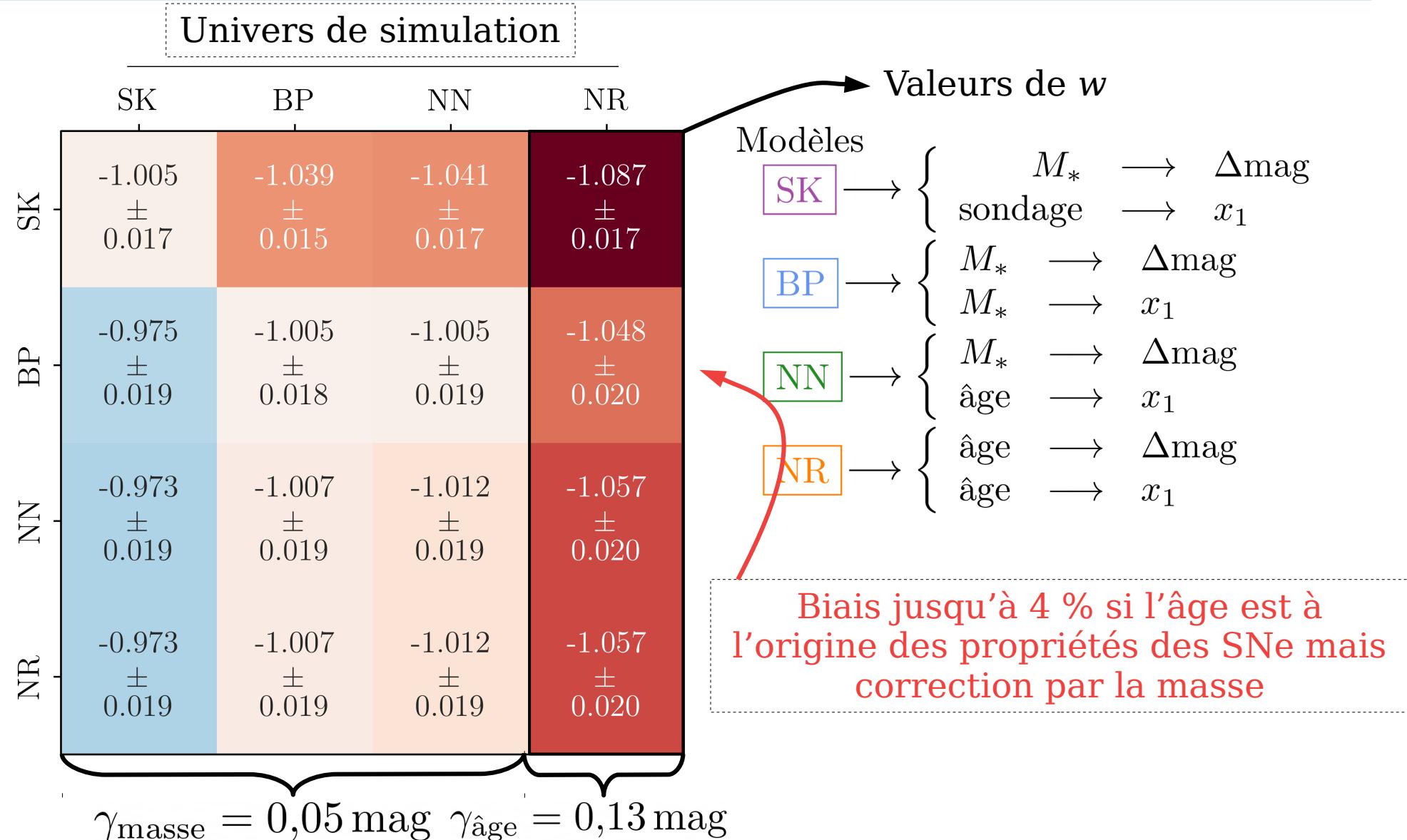
Nicolas et al. (in prep)



Impact des modèles sur la cosmologie

Paramètre d'état de l'énergie sombre

Nicolas et al. (in prep)



Impact des modèles sur la cosmologie

Marche de magnitude basée sur la masse

Nicolas et al. (in prep)

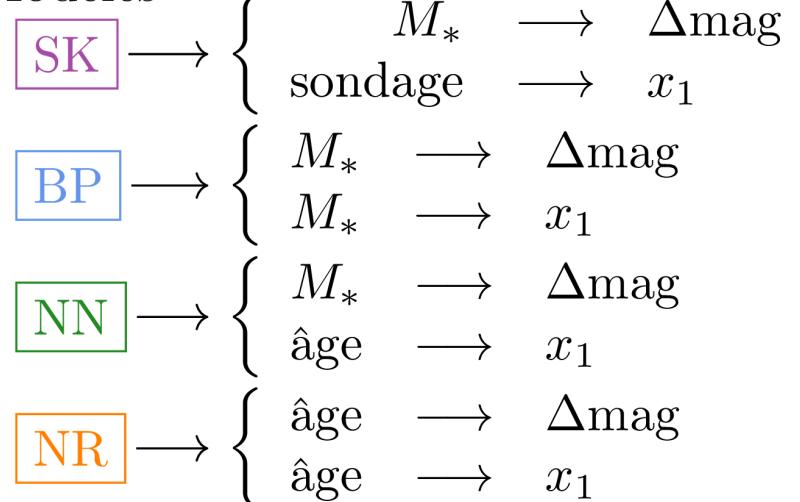
Univers de simulation

		SK	BP	NN	NR
		SK	0.036 ± 0.003	0.038 ± 0.003	0.094 ± 0.003
Univers d'ajustement		BP	0.044 ± 0.003	0.048 ± 0.003	0.103 ± 0.003
		NN	0.045 ± 0.003	0.049 ± 0.003	0.104 ± 0.003
		NR	0.045 ± 0.003	0.049 ± 0.003	0.104 ± 0.003

$\gamma_{\text{masse}} = 0,05 \text{ mag}$ $\gamma_{\text{âge}} = 0,13 \text{ mag}$

Valeurs de γ_{masse}

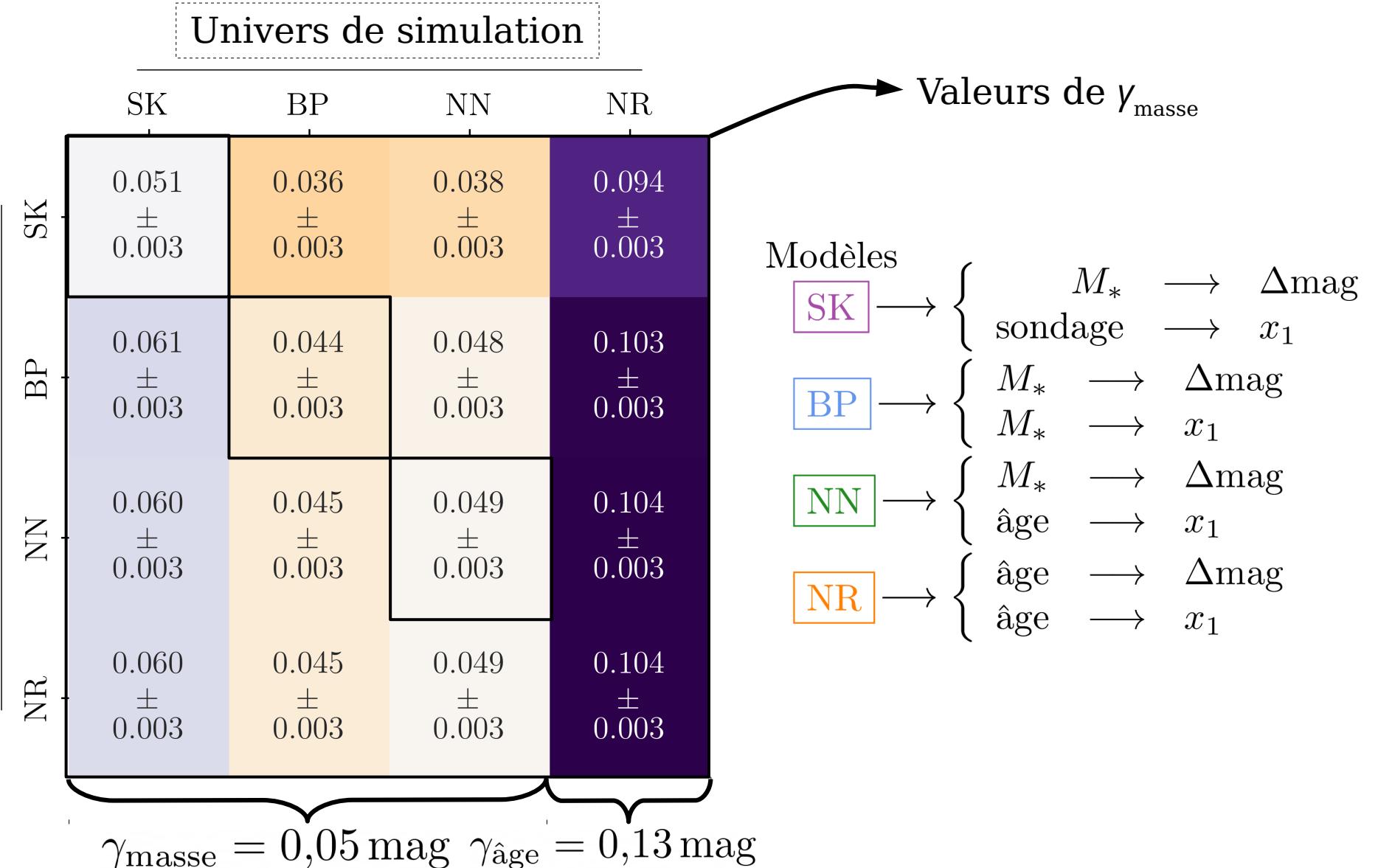
Modèles



Impact des modèles sur la cosmologie

Marche de magnitude basée sur la masse

Nicolas et al. (in prep)



Impact des modèles sur la cosmologie

Marche de magnitude basée sur la masse

Nicolas et al. (in prep)

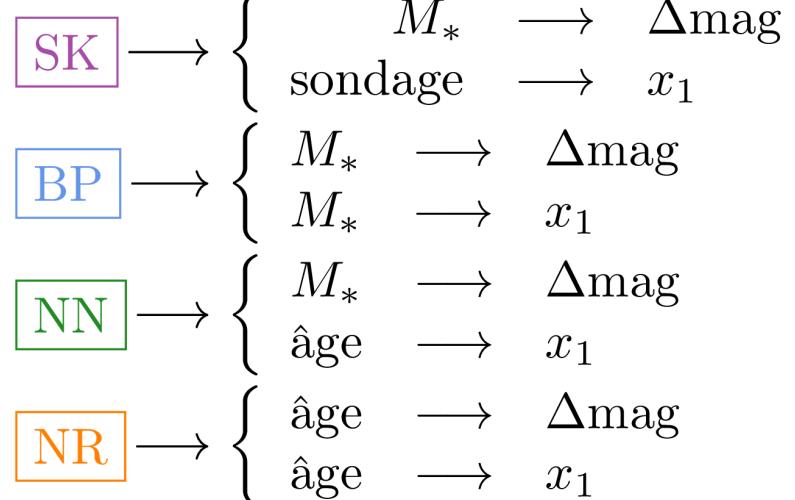
Univers de simulation

		SK	BP	NN	NR
		SK	0.036 ± 0.003	0.038 ± 0.003	0.094 ± 0.003
Univers d'ajustement	SK	0.051 ± 0.003	0.044 ± 0.003	0.048 ± 0.003	0.103 ± 0.003
	BP	0.061 ± 0.003	0.045 ± 0.003	0.049 ± 0.003	0.104 ± 0.003
	NN	0.060 ± 0.003	0.045 ± 0.003	0.049 ± 0.003	0.104 ± 0.003
	NR	0.060 ± 0.003	0.045 ± 0.003	0.049 ± 0.003	0.104 ± 0.003

$\gamma_{\text{masse}} = 0,05 \text{ mag}$ $\gamma_{\text{âge}} = 0,13 \text{ mag}$

Valeurs de γ_{masse}

Modèles



Impact des modèles sur la cosmologie

Marche de magnitude basée sur la masse

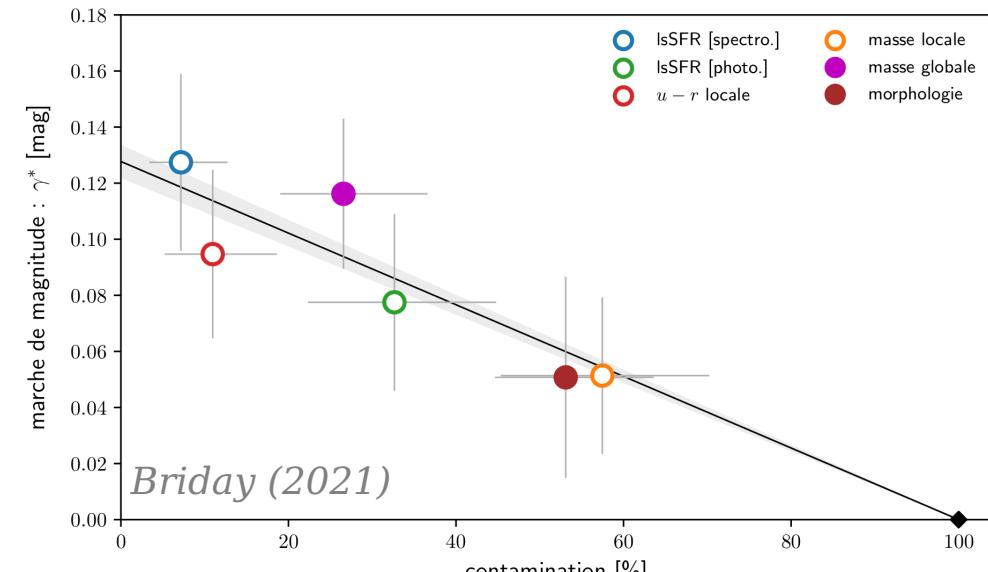
Nicolas et al. (in prep)

Univers de simulation

		Univers de simulation			
		SK	BP	NN	NR
		0.051 ± 0.003	0.036 ± 0.003	0.038 ± 0.003	0.094 ± 0.003
		0.061 ± 0.003	0.044 ± 0.003	0.048 ± 0.003	0.103 ± 0.003
		0.060 ± 0.003	0.045 ± 0.003	0.049 ± 0.003	0.104 ± 0.003
		0.060 ± 0.003	0.045 ± 0.003	0.049 ± 0.003	0.104 ± 0.003

$\gamma_{\text{masse}} = 0,05 \text{ mag}$ $\gamma_{\text{âge}} = 0,13 \text{ mag}$

Valeurs de γ_{masse}

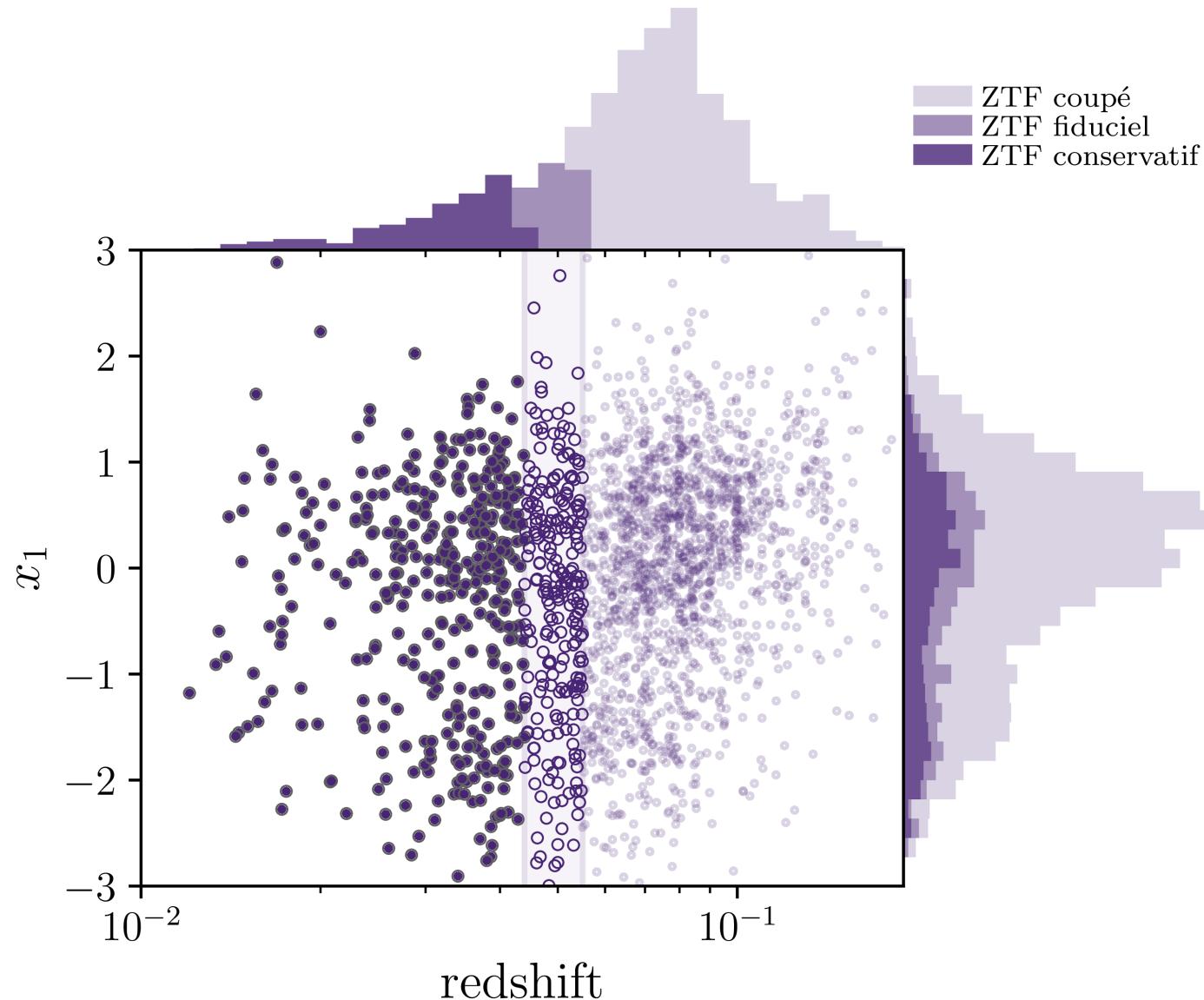


La masse ne saurait être un traceur efficace des propriétés tenant de l'âge

Perspectives

Inclusion des données de ZTF

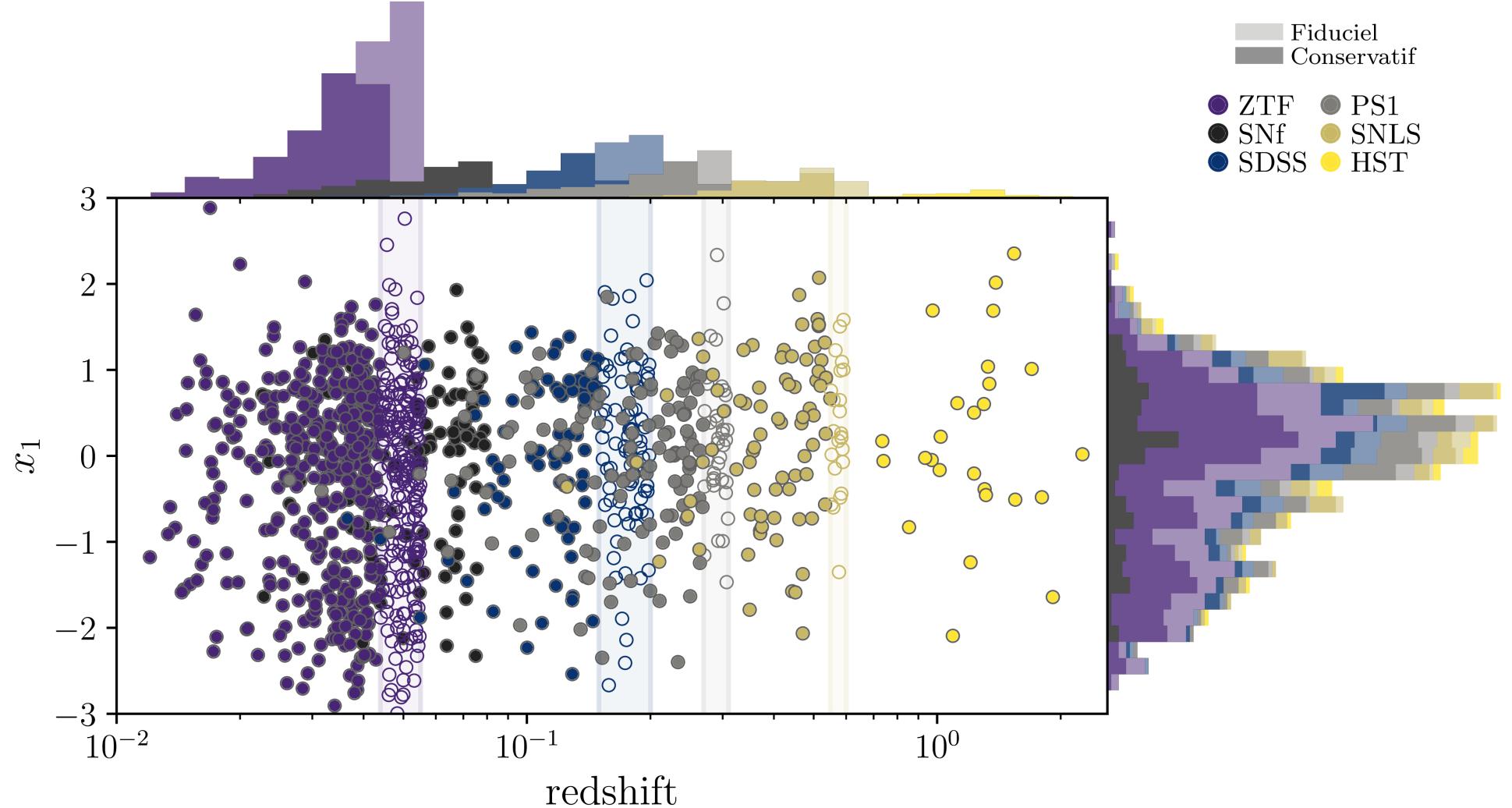
Nicolas (in prep)



Perspectives

Inclusion des données de ZTF

Nicolas (in prep)



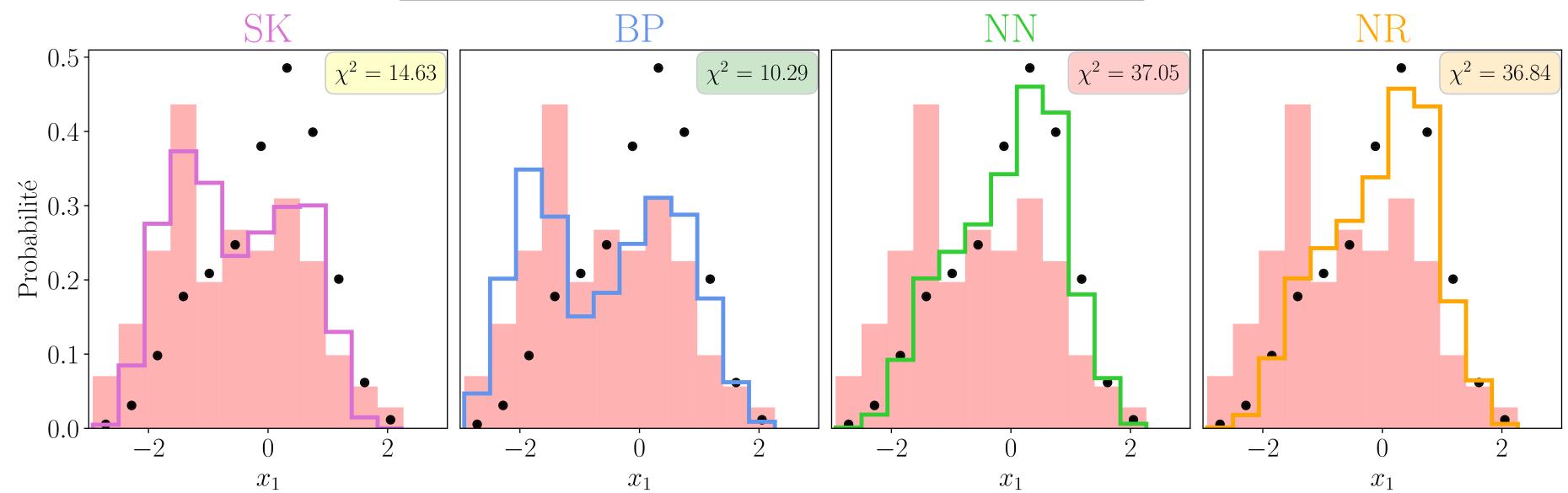
Perspectives

Amélioration des simulations

Nicolas et al. (in prep)

Comparaison pour l'étirement seul

Sondage	χ^2			
	SK	BP	NN	NR
LOWZ	14.63	10.29	37.05	36.84
SDSS	7.03	8.52	7.66	7.05
PS1	10.35	3.58	4.06	4.29
SNLS	15.14	23.13	15.03	15.00
Somme	47.15	45.52	63.80	63.18
Sans LOWZ	35.52	35.23	26.75	26.34



Conclusions

- 1) Modèles non-dérivants exclus comme bonnes représentations des données
- 2) *Modèle de base utilisé dans les grands sondages (DES, Pantheon, SNANA...)*
- 3) Confirmation que l'âge est le meilleur traceur des propriétés des SNe
- 4) Augmentation des tables usuelles de SNANA par l'ajout de l'âge
- 5) Remplacement de modèles rétrospectifs par un modèle prospectif
- 6) Robustesse du modèle à décrire les données *via simulations*
- 7) Biais sur w de 4 à 8 %
- 8) Renforce la position de l'âge comme traceur avec $\gamma_{\text{masse}} = 0.100 \text{ mag}$



Merci !

Nora NICOLAS

Groupe Cosmos IP2I

Vendredi 30 septembre 2022

Soutenance de thèse de Doctorat

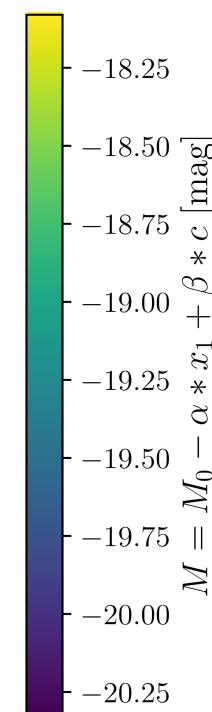
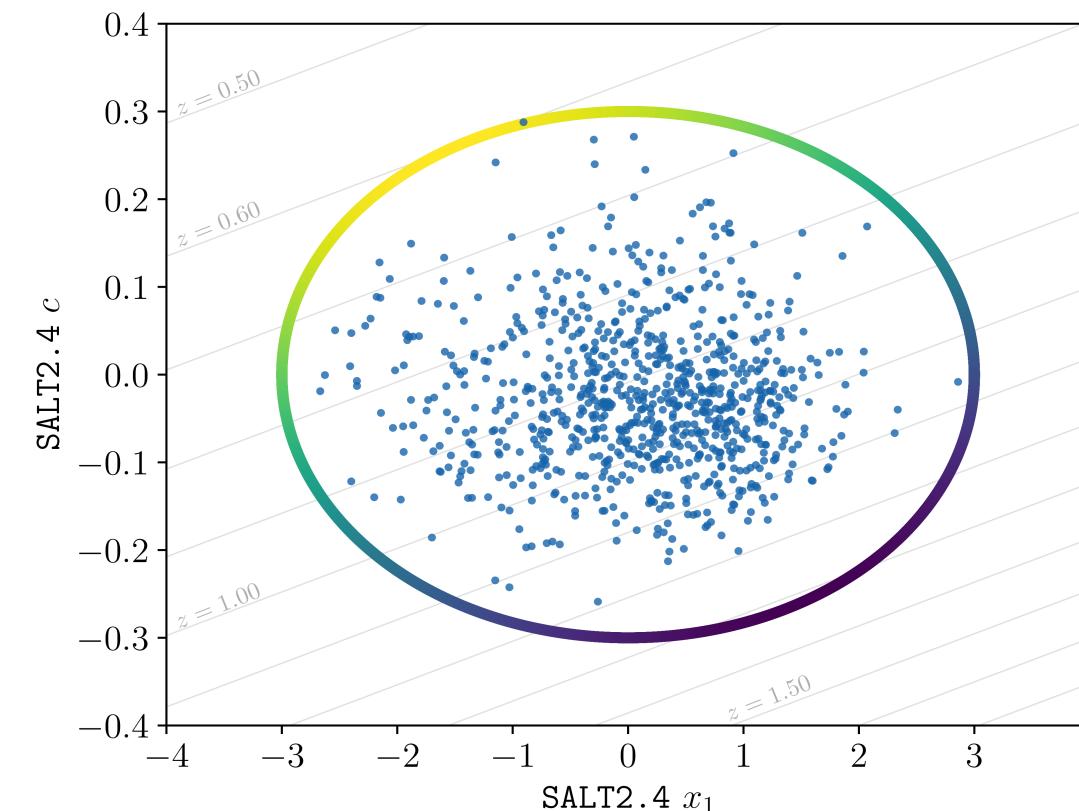
Sous la direction de M. RIGAULT



Sondages limités en magnitude

$m_{\text{lim}} = 24.8 \text{ mag}$ (SNLS)

$$\mu(z) = m - M(x_1, c) \Leftrightarrow m = \mu(z) + M(x_1, c)$$



$$M_{\min, t_0}^{t_0-5} = -18.00 \text{ mag}$$
$$x_1 = -1.66$$
$$c = 0.25$$

Impact des modèles sur la cosmologie

Paramètre d'état de l'énergie sombre

Nicolas et al. (in prep)

