

Impact sur la cosmologie : simulations

*« The Answer to the Great Question... Of Life,
the Universe and Everything... Is... Forty-two. »*

Douglas ADAMS, *H2G2*

Nous avons vu dans le chapitre précédent la manière dont **SNANA** permettait de traiter les biais et corrélations environnementales dans le calcul des paramètres cosmologiques, et ainsi pourquoi son utilisation dans notre thèse était pertinente.

Dans ce chapitre, nous présentons les simulations que nous avons effectuées avec le logiciel. Dans un premier lieu, nous discutons des différentes corrélations que nous avons testées *via* l'utilisation de **HOSTLIB** (Section I.1) et de la confection de nôtres (Section I.2). Par la suite, nous introduisons...

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| I.1 Présentation des HOSTLIB | 2 |
| I.1.1 Étirement et couleur globales : SK | 2 |
| I.1.2 Étirement et couleur selon la masse : BP | 3 |
| I.1.3 Étirement selon l'âge : NN | 3 |
| I.1.4 Étirement et marche de magnitude selon l'âge : NR | 3 |
| I.2 Confection des HOSTLIB | 4 |
| I.2.1 Modélisation du lien entre masse et redshift | 4 |
| I.2.2 Comparaison aux données | 6 |
| I.2.3 Sélection des modèles | 6 |
| I.2.4 Génération des HOSTLIB | 7 |
| I.3 Implémentation | 11 |
| I.3.1 Types de simulations | 11 |
| I.3.2 Nomenclature des simulations | 11 |
| I.3.3 Contrôle du nombre de SNe Ia simulées :NGEN | 12 |
| I.3.4 Comparaison des données simulées aux données réelles | 12 |
| I.4 Résultats | 15 |
| I.5 Discussion | 15 |
| I.6 Conclusion | 15 |

I.1 Présentation des HOSTLIB

Dans sa forme la plus générale, une HOSTLIB ne possède pas de valeurs liées à des paramètres de SNe Ia (comme l'étirement ou la couleur) ; en effet, elle sert originellement à utiliser le redshift photométrique de la galaxie hôte comme valeur antérieure dans l'ajustement du redshift de la SN et à ajouter du bruit à la SN simulée (voir Chapitre ??). Avant d'intégrer notre modèle à SNANA, il nous a fallu reproduire les approches d'autres groupes utilisant le logiciel. Nous avons choisi pour cela les études de [SCOLNIC et KESSLER \(2016\)](#), ci-après SK, et de [POPOVIC et al. \(2021\)](#), ci-après BP.

I.1.1 Étirement et couleur globales : SK

Dans leurs travaux, SK n'incluent pas de lien d'étirement ou de couleur avec les propriétés de la galaxie hôte mais uniquement une marche de magnitude en fonction de sa masse M_* . Celle-ci est inclut dans les WEIGHTMAP des sondages, et est de 0,05 mag. Le tirage des paramètres x_1 et c se font alors depuis des distributions asymétriques Gaussiennes, décrites par :

$$P(p) = \begin{cases} e^{-\frac{|p - \mu|^2}{\sigma_-^2}} & \text{si } p \leq \mu \\ e^{-\frac{|p - \mu|^2}{\sigma_+^2}} & \text{si } p > \mu \end{cases} \quad (\text{I.1})$$

avec $p = x_1$ ou c . Les valeurs des paramètres sont indiqués Tableau I.1.

Tableau I.1 – Paramètres des distributions sous-jacentes d'étirement et de couleur desquelles sont générées les SNe Ia dans notre reproduction du travail de SK.

| Sondage | x_1 | | | c | | |
|---------|-------|------------|------------|--------|------------|------------|
| | μ | σ_- | σ_+ | μ | σ_- | σ_+ |
| PS1 | 0,604 | 1,029 | 0,363 | -0,077 | 0,029 | 0,12 |
| SDSS | 1,141 | 1,653 | 0,100 | -0,038 | 0,048 | 0,079 |
| SNLS | 0,964 | 1,232 | 0,282 | -0,065 | 0,044 | 0,12 |
| LOWZ | – | – | – | -0,055 | 0,023 | 0,015 |

Notes. Les valeurs viennent du Tableau 1 de SK, sauf pour LOWZ dont la distribution d'étirement est une double Gaussienne d'après [SCOLNIC et al. \(2018\)](#).

Nous avons cependant utilisé les valeurs de paramètres de [SCOLNIC et al. \(2018\)](#) pour la distribution d'étirement de LOWZ, qui est alors décrite par une combinaison de deux Gaussiennes dont une asymétrique, telle que :

$$P(x_1) = A_1 \times \begin{cases} e^{-\frac{|x_1 - \mu_1|^2}{\sigma_{-,1}^2}} & \text{si } x_1 \leq \mu_1 \\ e^{-\frac{|x_1 - \mu_1|^2}{\sigma_{+,1}^2}} & \text{si } x_1 > \mu_1 \end{cases} + A_2 \times e^{-\frac{|x_1 - \mu_2|^2}{\sigma_2^2}} \quad (\text{I.2})$$

Les valeurs sont indiquées Tableau I.2 avec le rapport d'amplitude $a = \frac{A_1}{A_2}$.

Tableau I.2 – Paramètres de la distribution sous-jacente d'étirement pour l'échantillon LOWZ dans notre reproduction de l'étude de SK.

| Sondage | x_1 | | | | | |
|---------|---------|----------------|----------------|------|---------|------------|
| | μ_1 | $\sigma_{-,1}$ | $\sigma_{+,1}$ | a | μ_2 | σ_2 |
| LOWZ | 0,55 | 1,0 | 0,45 | 0,55 | -1,5 | 0,5 |

Notes. Les caractéristiques sont celles reportées dans l'annexe C de SCOLNIC et al. (2018), mais les valeurs y étant erronées nous avons utilisé celles de l'équipe directement.

I.1.2 Étirement et couleur selon la masse : BP

D'un autre côté, BP définissent des distributions mères Gaussiennes asymétriques pour x_1 et c selon la masse de la galaxie hôte. Ceci est effectué en découplant les données des sondages en intervalles selon M_* ; dans chacun de ces intervalles sont déterminés les paramètres des Gaussiennes asymétriques, puis à chaque entrée de la HOSTLIB sont sélectionnés des paramètres d'étirement et de couleur selon la valeur de la masse de la galaxie hôte. Ainsi, par rapport à SK, ces HOSTLIB présentent 2 colonnes supplémentaires, une pour x_1 et une pour c , attribuant à chaque entrée une valeur de ces paramètres à associer à la SN simulée.

Ce procédé est réalisé pour LOWZ d'une part, menant à une HOSTLIB que nous appelons « BP_lowz », et pour la combinaison des sondages DES, SDSS, PS1 et SNLS d'autre part, menant à une HOSTLIB que nous nommons « BP_highz ». Les valeurs des paramètres correspondants sont disponibles dans l'annexe A2 de BP.

Ce sont ces HOSTLIB qui constituent la base de notre étude ; en réalité, les HOSTLIB SK sont celles de BP où nous avons retiré le tirage des colonnes x_1 et c .

I.1.3 Étirement selon l'âge : NN

Pour notre étude, nous avons besoin de relier l'étirement attribué à la SN avec l'âge de son environnement, en correspondance avec nos travaux précédents (NICOLAS et al. 2021, ci-après NN). Nous avons alors pris les HOSTLIB BP pour y remplacer la colonne d'étirement par les valeurs attendues de notre modèle et y ajouter une colonne LOGsSFR indiquant si la SN est jeune ($LOGsSFR=1$) ou vieille ($LOGsSFR=0$), et nommons ces HOSTLIB « NN ». La réalisation de cette HOSTLIB est présentée dans la Section I.2.

I.1.4 Étirement et marche de magnitude selon l'âge : NR

Comme nous l'avons vu précédemment, l'âge des SNe Ia a une double implication : celle de l'évolution de la distribution sous-jacente de l'étirement avec le redshift (Chapitre ??), mais aussi une marche de magnitude de $\gamma_{\text{env}} = 0,13$ mag entre les SNe Ia jeunes et vieilles

(Chapitre ??, RIGAULT et al. 2020). Nous avons implémenté cette valeur à la place de la marche de magnitude selon M_* incluse dans les WEIGHTMAP des sondages *via* l’ajout d’une colonne SNMAGSHIFT aux HOSTLIB NN : ces nouvelles HOSTLIB se nomment « NR » pour « NICOLAS RIGAULT », et présentent l’exacte même colonne d’étirement que les NN.

I.2 Confection des HOSTLIB

Afin de simuler des SNe Ia avec notre modèle, que ce soit pour NN ou NR, nous avons besoin que les propriétés des galaxies hôtes suivent les distributions de ce qui a été observé par les différents sondages simulés. Bien que nous soutenions que le LsSFR est un meilleur traceur de l’environnement d’une SN (BRIDAY et al. 2022), la plupart des sondages caractérisent les galaxies avec leur masse stellaire. Ainsi, la colonne des M_* des HOSTLIB BP reste intacte puisque leurs couleurs (que nous utilisons) utilisent les intervalles de M_* .

Étant donné que le LsSFR repose sur la masse de la galaxie hôte¹, nous ne pouvons pas uniquement nous baser sur la valeur du redshift z d’une entrée des HOSTLIB BP pour y assigner un étirement. Nous attendons effectivement que les galaxies vers $M_* \approx 12$ ne contiennent des SNe Ia vieilles (c’est-à-dire $\text{LsSFR} \approx 0$) alors que les galaxies de $M \gtrsim 7$ n’en contiennent que des jeunes ($\text{LsSFR} \approx 1$).

Par conséquent, afin de comparer les implications de notre modélisation basée sur le LsSFR avec ce que les autres sondages ont observé, nous avons dû modéliser les masses des galaxies hôtes par rapport au LsSFR ; nous avons pour cela utilisé le même échantillon du Chapitre ?? que pour la modélisation de l’étirement du Chapitre ???. Cependant, nous soulignons que cette étude n’a pas pour volonté de décrire l’évolution des masses des galaxies hôtes (qui sont des propriétés globales) avec le LsSFR d’une supernova (étant une propriété intrinsèque de celles-ci) : son utilité est d’associer de manière cohérente un âge à une SN caractérisée par un certain redshift et par une masse de galaxie hôte.

I.2.1 Modélisation du lien entre masse et redshift

De la même manière que dans le Chapitre ??, nous utilisons le LsSFR comme traceur de l’âge d’une SN, mais cette fois sur les estimations de masse du sondage SNf. Ensuite nous modélisons les populations jeune et vieille par une série de paramétrisations différentes et choisissons celle qui a le plus faible AIC. Cependant, les masses SNf ont été calculées à l’aide de l’Équation 8 de TAYLOR et al. (2011) (voir RIGAULT et al. (2020)) alors que d’autres études du catalogue Pantheon utilisent différentes techniques d’estimation de la masse qui pourraient donner des valeurs de sortie différentes pour une même galaxie.

L’estimation de TAYLOR utilise la magnitude AB absolue en bande i d’une galaxie, M_i . Elle est déduite de la magnitude apparente m_i connaissant le redshift de la galaxie mais suppose que la bande i observée est proche de celle du référentiel de repos, ce qui est vrai pour les redshift de SNf qui sont inférieurs à $z \approx 0,05$. Les relevés de l’échantillon Pantheon sont à des redshifts plus élevés et ont utilisé un ajustement des distributions spectrales d’énergie (en anglais SED pour *spectral energy distributions*) des galaxies pour éviter les corrections K dans cette procédure.

1. pour rappel : $\text{sSFR} = \frac{\text{SFR}}{M_*}$

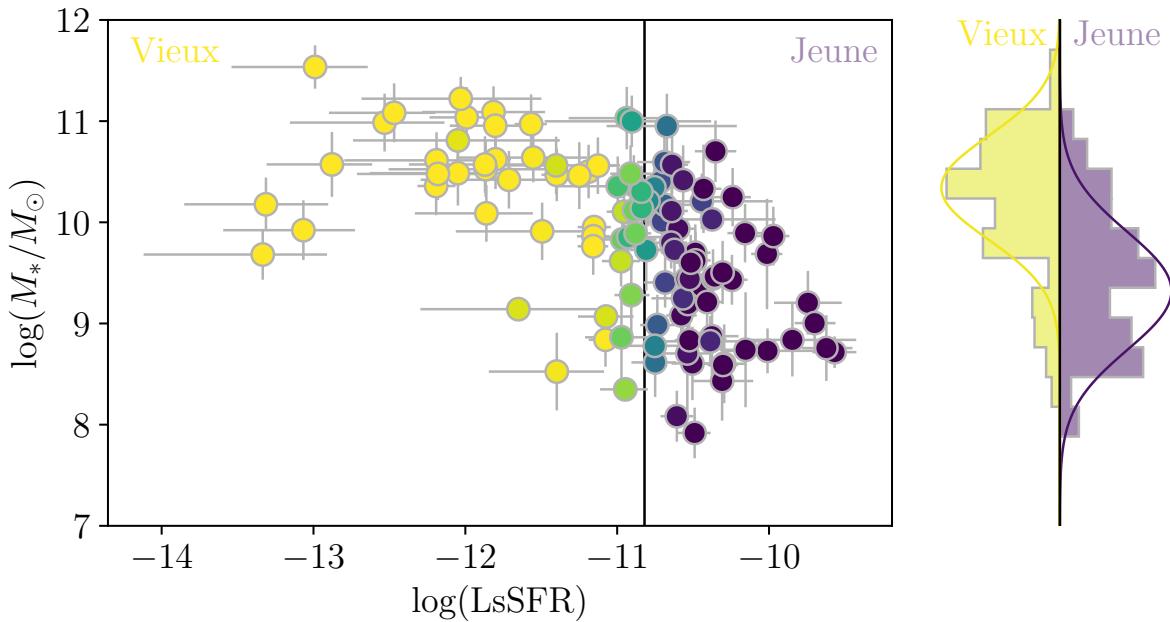


FIGURE I.1 – Principal : masses des galaxies hôtes (M_*) ajustées par SED en fonction du LsSFR pour les SNe de SNfactory. La couleur correspond à la probabilité p_y que la SN Ia soit jeune, c'est-à-dire qu'elle ait $\log \text{LsSFR} \geq -10,82$ (voir RIGAULT et al. 2020, et Chapitre ??). À droite : histogramme pondéré par p_y des étirements des SNe, ainsi que le modèle sélectionné ajusté ; les contributions des populations jeune et âgée sont indiquées en violet et jaune, respectivement.

Nous avons appliqué la même analyse à l'échantillon SNf; les données ainsi calculées sont nommées « SEDSNf » par la suite, et l'échantillon fiduciel utilisant SEDSNf est nommé « SED fiduciel ». À cause de l'absence de 4 galaxies hôtes dans les catalogues de données nécessaire à ce calcul, l'échantillon SEDSNF est réduit à 110 données, au lieu de 114 pour SNf. Nous indiquons également que nous nous limitons pour cette étude aux galaxies de $M_* > 10^7 M_\odot$, étant donné que les valeurs inférieures servent à indiquer qu'aucune galaxie hôte n'a été définie ; le sondage fiduciel tombe alors à 548 données, et SED Fiduciel à 544.

Nous avons donc réalisé cette étude de l'évolution des distributions sous-jacentes de masse avec le LsSFR en utilisant :

SNf Uniquement les données de SNf (masses issues d'un calcul par l'Équation de TAYLOR) ;

SEDSNF Uniquement les données de SNf avec les masses issues d'un ajustement par SED ;

Fiduciel Toutes les données de notre échantillon fiduciel ;

SED fiduciel Toutes les données de notre échantillon fiduciel avec les masses SEDSNF.

D'après la forme des histogrammes de la Figure I.1, nous avons implémentés différentes modélisations. Cette étude étant annexe à la simulation par SNANA, nous ne présentons que les plus pertinentes et omettons les modélisations n'ayant pas d'intérêt physique ou mathématique, c'est-à-dire les modélisations constantes avec le redshift (notamment les Gaussienne simple et Gaussienne asymétrique pure) et les modèles ne convergeant pas. Ainsi, nous présentons les modèles suivants :

- « Howell » d'après HOWELL et al. (2007), avec une Gaussienne simple pour chacune des populations jeune et âgée (voir Chapitre ??) ;
- « Howell+asym » où la population jeune est une simple Gaussienne et la population vieille est une Gaussienne asymétrique ;
- « Howell asym » où les deux populations jeune et âgée sont asymétriques.

I.2.2 Comparaison aux données

Chacun de ces modèles a été ajusté aux différents échantillons, et nous en présentons maintenant les résultats. La procédure d'ajustement est celle de la Section 3 de NN, selon la présence de LsSFR dans chaque sous-échantillon. On définit de même que précédemment

$$-2 \ln(L) = -2 \sum_i \ln \mathcal{P} \left(x_1^i \mid \vec{\theta}; dx_1^i, y^i \right). \quad (\text{I.3})$$

et nous utilisons le critère d'information d'AKAIKE (AIC, BURNHAM 2004) pour comparer la capacité de chaque modèle à décrire correctement les données en pénalisant l'ajout de paramètres libres tel que :

$$\text{AIC} = -2 \ln(L) + 2k, \quad (\text{I.4})$$

ce qui permet d'éviter le sur-ajustement. Les résultats sont présentés Tableau I.3.

Tableau I.3 – Comparaison de la capacité relative de chaque modèle à décrire les données selon l'échantillon d'ajustement.

| Échantillon | N _{SNe Ia} | Howell ($k = 4$) | | | Howell+asym ($k = 5$) | | | Howell asym ($k = 6$) | | |
|--------------|---------------------|--------------------|--------|------|-------------------------|--------|------|-------------------------|--------|------|
| | | -2 ln(L) | AIC | ΔAIC | -2 ln(L) | AIC | ΔAIC | -2 ln(L) | AIC | ΔAIC |
| SNf | 114 | 230,0 | 238,0 | – | 229,8 | 239,8 | -1,8 | 229,7 | 241,7 | -3,7 |
| SEDSNF | 110 | 223,9 | 231,9 | – | 221,4 | 231,4 | 0,6 | 221,3 | 233,3 | -1,4 |
| Fiduciel | 544 | 1534,3 | 1542,3 | – | 1534,3 | 1544,3 | -2,0 | 1531,0 | 1543,0 | -0,7 |
| SED Fiduciel | 548 | 1546,6 | 1554,6 | – | 1546,5 | 1556,5 | -1,9 | 1538,7 | 1550,7 | 4,0 |

Notes. Pour chaque modèle considéré, nous indiquons son nombre de paramètres libres k , et pour chaque échantillon étudié son $-2 \ln(L)$ (voir Équation I.3), son AIC et la différence d'AIC (ΔAIC) entre ce modèle et le modèle Howell, choisi comme référence car présentant l'AIC le plus faible pour 6 comparaisons sur 8.

Après calcul, le modèle Howell est celui qui se détache le plus, étant celui de plus petit AIC pour 6 modèles sur 8, et est celui représenté sur la Figure I.1 ; cependant tous les modèles sont considérés comme étant de bonnes représentations des données. Nous présentons Figure I.2 une illustration des résultats du tableau précédent, et Figure I.3 les représentations graphiques des modèles implémentés variant en redshift.

I.2.3 Sélection des modèles

Avec la multitude de modèles possibles pour établir nos HOSTLIB, nous avons dû effectuer une sélection. Étant donné que notre but est d'associer de manière cohérente

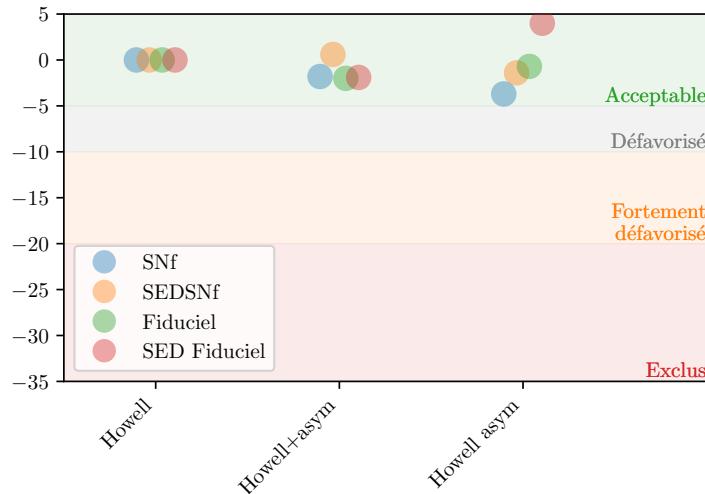


FIGURE I.2 – ΔAIC entre le modèle Howell et les autres modèles (voir Tableau I.3). Tous les modèles sont dérivants. Les marqueurs bleus, orange, verts, rouges montrent les résultats lorsque l’analyse est effectuée sur l’échantillon SNF, SEDSNF, fiduciel, fiduciel avec SEDSNF, respectivement (voir légende). Les bandes de couleur illustrent la validité des modèles, d’acceptable ($\Delta\text{AIC} > -5$) à exclu ($\Delta\text{AIC} < -20$). En suivant ces valeurs d’AIC, tous les modèles sont compatibles entre eux.

un âge de SN définie par un redshift et une masse de galaxie hôte, une caractéristique primordiale au modèle choisi est d’avoir une évolution de la fraction de jeunes SNe Ia physiquement cohérente avec les observations ; nous nous attendons notamment à ce que la fraction de jeunes étoiles soit ≈ 1 pour les $M_* \gtrsim 10^7 M_\odot$, diminue progressivement jusqu’à $\approx 50\%$ pour $M_* \approx 10^{10} M_\odot$ et continue sa progression vers 0 pour $M_* > 10^{10} M_\odot$; en effet, la position de la marche de magnitude basée sur la masse est à $M_* = 10^{10} M_\odot$ et cette limite constitue un bon indicateur de l’âge d’une SN Ia d’après [BRIDAY et al. \(2022\)](#).

Nous avons étudié cette évolution pour les différents modèles implémentés, dont les résultats sont présentés Figure I.4.

Nous trouvons alors que tous les modèles finissent par présenter une remontée de la fraction de jeunes étoiles quand la masse $M_* > 10^{11} M_\odot$, sauf le modèle Howell ajusté sur l’échantillon SEDSNF. Cela provient de l’incertitude des courbes Gaussiennes des sous-populations jeunes étant bien plus larges que celles des sous-populations vieilles, donnant pour les masses élevées un rapport de probabilité en faveur des jeunes SNe Ia. Ceci ne correspondant pas à une réalité physique, nous rejetons tous les modèles Howell+asym et Howell asym de notre étude à partir de ces résultats.

Parmi les modèles Howell, seul celui ajusté sur SNf passe en effet par 50% à $M_* = 10^{10} M_\odot$. Nous conservons ainsi les modèles Howell ajusté sur SEDSNF et le modèle Howell ajusté sur SNf. Les valeurs des paramètres les décrivant sont indiquées Tableau I.4.

I.2.4 Génération des HOSTLIB

Avec les modélisations de la masse et de l’étirement en fonction du redshift, nous pouvons à présent lire les entrées des HOSTLIB BP, et à partir d’un redshift générer une liste de masses et d’étirements. Cela nous permettra ensuite de faire correspondre la masse

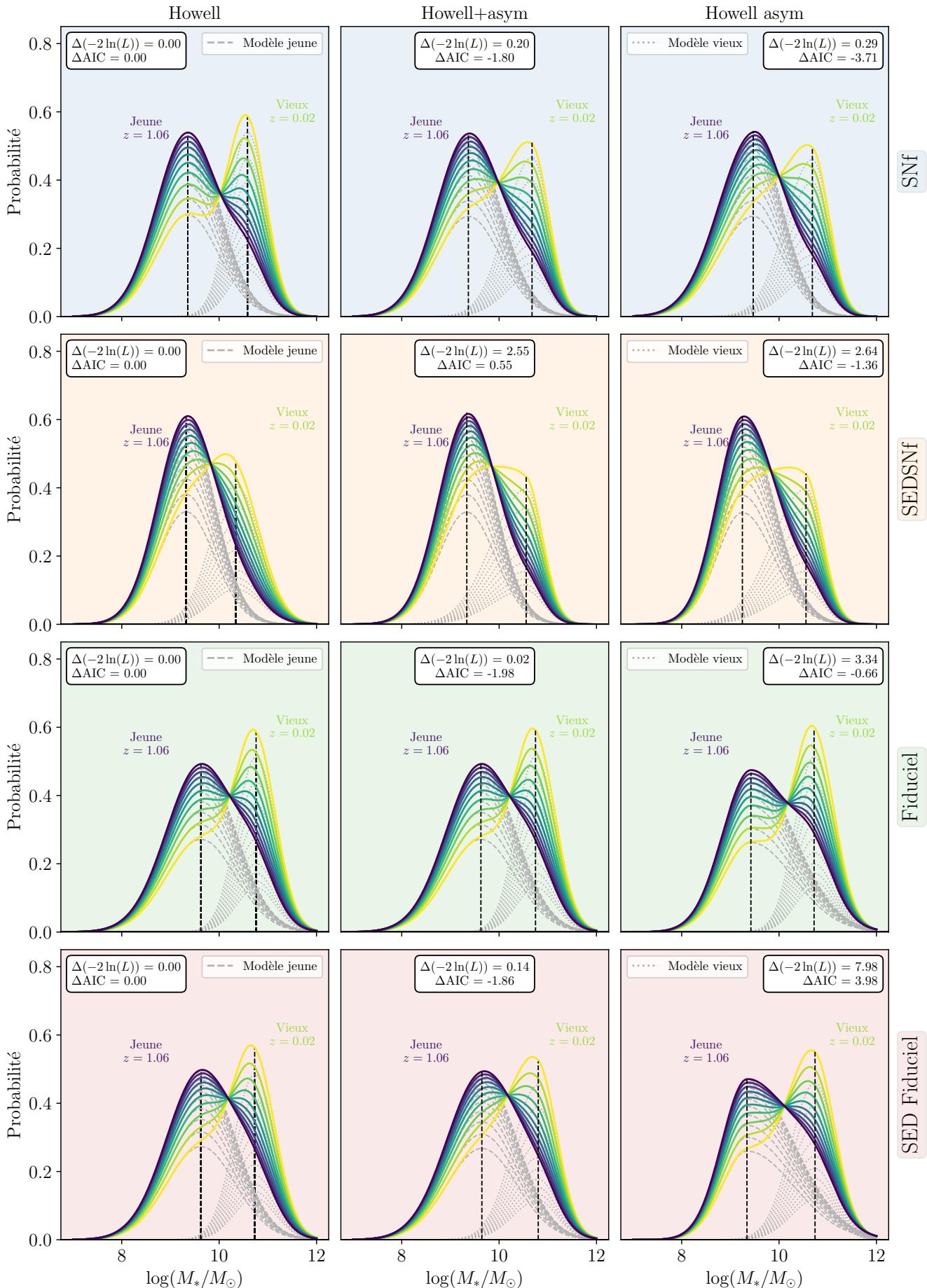


FIGURE I.3 — Modèles implémentés et testés dans l'étude de l'évolution de la masse avec le redshift. Les modèles Howell, Howell+asym et Howell asym sont tracés dans la colonne de gauche, du milieu et de droite, respectivement. Les échantillons sur lesquels ils sont ajustés correspondent aux lignes et à la couleur de fond du graphique : SNf (bleu), SEDSNF (orange), fiduciel (vert), fiduciel avec SEDSNF (rouge) ; ce sont les mêmes couleurs que dans la Figure I.2. Les quantités $\Delta(-2\ln(L))$ et ΔAIC par rapport au modèle Howell de chaque ligne sont indiquées pour chaque modèle figure. Nous avons tracé dix réalisations des modèles selon la valeur du redshift moyen considéré, de la valeur la plus basse de notre échantillon ($z = 0.02$) à la valeur maximale des données totales (sans coupe en redshift) de SNLS ($z = 1.06$) représentés en couleur allant du jaune (bas redshift, plus vieil environnement) au violet (haut redshift, environnement jeune) et les distributions des populations jeune et vieille constituant le modèle total sont en gris pointillé et fin pointillé, respectivement. Nous y retrouvons l'information que tous les modèles sont compatibles en tant que bonnes représentations des données par rapport au modèle de base.

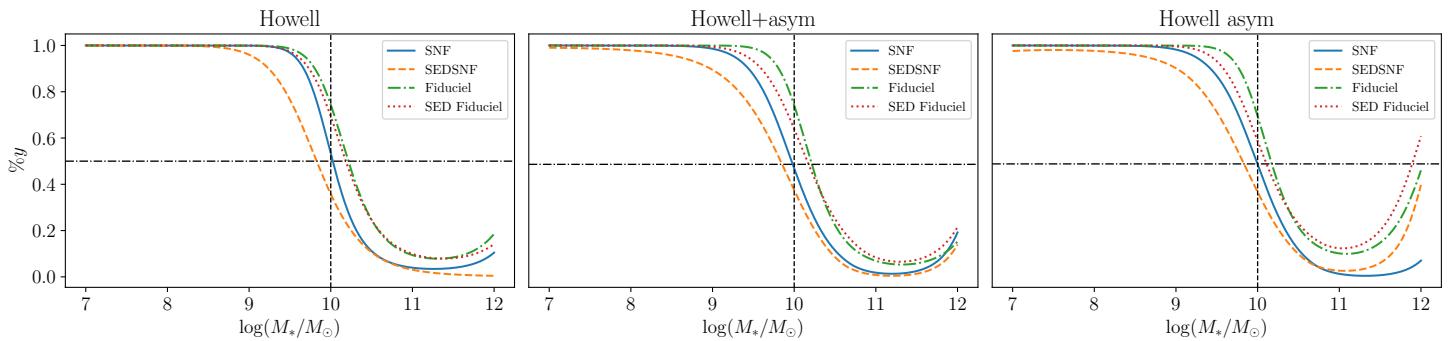


FIGURE I.4 – Comparaison de la prédiction de l’évolution de la fraction de jeunes SNe Ia ($\%y$) en fonction de la masse de la galaxie hôte (M_*) pour chaque modèle et selon chaque échantillon utilisé pour l’ajustement. Alors que le sens de variation devrait être constant, pratiquement tous les modèles finissent par remonter après $M_* \approx 10^{11} M_\odot$, sauf le modèle Howell ajusté sur SEDSNf. Nous excluons les modèles Howell+asym et Howell asym par ce critère.

Tableau I.4 – Valeurs des paramètres issus des meilleurs ajustement du modèle Howell sur les échantillons SNF et SEDSNf.

| Échantillon | μ_y | σ_y | μ_o | σ_o |
|-------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| SNF | 9.36 ± 0.06 | 0.64 ± 0.04 | 10.58 ± 0.04 | 0.38 ± 0.04 |
| SEDSNF | 9.32 ± 0.07 | 0.58 ± 0.05 | 10.34 ± 0.07 | 0.51 ± 0.06 |

de la HOSTLIB avec celles de la liste générée, et d’attribuer une valeur d’étirement qui remplacera celle de BP.

Cette étape est réalisée avec le module Python `SNprop`². Ce processus prend la fraction attendue de jeunes étoiles en utilisant $\delta(z)$ donnée Équation ???. Il assigne une qualité « jeune » ($LsSFR = 1$) ou « vieille » ($LsSFR = 0$) au tirage qui va suivre en prenant un nombre aléatoire r entre 0 et 1 et en le comparant à la valeur de la fraction susmentionnée. Si $r < \delta(z)$, alors la SN simulée sera jeune et inversement. Plus z augmente et plus $\delta(z)$ augmente, et donc plus la probabilité d’être assigné jeune augmente. Ceci est présenté Figure I.5.

Cette étape est réalisée 1000 fois pour chaque redshift de la HOSTLIB, donnant une table de redshift, LsSFR (0 ou 1), masse et étirement de 1000 entrées, puis une correspondance est effectuée entre toutes les masses tirées et la masse de la HOSTLIB pour trouver celle qui en est la plus proche. Nous prenons alors la valeur d’étirement associée et remplaçons celle de la HOSTLIB. Au même moment, nous entrons la valeur de l’âge (0 ou 1) dans une nouvelle colonne LOGsSFR ; ceci conclut la confection des HOSTLIB NN. Les HOSTLIB NR possèdent un autre colonne supplémentaire, où à chaque valeur de LOGsSFR est associée une valeur de SNMAGSHIFT, de +0,065 pour LOGsSFR = 1 (jeune, moins lumineuse) et de -0,065 pour LOGsSFR = 0 (vieille, plus lumineuse), qui remplacent les valeurs de marche de magnitude basées sur la masse implémentées dans les autres approches et qui sont associées au WEIGHTMAP.

Selon le modèle de masse utilisé, il y a donc différentes HOSTLIB, qui correspondent à nos simulations. Nous recensons donc :

2. <https://github.com/MickaelRigault/snprop>

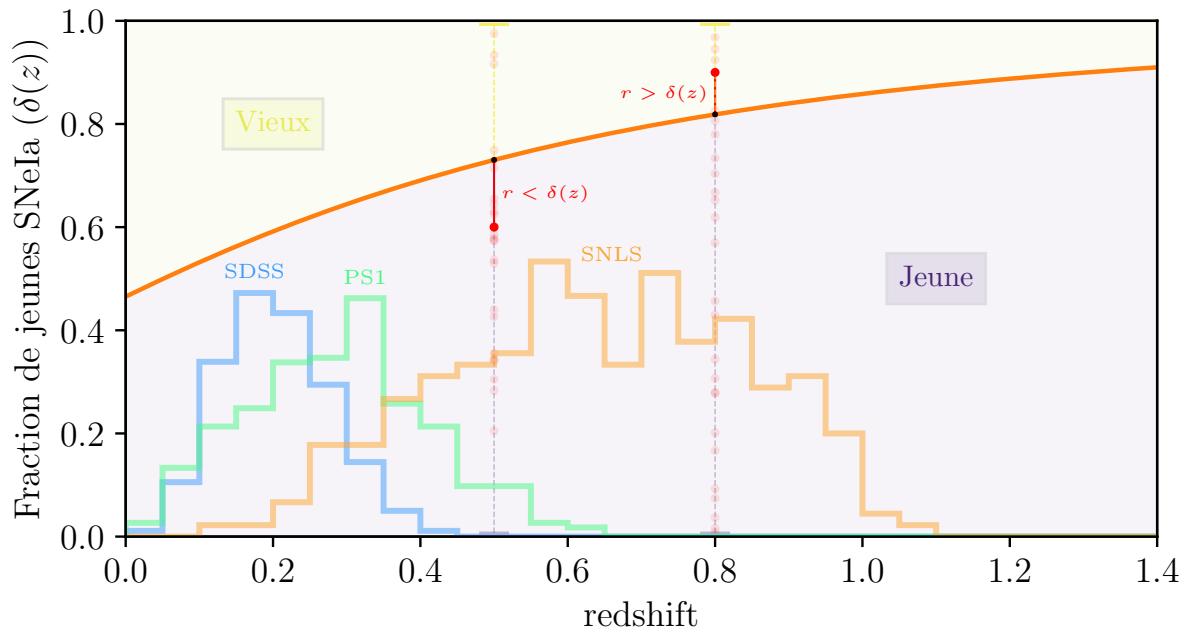


FIGURE I.5 – Représentation du choix de l’âge d’une SN et de l’assignation de masse et d’étirement en fonction du redshift du module Python `SNprop`². Orange : fraction estimée de jeunes SNe Ia en fonction du redshift. *Histogrammes* : nombres de SNe Ia des 3 sondages principaux de l’échantillon Pantheon (SCOLNIE et al. 2018) (pas à l’échelle). *Lignes verticales* : pour chaque z de la HOSTLIB, un nombre aléatoire r entre 0 et 1 est tiré : s’il est supérieur (inférieur) à $\delta(z)$ à ce redshift, alors la SN sera assignée vieille (jeune) et les valeurs de masse et d’étirement générées seront tirées des distributions sous-jacentes vieilles (jeunes) des paramètres correspondants.

- 1) Les **HOSTLIB** avec le modèle Howell ajusté sur SEDSNf;
- 2) Les **HOSTLIB** avec le modèle Howell ajusté sur SNf;

et pour reproduire artificiellement la descente de la fraction de jeunes étoiles en fonction de la masse attendue, nous avons également :

- 3) Les **HOSTLIB** avec le modèle Howell ajusté sur SNf, mais pour lesquelles les entrées de $M_* > 10^{11} M_\odot$ sont automatiquement associées à des SNe Ia âgées ; cette simulation est appelée « SNfsupp » pour « suppressed » (« réprimé »).

I.3 Implémentation

Nous traitons maintenant de l'implémentation de ces simulations. Dans un premier lieu nous introduisons les types de simulations (Section I.3.1) et la nomenclature utilisée (Section I.3.2), puis la manière de contrôler le nombre de SNe Ia simulées et notre choix de réalisation (Section I.3.3), avant de présenter la méthode de comparaison de correspondance entre les données réelles et les données simulées (Section I.3.4).

I.3.1 Types de simulations

Nous pouvons implémenter différentes manières d'effectuer ces simulations, que nous appelons « types ».

Idéalement, notre approche serait de simuler 100 fois des échantillons de la taille de l'échantillon de Pantheon (≈ 1000) et de combiner les résultats, permettant ainsi d'avoir des incertitudes statistiques réalistes ; un tel type de simulation était appelé « SSIZE » pour « sample sized » (de la taille des échantillons), et prend un temps de calcul considérable.

Le plus simple et moins coûteux en temps a été de simuler un échantillon d'une taille conséquente ($\approx 13\,000$) une fois pour chaque simulation avec un BiasCor 50 fois plus grand, type de simulation appelé « FULL » (complet).

Des tentatives de simulation avec des données simulées en très grand nombre ont été implémentées, nommées « VFULL » pour « very full » (très complet).

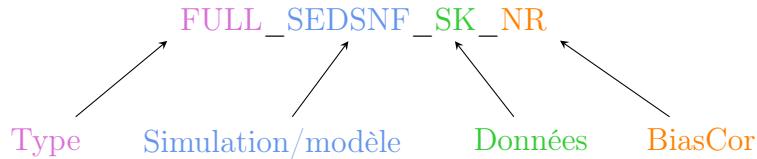
D'autres types ont été implémentés, mais la complexité des simulations avec **SNANA** nous a forcés à modifier les paramètres de simulation jusqu'au dernier moment, rendant impossible le fait d'effectivement réaliser ces types de simulations, et nous ne présentons ici que les résultats « FULL ».

I.3.2 Nomenclature des simulations

Par chacun des modèles utilisés et donc chacune des simulations, nous générerons les échantillons LOWZ, SDSS, PS1 et SNLS avec les **HOSTLIB** SK, BP, NN et NR (que nous appelons les « saveurs » de simulation), afin de comparer les résultats finaux de ces simulations avec les données de Pantheon et voir l'impact de ces différentes corrélations à l'environnement sur la cosmologie. À chaque échantillon simulé est associé un échantillon BiasCor qui sera combiné sur les différents sondages pour chaque saveur. Tous ces échantillons simulés sont conservés pour pouvoir utiliser les données d'une saveur et de les corriger avec le BiasCor d'une autre saveur : l'idée derrière cette pratique est de générer des

données avec certaines hypothèses et de les ajuster en utilisant d'autres pour connaître le potentiel biais dû au fait de méconnaître la physique réelle qui régit les propriétés intrinsèques des SNe Ia.

Ainsi, la nomenclature de nos simulations suit la logique suivante :



I.3.3 Contrôle du nombre de SNe Ia simulées : NGEN

Pour comparer de manière cohérente les données simulées aux données réelles, il faut que le ratio des données de chaque sondage de l'échantillon simulé corresponde au ratio des données de chaque sondage de l'échantillon réel. Ceci s'effectue *via* un paramètre appelé `NGEN`, décrivant le nombre d'années de sondage simulé. Il permet de contrôler plus ou moins précisément le nombre de SNe Ia simulées, puisque chaque sondage a sa propre efficacité spectroscopique qui, à chaque simulation, opère une sélection des données conservées (voir Chapitre ??). Notamment, puisque l'efficacité spectroscopique de l'échantillon LOWZ est particulièrement faible, il nécessite un grand `NGEN` dans nos fichiers de configurations. De plus, la correction par BBC réduit l'échantillon en ne conservant que les données qui possèdent une correction ; ainsi, en plus de l'ajustement avec `NGEN`, nous avons implémenté une sélection aléatoire des données de chaque sondage pour reproduire les ratios attendus. Nous indiquons dans le Tableau I.5 le nombre de données pour les données réelles et pour nos simulations à chaque étape de sélection.

- Plot HOSTLIBs parameters ?
- Weighmaps, plot them ?
- Talk about NGENs and how they are made to fit to the ratio in Pantheon ?

I.3.4 Comparaison des données simulées aux données réelles

Avant de comparer les résultats cosmologiques, nous nous sommes intéressés à la correspondance entre les données simulées et les données réelles afin d'apprécier les changements sur les distributions des différentes saveurs de simulation. Nous étudions pour cela les distributions d'étirement en fonction du redshift et les distributions d'étirement en fonction de la masse de la galaxie hôte. Nous les représentons en histogrammes 2D en couleurs pour les données simulées, et en points dispersés pour les données réelles. Pour déterminer l'accord entre ces deux échantillons de manière quantitative, nous avons utilisé une estimation par noyau pour convertir les données simulées en densité de probabilité bi-dimensionnelle, permettant de calculer un χ^2 entre les données réelles et le noyau. Un exemple est donné Figure I.6.

The numerical values follow what was already clear on the figures : it fits best.

Tableau I.5 – Nombre de données avant, après l’ajustement par BBC, et après l’échantillonnage nécessaire à la reproduction des ratio observés dans l’échantillon Pantheon ([SCOLNIC et al. 2018](#)).

| Simulation | Saveurs | Avant BBC | | | | Après BBC | | | | Échantillonné | | | | Total ¹ | BiasCor ² | |
|------------|---------|-----------|------|------|------|-----------|------|------|------|---------------|------|------|------|--------------------|----------------------|--------|
| | | LOWZ | SDSS | PS1 | SNLS | LOWZ | SDSS | PS1 | SNLS | LOWZ | SDSS | PS1 | SNLS | | | |
| Pantheon | | | | | | 172 | 335 | 279 | 236 | | | | | 1022 | | |
| SNFSUPP | SK | 3110 | 3306 | 6768 | 5340 | 2346 | 2443 | 5477 | 3067 | 2346 | 2443 | 5477 | 3067 | 13333 | | |
| | | BP | 3110 | 3306 | 6768 | 5340 | 2290 | 2344 | 5368 | 2845 | 2290 | 2344 | 5368 | 2845 | 12847 | 932916 |
| | | NN | 3110 | 3306 | 6768 | 5340 | 2242 | 2348 | 5413 | 2895 | 2242 | 2348 | 5413 | 2895 | 12898 | |
| | | NR | 3110 | 3306 | 6768 | 5340 | 2242 | 2348 | 5413 | 2895 | 2242 | 2348 | 5413 | 2895 | 12898 | |
| SNF | BP | SK | 2594 | 3199 | 6557 | 5274 | 1806 | 2248 | 5050 | 3212 | 1806 | 2248 | 5050 | 3212 | 12316 | |
| | | BP | 2594 | 3199 | 6557 | 5274 | 1821 | 2268 | 5206 | 3167 | 1821 | 2268 | 5206 | 3167 | 12462 | 880488 |
| | | NN | 2594 | 3199 | 6557 | 5274 | 1724 | 2263 | 5213 | 3197 | 1724 | 2263 | 5213 | 3197 | 12397 | |
| | | NR | 2594 | 3199 | 6557 | 5274 | 1724 | 2263 | 5213 | 3197 | 1724 | 2263 | 5213 | 3197 | 12397 | |
| | NN | SK | 3008 | 3188 | 6634 | 5280 | 2166 | 2191 | 4986 | 3096 | 2166 | 2191 | 4986 | 3096 | 12439 | |
| | | BP | 3008 | 3188 | 6634 | 5280 | 2152 | 2201 | 5115 | 3010 | 2152 | 2201 | 5115 | 3010 | 12478 | 902775 |
| | | NN | 3008 | 3188 | 6634 | 5280 | 2252 | 2215 | 5226 | 3094 | 2252 | 2215 | 5226 | 3094 | 12787 | |
| | | NR | 3008 | 3188 | 6634 | 5280 | 2252 | 2215 | 5226 | 3094 | 2252 | 2215 | 5226 | 3094 | 12787 | |
| SEDSNF | NR | SK | 3106 | 3200 | 6616 | 5183 | 2237 | 2210 | 4992 | 3022 | 2237 | 2210 | 4992 | 3022 | 12461 | |
| | | BP | 3106 | 3200 | 6616 | 5183 | 2216 | 2219 | 5111 | 2929 | 2216 | 2219 | 5111 | 2929 | 12475 | 902775 |
| | | NN | 3106 | 3200 | 6616 | 5183 | 2321 | 2243 | 5223 | 3011 | 2321 | 2243 | 5223 | 3011 | 12798 | |
| | | NR | 3106 | 3200 | 6616 | 5183 | 2321 | 2243 | 5223 | 3011 | 2321 | 2243 | 5223 | 3011 | 12798 | |
| | SK | SK | 3110 | 3306 | 6768 | 5340 | 2346 | 2443 | 5477 | 3067 | 2346 | 2443 | 5477 | 3067 | 13333 | |
| | | BP | 3110 | 3306 | 6768 | 5340 | 2290 | 2344 | 5368 | 2845 | 2290 | 2344 | 5368 | 2845 | 12847 | 932916 |
| | | NN | 3110 | 3306 | 6768 | 5340 | 2242 | 2353 | 5456 | 2886 | 2242 | 2353 | 5456 | 2886 | 12937 | |
| | | NR | 3110 | 3306 | 6768 | 5340 | 2242 | 2353 | 5456 | 2886 | 2242 | 2353 | 5456 | 2886 | 12937 | |
| | BP | SK | 2594 | 3199 | 6557 | 5274 | 1806 | 2248 | 5050 | 3212 | 1806 | 2248 | 5050 | 3212 | 12316 | |
| | | BP | 2594 | 3199 | 6557 | 5274 | 1821 | 2268 | 5206 | 3167 | 1821 | 2268 | 5206 | 3167 | 12462 | 880488 |
| | | NN | 2594 | 3199 | 6557 | 5274 | 1718 | 2263 | 5229 | 3210 | 1718 | 2263 | 5229 | 3210 | 12420 | |
| | | NR | 2594 | 3199 | 6557 | 5274 | 1718 | 2263 | 5229 | 3210 | 1718 | 2263 | 5229 | 3210 | 12420 | |
| | NN | SK | 3037 | 3205 | 6644 | 5305 | 2180 | 2235 | 5117 | 3131 | 2180 | 2235 | 5117 | 3131 | 12663 | |
| | | BP | 3037 | 3205 | 6644 | 5305 | 2165 | 2236 | 5176 | 3051 | 2165 | 2236 | 5176 | 3051 | 12628 | 907904 |
| | | NN | 3037 | 3205 | 6644 | 5305 | 2264 | 2250 | 5288 | 3113 | 2264 | 2250 | 5288 | 3113 | 12915 | |
| | | NR | 3037 | 3205 | 6644 | 5305 | 2264 | 2250 | 5288 | 3113 | 2264 | 2250 | 5288 | 3113 | 12915 | |
| | NR | SK | 3097 | 3204 | 6607 | 5193 | 2239 | 2224 | 5068 | 3054 | 2239 | 2224 | 5068 | 3054 | 12585 | |
| | | BP | 3097 | 3204 | 6607 | 5193 | 2221 | 2228 | 5136 | 2968 | 2221 | 2228 | 5136 | 2968 | 12553 | 907904 |
| | | NN | 3097 | 3204 | 6607 | 5193 | 2326 | 2246 | 5249 | 3038 | 2326 | 2246 | 5249 | 3038 | 12859 | |
| | | NR | 3097 | 3204 | 6607 | 5193 | 2326 | 2246 | 5249 | 3038 | 2326 | 2246 | 5249 | 3038 | 12859 | |
| SEDSNF | SK | SK | 3110 | 3306 | 6768 | 5340 | 2346 | 2443 | 5477 | 3067 | 2346 | 2443 | 5477 | 3067 | 13333 | |
| | | BP | 3110 | 3306 | 6768 | 5340 | 2290 | 2344 | 5368 | 2845 | 2290 | 2344 | 5368 | 2845 | 12847 | 932916 |
| | | NN | 3110 | 3306 | 6768 | 5340 | 2241 | 2372 | 5460 | 2928 | 2241 | 2372 | 5460 | 2928 | 13001 | |
| | | NR | 3110 | 3306 | 6768 | 5340 | 2241 | 2372 | 5460 | 2928 | 2241 | 2372 | 5460 | 2928 | 13001 | |
| | BP | SK | 2594 | 3199 | 6557 | 5274 | 1806 | 2248 | 5050 | 3212 | 1806 | 2248 | 5050 | 3212 | 12316 | |
| | | BP | 2594 | 3199 | 6557 | 5274 | 1821 | 2268 | 5206 | 3167 | 1821 | 2268 | 5206 | 3167 | 12462 | 880488 |
| | | NN | 2594 | 3199 | 6557 | 5274 | 1744 | 2291 | 5223 | 3216 | 1744 | 2291 | 5223 | 3216 | 12474 | |
| | | NR | 2594 | 3199 | 6557 | 5274 | 1744 | 2291 | 5223 | 3216 | 1744 | 2291 | 5223 | 3216 | 12474 | |
| | NN | SK | 2965 | 3192 | 6642 | 5310 | 2184 | 2180 | 4982 | 3141 | 2184 | 2180 | 4982 | 3141 | 12487 | |
| | | BP | 2965 | 3192 | 6642 | 5310 | 2149 | 2169 | 5093 | 3067 | 2149 | 2169 | 5093 | 3067 | 12478 | 904605 |
| | | NN | 2965 | 3192 | 6642 | 5310 | 2250 | 2242 | 5250 | 3142 | 2250 | 2242 | 5250 | 3142 | 12884 | |
| | | NR | 2965 | 3192 | 6642 | 5310 | 2250 | 2242 | 5250 | 3142 | 2250 | 2242 | 5250 | 3142 | 12884 | |
| | NR | SK | 3067 | 3193 | 6583 | 5223 | 2253 | 2170 | 4925 | 3063 | 2253 | 2170 | 4925 | 3063 | 12411 | |
| | | BP | 3067 | 3193 | 6583 | 5223 | 2219 | 2152 | 5034 | 3005 | 2219 | 2152 | 5034 | 3005 | 12410 | 904605 |
| | | NN | 3067 | 3193 | 6583 | 5223 | 2323 | 2227 | 5194 | 3075 | 2323 | 2227 | 5194 | 3075 | 12819 | |
| | | NR | 3067 | 3193 | 6583 | 5223 | 2323 | 2227 | 5194 | 3075 | 2323 | 2227 | 5194 | 3075 | 12819 | |

¹ Les modèles étant spécifiques aux HOSTLIB NN et NR, le nombre de données des simulations ne faisant intervenir que BP et SK sont les mêmes pour les 3 modèles.

² Les échantillons BiasCor indiqués sont ceux de la saveur utilisée pour les données.

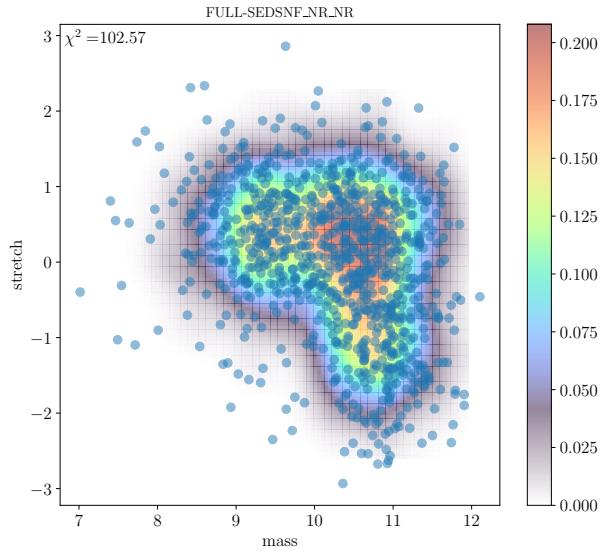


FIGURE I.6 – Accord entre les données réelles et simulées avec le modèle SEDSNf pour les saveurs NR_NR

Tableau I.6 – Comparison of the relative ability of each HOSTLIB implementation to describe the data. For each HOSTLIB a 2D KDE is computed from the simulated data and used to determine said χ^2 .

| HOSTLIB | χ^2 | |
|---------|--------------------|----------------------------------|
| | $x_1 \text{ v } z$ | $x_1 \text{ v } M_{\text{host}}$ |
| P21 | ????? | ????? |
| N21 | ????? | ????? |

I.4 Résultats

What we want is not so much w than Δw wrt. best current work. We find x% and here are the contours.

I.5 Discussion

We expected to have a higher/lower, and we got that.

I.6 Conclusion

Should be nice.

Figures

| | | |
|-----|--|----|
| I.1 | M_* en fonction du LsSFR des SNe Ia de SNfactory et modèle de masse sélectionné ajusté | 5 |
| I.2 | ΔAIC entre le modèle Howell et les autres modèles | 7 |
| I.3 | Modèles implémentés et testés dans l'étude de l'évolution de l'étirement avec le redshift | 8 |
| I.4 | Comparaison de la prédiction de l'évolution de la fraction de jeunes SNe Ia en fonction de la masse de la galaxie hôte | 9 |
| I.5 | Représentation du choix de l'âge d'une SN et de l'assignation de masse et d'étirement en fonction du redshift | 10 |
| I.6 | Accord entre les données réelles et simulées avec le modèle SEDSNf pour les saveurs NR_NR | 14 |

Tableaux

| | | |
|-----|---|----|
| I.1 | Paramètres des distributions d'étirement et de couleur pour les simulations SK | 2 |
| I.2 | Paramètres de la distribution d'étirement pour l'échantillon LOWZ des simulations SK | 3 |
| I.3 | Comparaison de la capacité relative de chaque modèle à décrire les données selon l'échantillon d'ajustement | 6 |
| I.4 | Valeurs des paramètres issus des meilleurs ajustement du modèle Howell sur les échantillons SNF et SEDSNf | 9 |
| I.5 | Nombre de données de nos différentes simulations | 13 |
| I.6 | Comparison of the relative ability of each HOSTLIB implementation to describe the data. For each HOSTLIB a 2D KDE is computed from the simulated data and used to determine said χ^2 | 14 |

Bibliographie

- BRIDAY M., RIGAULT M., GRAZIANI R. et al. 2022, « Accuracy of environmental tracers and consequences for determining the Type Ia supernova magnitude step », *A&A*, 657, A22 ↑ Section I.2, ↑ Section I.2.3
- BURNHAM, KENNETH & ANDERSON D. R. 2004, « Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection », *Sociological Methods & Research*, 33, 261 ↑ Section I.2.2
- HOWELL D. A., SULLIVAN M., CONLEY A. et CARLBERG R. 2007, « Predicted and Observed Evolution in the Mean Properties of Type Ia Supernovae with Redshift », *ApJ*, 667, L37 ↑ Section I.2.1
- NICOLAS N., RIGAULT M., COPIN Y. et al. 2021, « Redshift evolution of the underlying type Ia supernova stretch distribution », *A&A*, 649, A74 ↑ Section I.1.3, ↑ Section I.2.2
- POPOVIC B., BROUT D., KESSLER R., SCOLNIC D. et LU L. 2021, « Improved Treatment of Host-galaxy Correlations in Cosmological Analyses with Type Ia Supernovae », *ApJ*, 913, 49 ↑ Section I.1, ↑ Section I.1.2, ↑ Section I.2, ↑ Section I.2.4
- RIGAULT M., BRINNEL V., ALDERING G. et al. 2020, « Strong dependence of Type Ia supernova standardization on the local specific star formation rate », *A&A*, 644, A176 ↑ Section I.1.4, ↑ Section I.2.1, ↑ Section I.1
- SCOLNIC D. et KESSLER R. 2016, « Measuring Type Ia Supernova Populations of Stretch and Color and Predicting Distance Biases », *ApJ*, 822, L35 ↑ Section I.1, ↑ Section I.1.1, ↑ Section I.2
- SCOLNIC D. M., JONES D. O., REST A. et al. 2018, « The Complete Light-curve Sample of Spectroscopically Confirmed SNe Ia from Pan-STARRS1 and Cosmological Constraints from the Combined Pantheon Sample », *ApJ*, 859, 101 ↑ Section I.1, ↑ Section I.1.1, ↑ Section I.2, ↑ Section I.5, ↑ Section I.5
- TAYLOR E. N., HOPKINS A. M., BALDRY I. K. et al. 2011, « Galaxy And Mass Assembly (GAMA): stellar mass estimates », *MNRAS*, 418, 1587 ↑ Section I.2.1