

Conclusions

Au fil de cette thèse, nous avons montré comment procéder à l'étude précise et approfondie d'un phénomène pouvant apporter un biais notable à nos mesures de paramètres cosmologiques. En effet, la cosmologie observationnelle est par essence une science non-reproductible et la nature imprécise des SNe Ia force les études à se reposer sur des lois empiriques dont les motivations sont parfois approximatives. C'est à partir de la première standardisation de leur luminosité avec leur étirement et leur couleur qu'elles ont pu être utilisées comme des sondes utiles, et maintenant indispensables à la compréhension de l'Univers.

Afin de continuer à améliorer cette standardisation, la recherche avec les SNe Ia étudie les meilleurs paramètres permettant de les décrire. Certains travaux augmentent le nombre de paramètres décrivant leurs variabilités (c'est le cas de SUGAR, décrit dans [LÉGET et al. 2020](#)), s'écartant ainsi des descriptions classiques de SALT2 ([GUY et al. 2007](#)). D'autres équipes implémentent des traceurs environnementaux jugés plus pertinents à leur étude (par exemple, le LsSFR ou la masse de la galaxie hôte dans [RIGAULT et al. 2013](#) ; [CHILDRESS et al. 2013](#), respectivement) qui permettraient de distinguer deux populations au sein des SNe Ia. Par ailleurs, [BRIDAY et al. \(2022\)](#) se sont intéressés à la qualité de ces différents traceurs afin de déterminer lequel mène à leur meilleure caractérisation. Mais si les possibilités d'amélioration de description et de compréhension sont nombreuses, la dérive des propriétés-mêmes des SNe Ia avec le redshift reste peu étudiée.

À cet effet, notre thèse s'est focalisée sur le test cette hypothèse en se basant sur la fonction d'évolution de l'âge moyen des SNe Ia avec le redshift établie dans [RIGAULT et al. \(2020\)](#), et s'est à ce titre attachée à étudier le paramètre d'étirement des SNe Ia qui en est une propriété intrinsèque. La première partie de ces trois ans de recherche a porté sur la confection d'un échantillon de données permettant cette analyse, c'est-à-dire qui soit exempt de biais de sélection et qui représente tous les étirements observables possibles.

Cet échantillon a permis d'établir deux modèles de distribution d'étirement différents selon l'âge des SNe Ia, amenant à une dérive de l'étirement moyen des SNe Ia *via* l'évolution des fractions respectives entre vieilles et jeunes SNe Ia. Cette approche a ensuite été testée avec d'autres modèles, dérivants ou non, et nous a amené à montrer que tout modèle non-dérivant était automatiquement exclu à 5σ comme étant une bonne représentation des données par rapport à notre modèle. Ce travail a été accepté pour publication le 21 février 2021 dans le journal *Astronomy and Astrophysics* ([NICOLAS et al. 2021](#)).

La seconde partie de notre thèse a été la prise en main des logiciels SNANA afin d'intégrer ce modèle dans ce pipeline d'analyse cosmologique, en partant de la confection des corrélations entre SN et galaxie pour arriver jusqu'au calcul des modules de distance corrigés permettant la détermination de paramètres cosmologiques. Ce travail a permis de mettre en lumière l'existence d'un biais aux alentours de 4% sur la mesure de w si l'âge d'une SN est en effet le paramètre à l'origine des variabilités intrinsèques des SNe Ia. Ce travail constitue le cœur d'un second article en cours de rédaction.

Nous résumons ces travaux de la manière suivante :

- Nous supposons que l'âge moyen des SNe Ia évolue avec le redshift suivant le modèle

de [RIGAULT et al. \(2020\)](#) ;

- Nous avons établi un échantillon d'étude exempt de biais de sélection affectant l'étiement grâce à des coupes en redshift basées sur la magnitude limite des télescopes ; cet échantillon contient des données allant de $z = 0,02$ à $z = 2,26$;
- Nous avons étudié l'étiement de cette échantillon en fonction de l'âge des SNe Ia selon différentes modélisations, avec et sans évolution, et avons conclu que tout modèle non-dérivant était exclus en tant que bonne représentation des données par rapport à notre modèle de base, publié dans [NICOLAS et al. \(2021\)](#) ;
- Nous avons pris en main l'ensemble de logiciels **SNANA** et amélioré les tables habituellement utilisées par la communauté pour y inclure une caractéristique d'âge basée sur le redshift et la masse de la galaxie hôte d'une supernova, permettant en même temps de remplacer les modèles rétrospectifs (exclus par l'étude précédente) par notre modèle prospectif ;
- Nous avons simulé une variété d'échantillons selon différentes hypothèses de corrélation en croisant les données utilisées pour la génération et la standardisation afin d'estimer le biais cosmologique dû à une modélisation non-représentative de la réalité ;
- Nous trouvons un accord aux données réelles de cette modélisation comparable (parfois meilleur) aux implémentations cosmologiques des études utilisant **SNANA** les plus complètes ([SCOLNIC et KESSLER 2016](#) ; [SCOLNIC et al. 2018](#) ; [POPOVIC et al. 2021](#)), attestant de la force de l'hypothèse initiale ainsi que celle du modèle prospectif établi en début de thèse ; celui-ci ne faillit qu'au niveau de la reproduction du seul sondage ciblé de l'étude (LOWZ) qui est par construction non-représentatif de la nature ;
- Nous rapportons une cohérence des résultats cosmologiques ($w = -1$) lorsque les échantillons générés sont corrigés en supposant les mêmes corrélations, à l'exception du modèle pour lequel **SNANA** n'a pas tous les outils pour le traiter correctement : le biais calculé pour un Univers régit par une marche de magnitude basée sur l'âge mais corrigé par **SNANA** avec une marche basée sur la masse est de 4% au mieux, 8% au pire ;
- Nous relevons que ce défaut de compréhension des implications de l'âge comme traceur des propriétés des SNe Ia est en accord avec les résultats de [BRIDAY \(2021\)](#) ; [BRIDAY et al. \(2022\)](#) présentant la réduction de la valeur trouvée de marche de magnitude selon la capacité d'un traceur à discriminer deux populations : notre implémentation à $\gamma_{\text{âge}} = 0,130$ mag est diminuée à $\gamma_{\text{masse}} = 0,100$ mag, appuyant à nouveau et de manière indépendante l'hypothèse selon laquelle l'âge est le meilleur traceur des propriétés intrinsèques des SNe Ia.

Ainsi, au travers de ces résultats, nous suggérons aux différentes analyses cosmologiques se basant sur des simulations et des distributions sous-jacentes d'étiement d'utiliser le modèle évoluant avec le redshift du Chapitre ??, et mettons en garde la communauté quant à la complexité des analyses environnementales : si beaucoup de traceurs sont corrélés,

ils ne sont pas tous équivalents et leurs implications quant à l'évolution avec le redshift diffèrent.

Bibliographie

- BRIDAY M. 2021, « Étude de l'impact de l'environnement galactique sur la standardisation des Supernovae de Type Ia », Thèse, Université Claude Bernard – Lyon I, [HAL thèses](#) [↑ Section](#)
- 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](#) , [↑ Section](#)
- CHILDRESS M., ALDERING G., ANTILOGUS P. et al. 2013, « Host Galaxy Properties and Hubble Residuals of Type Ia Supernovae from the Nearby Supernova Factory », [ApJ](#), [770](#), [108](#) [↑ Section](#)
- GUY J., ASTIER P., BAUMONT S. et al. 2007, « SALT2: using distant supernovae to improve the use of type Ia supernovae as distance indicators », [A&A](#), [466](#), [11](#) [↑ Section](#)
- LÉGET P. F., GANGLER E., MONDON F. et al. 2020, « SUGAR: An improved empirical model of Type Ia supernovae based on spectral features », [A&A](#), [636](#), [A46](#) [↑ Section](#)
- NICOLAS N., RIGAULT M., COPIN Y. et al. 2021, « Redshift evolution of the underlying type Ia supernova stretch distribution », [A&A](#), [649](#), [A74](#) [↑ Section](#) , [↑ Section](#)
- 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](#)
- 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](#) , [↑ Section](#)
- RIGAULT M., COPIN Y., ALDERING G. et al. 2013, « Evidence of environmental dependencies of Type Ia supernovae from the Nearby Supernova Factory indicated by local $H\alpha$ », [A&A](#), [560](#), [A66](#) [↑ Section](#)
- SCOLNIC D. et KESSLER R. 2016, « Measuring Type Ia Supernova Populations of Stretch and Color and Predicting Distance Biases », [ApJ](#), [822](#), [L35](#) [↑ Section](#)
- 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](#)