

Paris, 2 Septembre 2022

Rapport de thèse :

Du : **Dr Pierre Antilogus** , Directeur de Recherche au CNRS ,  
au LPNHE , IN2P3-CNRS , Sorbonne Université et Université Paris Cité .

Sur la thèse présentée par : **Nora Nicolas**

Ayant pour sujet : **Propriétés intrinsèques des supernovae de type Ia  
et leurs conséquences sur les paramètres cosmologiques**

-----

Le travail de thèse de Nora Nicolas se situe dans le cadre de l'extraction de contraintes sur le contenu de l'univers à l'aide d'observables cosmologiques. La thèse se concentre ainsi sur la mesure de  $w$  , paramètre caractérisant l'équation d'état de l'énergie noire, à l'aide des Supernovae de Type Ia (SNIa). Avec le saut qualitatif et quantitatif des échantillons de SNIa en cours de collecte ( ZTF , HSC ) ou à venir ( LSST ) , la maîtrise des effets systématiques associé à la sonde cosmologique SNIa nécessite un travail de fond. Dans ce contexte, cette thèse s'attache à mettre en évidence un effet important : l'évolution avec le décalage vers le rouge (redshift) de la forme des courbes de lumières de SNIa et ce en fonction de l'évolution des galaxies hôtes/de l'environnement de la supernova.

Au sein de ce travail, on peut souligner :

- La construction d'un large échantillon de donnée ( 569 SNIa de SNf, SDSS, PS1 , SNLS , HST + 638 SNIa de ZTF ) en minimisant les biais de selection, en particulier en ce qui concerne le biais de Malmquist, tout en couvrant un domaine de redshift très étendu (  $z = 0.02$  à  $z = 2.26$  )
- Cet échantillon unique a été mis à profit pour étudier l'évolution de la luminosité intrinsèque des SNe Ia en se concentrant sur la dépendance de l'étirement dans le temps de la courbe de lumière des SNIa avec le redshift . Cette étude lui a permis pour la 1<sup>ère</sup> fois de démontrer à plus de 5 sigma cette évolution étirement/redshift et d'identifier la corrélation de cette évolution avec le contenu en étoile plus ou moins jeune de la galaxie hôte. C'est le résultat le plus marquant de cette thèse.
- L'impact de cette évolution des SNIa dans l'extraction de  $w$  est étudié en détail à l'aide d'un jeu de simulation basé sur la package SNANA et différentes hypothèses sur le comportement des SNIa vis à vis de la galaxie hôte. Même si une analyse

tenant parfaitement compte de l'évolution de l'étirement avec le red-shift n'a pu être effectué de part les limitations de SNANA, le biais induit sur  $w$  par une non-prise en compte de cette évolution a été estimé à plus de 4%. Cette étude souligne donc la nécessité pour les analyses futures de tenir compte de cet effet.

Comme on peut en juger par ce court résumé, le travail de Nora Nicolas affiche une claire cohérence et se concentre sur une utilisation optimale des données et méthodes disponibles à ce jour pour faire avancer le sujet de l'utilisation de la sonde SNIa en cosmologie.

Le document de thèse de Nora Nicolas, en plus d'une conclusion est divisé en neuf parties :

- La première partie (~10% du document) introduit le contexte cosmologique de la thèse et l'utilisation de la sonde SNIa en cosmologie.
- La deuxième partie (~ 6% du document) présente les SNIa et l'utilisation des observables associées comme sonde cosmologique.
- La troisième partie (~ 6% du document) introduit les propriétés des galaxies hôtes (masse, âge) qui peuvent avoir un impact sur la dispersion de la luminosité intrinsèque des SNIa.
- La quatrième partie (~12 % du document) et cinquième partie (~10% du document) présente les surveys et le travail de fond ayant permis de construire un échantillon de SNIa avec des biais minimaux de sélection tout en couvrant un très large domaine de redshift. La diversité des sondages considérés (SNf, SDSS, PS1, SNLS, HST) a rendu ce travail assez délicat. Le document souligne bien les considérations mises en œuvre pour minimiser les biais de sélection des SNIa dans l'échantillon final. Ce travail de fond permet à la thèse de se baser sur un échantillon unique à ce jour de supernovae afin d'effectuer l'étude au cœur de cette thèse qui regarde l'évolution des SNIa avec le redshift.
- La sixième partie (~10% du document) présente le résultat clef de cette thèse à savoir la dépendance de l'étirement des courbes de lumière des SNIa avec le redshift / la fraction d'étoile jeune dans la galaxie hôte. Cette étude a donné lieu à une publication (Nicolas N., Rigault M., Copin Y. et al. 2021, « *Redshift evolution of the underlying type Ia supernova stretch distribution* », A&A, 649, A74)
- La septième partie (~10% du document) introduit le code SNANA et sa paramétrisation, afin de simuler de façon réaliste un lot de SNIa où d'en extraire une estimation des paramètres cosmologiques.
- La huitième partie (~15% du document) utilise SNANA pour estimer l'impact sur la mesure de  $w$  de la présence d'une évolution de l'étirement des courbes de lumière des SNIa en fonction du redshift. Ainsi si cet effet n'est pas pleinement pris en compte dans l'analyse, un biais sur  $w$  de 4 à 8 % est observé. Ce chapitre souligne donc l'importance de cet effet pour les études de cosmologie à venir, alors qu'elles prétendent mesurer ce paramètre à mieux que le 1%.
- La neuvième partie (~5% du document) présente une application très prometteuse de l'étude de l'évolution de l'étirement des courbes de lumière des SNIa avec le redshift basé sur les données de ZTF, ainsi que des pistes d'amélioration sur la simulation.

L'ensemble du document de thèse est bien écrit et présente une grande cohérence de raisonnement. Les références à la littérature scientifique sont exceptionnellement complètes et pertinentes. Le contenu du document est d'un bon niveau scientifique et reflète l'état de l'art dans le domaine de la mesure de l'évolution des courbes de lumière de SNIa avec leur galaxie hôte/redshift. L'ensemble des résultats est clairement présenté et les conclusions aux diverses étapes de l'étude sont données avec pertinence. Les problèmes encore imparfaitement compris et demandant des études complémentaires sont indiqués.

Le travail de thèse de Nora Nicolas apporte une contribution significative au domaine, en ayant identifié une source de variation de la luminosité intrinsèque des SNIa II avec le redshift et en soulignant la nécessité de faire évoluer les analyses de cosmologie basées sur les SNIa afin que ces dernières puissent encore jouer un rôle avec le large volume de données à venir.

Vu l'ensemble des commentaires donnés ci-dessus, je donne un avis favorable à la soutenance de thèse de Nora Nicolas.

Pierre Antilogus  
Directeur de Recherche au CNRS



