



Stéphanie ESCOFFIER

Directrice de Recherche CNRS

Centre de Physique des Particules de Marseille (CPPM)

163, Avenue de Luminy – Case 902 – F-13288 Marseille Cedex 9

Téléphone : (+33) 4 91 82 76 64

E-mail : escoffier@cppm.in2p3.fr <https://www.cppm.in2p3.fr>

Marseille, le 2 septembre 2022

Rapport sur le mémoire de thèse de Nora NICOLAS

dont le titre est :

“Propriétés intrinsèques des supernovae de type Ia
et leurs conséquences sur les paramètres cosmologiques”,
de l’Université Claude Bernard Lyon 1

La thèse de doctorat de Nora Nicolas se place dans le cadre de l’étude des supernovae de type Ia comme sonde cosmologique pour mesurer le taux d’expansion de l’Univers et l’équation d’état de l’énergie noire. Mais il est reconnu aujourd’hui que les supernovae de type Ia ne sont pas des chandelles standards, mais elles sont standardisables, au sens où une relation empirique permet d’obtenir une estimation de leur flux intrinsèque. Le travail de N. Nicolas s’inscrit dans ce contexte, plus précisément dans la perspective de contrôler les systématiques liées à l’évolution des populations de supernovae de type Ia.

Le mémoire de thèse se compose de neuf chapitres et d’une conclusion.

Les trois premiers chapitres introduisent le contexte et les notions utiles pour la compréhension des travaux de thèse. Le chapitre 1 présente rapidement les bases de la relativité générale et le modèle cosmologique Λ CDM avec un rapide état des lieux des contraintes actuelles. Puis il introduit les notions de distance lumineuse et de diagramme de Hubble, préambule nécessaire pour l’étude des supernovae de type Ia. Ces dernières sont le thème du chapitre 2, dans lequel sont exposés les propriétés de ces objets, ainsi que la justification de leur standardisation afin de pouvoir les utiliser pour la cosmologie. Le chapitre 3 recense les différents facteurs qui caractérisent les environnements galactiques d’une supernovae, ce qui permet d’introduire les corrélations entre les supernovae et certains indicateurs de la galaxie hôte, comme la masse ou le taux de formation d’étoiles, et ainsi introduire la motivation du sujet d’étude de la thèse.

Le chapitre 4 est une présentation assez détaillée des sondages de supernovae et de la sélection des échantillons de supernovae qui seront utilisées pour la suite de l’étude. Il s’agit, dans l’ordre croissant des redshifts, des relevés SNFactory, SDSS, Pan-STARRS, SNLS et HST. Sont également présentés les échantillons de supernovae à très bas redshifts utiles pour l’ancrage du diagramme de Hubble, les échantillons LOWZ et ZTF.

Le chapitre 5 détaille la procédure de construction d’un échantillon volume-limité de supernovae nécessaire pour l’analyse menée dans cette thèse. N. Nicolas y décrit deux approches pour sélectionner cet échantillon, une approche statistique et une approche analytique, et montre que les échantillons sont similaires avec les deux méthodes. Puis une première validation d’une absence de biais de sélection est menée à partir des données qui se chevauchent en redshift, et une analyse préliminaire de l’étude du paramètre d’étirement en fonction du redshift est discutée. On peut apprécier que cette étude ait intégré les dernières données non encore publiques de ZTF à bas redshift.

Le chapitre 6 se concentre sur l'étude du paramètre d'étirement en fonction du redshift, en reprenant une étude menée initialement sur les données SNFactory par M. Rigault. Après avoir modélisé la distribution de probabilité de l'étirement d'une supernova selon diverses paramétrisations, N. Nicolas démontre qu'une distribution d'étirement indépendante du redshift est exclu et que le modèle reproduisant le mieux les données de l'ensemble des échantillons supernovae décrits au chapitre 4 est le modèle de dérive de l'étirement basé sur une distribution bimodale, et qui a donné lieu à une publication en premier auteur Nicolas et al (2021). L'étude est menée de façon minutieuse, avec la prise en compte de nombreuses paramétrisations.

Les chapitres 7 et 8 ont pour objectif d'évaluer l'impact de cet effet d'évolution des supernovae sur la détermination des paramètres cosmologiques. Le chapitre 7 introduit l'outil *SNANA*, qui permet de simuler une courbe de lumière et de l'ajuster avec une représentation théorique tout en tenant compte de la correction de biais, et comment le modèle d'évolution de l'étirement des supernovae avec le redshift a été implémenté. Le chapitre 8 présente la sélection des modèles utilisés pour prédire la masse et l'étirement des supernovae en fonction du redshift, et ainsi générer des simulations exemptes de biais. Puis une comparaison est menée avec les données réelles de supernovae, afin de valider l'approche et d'étudier le rôle des paramètres intrinsèques des supernovae sur l'extraction des paramètres de standardisation. N. Nicolas étudie alors l'impact sur l'extraction de l'équation d'état w de l'énergie noire, et conclut sur l'importance de considérer l'âge des supernovae comme paramètre à l'origine de leurs propriétés, et non pas simplement la masse de la galaxie hôte, au risque d'introduire un biais supplémentaire de 4% sur les paramètres cosmologiques, ce qui serait prépondérant à l'ère des futurs grands relevés comme Rubin/LSST.

Le chapitre 9 adresse les perspectives et discussion autour de ces travaux. D'une part N. Nicolas a inclus les données ZTF à bas redshift, entre 0 et 0,2, doublant ainsi la statistique de l'échantillon de supernovae. Cette étude additionnelle conforte les modèles de paramètres d'étirement évoluant avec le redshift, mais montre des limites à décrire fidèlement des échantillons différents. Puis N. Nicolas expose les différentes améliorations qui pourraient être appliquées dans l'outil *SNANA* pour la génération des simulations nécessaires à cette étude.

Pour la forme, la rédaction du manuscrit est soignée, et la bibliographie appropriée. Les figures sont systématiquement accompagnées d'une discussion approfondie, ce qui est très appréciable. Pour le fond, les travaux de N. Nicolas sont essentiels pour la maîtrise des erreurs systématiques dans l'étude des supernovae de type Ia pour l'extraction des paramètres cosmologiques, et son étude a montré que les modèles de paramètre d'étirement des supernovae doivent prendre en compte des effets d'évolution avec le redshift, au risque de devenir une erreur systématique dominante dans les futurs grands relevés de cosmologie comme Rubin/LSST. C'est un résultat majeur, et je recommande vivement que ces travaux aboutissent à une publication.

Pour toutes ces raisons, je recommande sans hésitation la présentation des travaux de N. Nicolas en soutenance de thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat de l'Université de Lyon.

Stéphanie ESCOFFIER

