

## DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **12 septembre 2025**

Nom de famille et prénom de l'auteur. e : **Madame Madeleine GINOLIN**

Titre de la thèse : Impact des biais astrophysiques associés aux Supernovae de Type Ia sur la mesure des paramètres cosmologiques

### Résumé



Les supernovae de Type Ia (SNe Ia) sont des outils uniques pour mesurer les distances dans l'Univers. Ces explosions de naines blanches produisent une luminosité constante au premier ordre : elles apparaissent donc moins brillantes lorsqu'elles sont plus éloignées. Les SNe Ia sont cruciales pour contraindre la constante de Hubble-Lemaître  $H_0$  et le paramètre d'équation d'état de l'énergie noire  $w$ . Elles sont ainsi au cœur de deux énigmes de la cosmologie actuelle : le désaccord entre les mesures primordiales et locales de  $H_0$ , appelé tension de Hubble, et la déviation de l'énergie noire d'une constante cosmologique. En réalité, les SNe Ia sont des chandelles standardisables : leur luminosité est dispersée autour d'une valeur moyenne. Cette dispersion peut être réduite de moitié en exploitant les corrélations entre la luminosité des SNe Ia et leurs propriétés, comme la largeur de leur courbe de lumière, ou étirement, leur couleur et l'environnement astrophysique dans lequel elles sont nées. Ces relations de standardisation ont vu le jour dans les années 90, mais s'améliorent à mesure que la science progresse. Ce progrès est principalement dû à la croissance de la taille des échantillons, de quelques dizaines de SNe dans les années 90, à un millier maintenant, et un million dans le futur. Le Zwicky Transient Facility (ZTF) est le pionnier des grands relevés locaux de SNe Ia. Son grand champ de vue, associé à une cadence rapide, lui a permis de mesurer précisément 3000 SNe Ia dans son échantillon DR2. L'échantillon limité en volume associé, qui est par construction insensible aux biais observationnels, est composé de 1000 SNe. Dans cette thèse, nous étudions comment les propriétés de SNe Ia et leur processus de standardisation dépendent de leur environnement astrophysique. Ces biais astrophysiques sont actuellement la principale source d'erreur sur  $w$ . Il est donc essentiel de correctement prendre en compte pour pouvoir mesurer précisément et exactement les

paramètres cosmologiques. Nous introduisons la cosmologie avec les SNe Ia en première partie. La deuxième partie décrit l'étude des biais astrophysiques dans l'échantillon limité en volume de la DR2. Nous mesurons de fortes dépendances des distributions de couleur et d'étirement sur la masse et la couleur environnementale. Nous présentons ensuite une méthode de standardisation, et nous vérifions qu'elle n'introduit pas de biais. En explorant la standardisation au-delà des relations traditionnellement utilisées en cosmologie, nous détectons une forte non-linéarité de la relation étirement-résidus de Hubble. Cependant, nous ne mesurons pas d'évolution de la relation couleur-résidus avec la couleur ou l'environnement. Nous nous intéressons finalement au dernier paramètre de standardisation, la marche de magnitude. Son origine, ainsi que sa valeur, sont sujets à débat dans la communauté cosmologique. Nous la trouvons plus grande que dans la littérature, mais nous n'observons cependant pas les effets prédits par une modélisation de la marche de magnitude basée sur la poussière interstellaire. L'analyse des biais astrophysiques affectant les SNe Ia avec l'échantillon DR2 de ZTF, qui est non biaisé, est une base solide pour simuler de façon réaliste des relevés de SNe Ia. Dans une deuxième partie, nous présentons la librairie de simulation skysurvey. Nous incluons les nouveaux effets liés à l'environnement découverts dans la première partie, et utilisons ces résultats pour tester les effets de la non-linéarité de la relation étirement-résidus sur les paramètres cosmologiques. Ce travail est effectué dans un contexte d'analyse cosmologique, pour laquelle ces simulations seront utilisées pour tester l'inférence et pour mesurer les biais associés à chacun des effets environnementaux. Rendre skysurvey utilisable pour la cosmologie est critique pour les nouvelles générations de relevés de SNe Ia et de méthodes d'analyse, comme l'inférence basée sur la simulation.

**Mots-clés :**

Cosmologie, Supernovae de Type Ia, Constante de Hubble, Biais astrophysiques, Energie noire,