

Introduction générale

Cette thèse s'inscrit dans le cadre de la cosmologie observationnelle, c'est à dire l'étude de l'Univers par le biais d'observations.

Aujourd'hui, et grâce notamment à la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein, un modèle cosmologique reflétant admirablement bien de nombreuses observations indépendantes a vu le jour. Ce modèle, dit de concordance, décrit un Univers plat, ayant la particularité d'être en expansion accélérée et dont le contenu est dominé par deux composantes encore incomprises : la matière sombre et l'énergie sombre. Leur nom réfère à l'impossibilité de les observer directement, étant détectables seulement à partir des effets dont elles sont la cause. Comprendre leur nature et leurs propriétés est devenu un des enjeux majeurs de la cosmologie moderne.

L'énergie sombre est par exemple la cause principale de l'accélération de l'expansion de l'Univers, et ses propriétés peuvent être étudiées en mesurant les distances d'objets lointain dans l'Univers. On utilise pour cela ce que l'on appelle des chandelles standards, objets astronomiques dont la luminosité intrinsèque est connue *a priori*. En comparant cette luminosité à celle observée, il est alors possible de remonter à la distance de ces sources lumineuses.

Les supernovae de type Ia (SNeIa), objets transitoires et observables depuis la Terre pendant plusieurs mois, possèdent en partie ces propriétés. Dans les faits, leur luminosité absolue au maximum présente certaines variabilités, pouvant être corrigées : on parle de chandelles *standardisables*. Ces caractéristiques font de ces objets d'excellents indicateurs de distances. C'est en utilisant cette sonde cosmologique que l'accélération de l'expansion de l'Univers a été mise en évidence en 1998 par ???. Leur luminosité pouvant dépasser celle de leur galaxie hôte, elles permettent en plus de mesurer des distances très lointaines dans l'Univers. Ces détections nous permettent alors d'étudier l'évolution de la dynamique de l'Univers de nos jours jusqu'à plusieurs milliards d'années dans le passé.

À l'heure actuelle, les incertitudes sur les caractéristiques de l'énergie sombre sont dominées à parts égales entre le nombre de SNeIa dans les échantillons (incertitude statistique) et les incertitudes systématiques.

La nouvelle génération de relevés astronomiques de SNeIa va drastiquement diminuer les erreurs statistiques, avec de nouvelles méthodes de relevés automatisés sur tout le ciel observable et à haute cadence. À bas redshift par exemple (Univers proche pour $z < 0.1$), le relevé Zwicky Transient Facility (ZTF) a déjà détecté près de 3000 SNeIa sur le point d'être révélées publiquement, alors que la plus grande compilation à ce jour pour cette profondeur ne dépasse pas 400 SNeIa. La statistique sera tout autant multipliée à plus grande distance, notamment avec le Large Synoptic Survey Telescope (LSST) entre $0.2 < z < 1$.

Les efforts futurs pour une étude précise de l'énergie sombre vont donc progressivement se diriger vers les incertitudes systématiques. L'une d'entre elles provient de la contamination des échantillons de SNeIa par d'autres types de supernovae, n'ayant pas les

caractéristiques de chandelles standards, et pouvant induire des biais importants dans la détermination de paramètres cosmologiques. Bien que des méthodes de classification photométrique existent, le moyen le plus précis de classifier une supernova observée repose sur l’analyse de son spectre. En effet, chaque type de supernova présente des caractéristiques spectrales qui lui sont propres, et cette information n’est pas accessible en photométrie.

Cependant, cette méthode de classification n’est actuellement possible que lorsque la SN est suffisamment isolée de sa galaxie hôte. En effet, plus l’explosion survient proche du coeur de la galaxie, plus la contamination spectrale s’intensifie et la classification devient difficile voire impossible. L’objectif de ce travail de recherche est de répondre à cette problématique dans le cadre du relevé astronomique ZTF, avec l’utilisation d’un spectrographe 3D dédié à la classification des SNe.

Nous commencerons dans la première partie de ce manuscrit par introduire le contexte scientifique général, en introduisant quelques notions cosmologiques importantes et l’utilisation des supernovae comme sondes cosmologiques. Nous présenterons ensuite la collaboration et le relevé ZTF, en nous concentrant sur la détection photométrique des SNeIa. L’instrument que nous utilisons pour l’extraction de spectres est un spectrographe 3D, utilisé conjointement aux détections photométriques et appartenant à la collaboration. Un chapitre sera ainsi dédié aux concepts de la spectrographie 3D et à la présentation de l’instrument utilisé. Nous détaillerons alors la méthode d’extraction de spectre de SNe actuelle et ses limites en cas de contamination par la galaxie hôte.

La deuxième partie de cette thèse introduira la preuve de concept d’une nouvelle méthode d’extraction, permettant de lever la contamination entre la SN et sa galaxie hôte, sous la forme d’un outil de modélisation de scène. Nous proposons pour cela d’utiliser des données photométriques de la galaxie, obtenues en amont de l’explosion de la SN. En utilisant les connaissances de la physique des galaxies, nous modélisons à l’échelle locale les propriétés spectrales de l’hôte, afin de créer un cube 3D modèle de la galaxie isolée. Après avoir caractériser la réponse impulsionnelle de l’instrument, nous procédons à la projection spatiale et spectrale de ce modèle dans l’espace des observations du spectrographe. La connaissance de la réponse impulsionnelle spatiale nous permet également de modéliser la supernova, source ponctuelle chromatique. Le modéliseur de scène consiste finalement à simultanément ajuster la galaxie et la supernova aux observations. Nous détaillerons toutes les étapes effectuées par le pipeline ainsi que les optimisations numériques implémentées.

Enfin nous présenterons une méthode de validation de cet outil. Pour cela nous générons des simulations à partir de réelles observations de galaxies sans supernova, obtenues avec le spectrographe utilisé. Nous appliquons notre nouvelle méthode d’extraction sur ces simulations, ainsi que celle préalablement utilisée par la collaboration. De ce fait, nous pouvons déterminer à la fois une précision et une efficacité absolues de classification spectrale de SNe, mais également relatives à l’ancienne méthode, mettant en lumière les améliorations apportées. Nous introduirons finalement la seconde *data release* du groupe *Type Ia Supernovae & Cosmology*, composée de ~ 3000 SNeIa et dont la vaste majorité ont été classifiées avec la nouvelle méthode d’extraction développée dans cette thèse.