

Conclusions & perspectives

Ce travail de recherche effectué sur deux années a permis le développement d'un modélisateur de scène, **HYPERGAL**, afin de répondre à la problématique de contamination des supernovae par leur galaxie hôte.

La première partie de ce manuscrit avait pour but d'introduire le contexte scientifique de cette thèse. Nous avons commencé par présenter les supernovae de type Ia, leurs propriétés de sonde cosmologique, leur rôle dans l'étude l'énergie sombre et les conséquences d'une contamination d'un échantillon par d'autres types de SNe. Nous avons par la suite introduit le relevé astronomique ZTF ainsi que l'instrument que nous utilisons, le spectrographe 3D SEDm.

Nous avons ensuite détaillé les étapes de conception d'**HYPERGAL**, en introduisant la preuve de concept de cette nouvelle méthode d'extraction de spectre de SNe. Le coeur de ce pipeline repose sur l'utilisation de données photométriques de la galaxie, prises en amont de l'explosion de la SNIa. Grâce à l'utilisation du SED Fitter **CIGALE**, nous avons modélisé localement les propriétés spectrales de la galaxie, permettant de créer un cube 3D modèle de l'hôte isolée de la source ponctuelle.

Afin de pouvoir projeter ce cube intrinsèque dans l'espace des observations de la SEDm, il a fallu caractériser la réponse impulsionnelle de l'instrument. Avec l'observation de lampes à arc, nous avons déterminé un modèle de réponse impulsionnelle spectrale stationnaire, spatialement uniforme et gaussien. La modélisation de sa chromaticité, par un polynôme quadratique, a permis la projection du cube intrinsèque de la galaxie hôte dans l'espace spectral de la SEDm.

Les supernovae étant des sources ponctuelles, nous avons également caractérisé la réponse impulsionnelle spatiale. Pour cela, un modèle analytique et empirique de fonction d'étalement de point a été introduit, permettant de modéliser les effets des turbulences atmosphériques sur les images astronomiques ainsi que des effets instrumentaux. Entraîné sur des étoiles standards, ce modèle est décrit par un profil radial et asymétrique, possédant 2 paramètres de forme libres ajustés en fonction des observations. En modélisant les chromaticités intervenant sur ces paramètres et celle causée par la réfraction différentielle atmosphérique, nous avons pu extraire le spectre de plusieurs milliers d'étoiles standards. En les comparant aux spectres spectrophotométriques de référence de calspec, cette étude a permis d'estimer une précision de la calibration en couleur de l'ordre de 3%.

L'association du cube intrinsèque de la galaxie hôte et de la réponse impulsionnelle de la SEDm a finalement permis la conception du modélisateur de scène **HYPERGAL**, permettant d'extraire séparément chaque composante de la scène. Une méthode de classification automatique est également implémentée dans le pipeline, en utilisant le classifieur de SNe utilisé par la collaboration, **SNID**. Entièrement automatisé, **HYPERGAL** est optimisé avec **DASK**, librairie de calculs parallèles qui commence à se faire une place dans les analyses scientifiques lourdes. L'apprentissage de cet outil a permis de drastiquement diminuer les temps de calcul, passant de plusieurs heures en linéaire à seulement une quinzaine de

minute, de la requête des données à l’obtention de tous les résultats et figures de vérification. **HYPERGAL** peut ainsi être utilisé aussi bien localement que sur un cluster distribué.

Afin d’explorer les capacités du pipeline, nous avons conçu un jeu de 5000 simulations, basées sur l’observation de galaxies sans supernova avec la SEDm. Les deux paramètres d’exploration de nos simulations sont la distance entre la SN et le centre de la galaxie hôte, ainsi que le contraste c , traçant l’intensité de la SN étudiée par rapport à celui de son environnement. Nous avons extrait les SNe simulées avec **HYPERGAL** ainsi qu’avec une méthode d’extraction de référence, celle utilisée préalablement par la collaboration sans modélisation hyperspectrale de la galaxie. L’extraction de spectre avec **HYPERGAL** montre l’absence de corrélation entre la précision de l’extraction et la distance SN-galaxie, nous permettant d’affirmer la capacité de cette méthode à lever cette contamination. En étudiant la distribution du contraste des observations réelles faites avec la SEDm, nous avons également pu voir qu’**HYPERGAL** permettrait une classification correcte de 95% des SNeIa. Au delà d’un contraste $c \sim 0.2$ (ce qui représente plus de 90% des observations), ce sont près de 99% des SNeIa qui sont correctement classifiées, avec moins de 2% de faux positifs. Par comparaison avec la méthode d’extraction de référence, **HYPERGAL** permet de classer correctement près de 20% de SNeIa supplémentaires entre $0.1 < c < 0.6$ (représentant 50% des conditions d’observation), avec seulement $\sim 4\%$ de faux positifs dans cet intervalle de contraste contre $\sim 8\%$ pour l’autre méthode.

Enfin, nous achevons ce travail de recherche avec la présentation de la *data release 2* du groupe *Type Ia Supernovae & Cosmology*. Échantillon composé de 3792 SNeIa, toutes ont été classifiées spectralement. Devant les améliorations significatives d’extraction apportées par **HYPERGAL** il a été convenu que le spectre de chaque SN observée avec la SEDm soit extrait avec la nouvelle méthode présentée dans cette thèse. Parmi l’échantillon entier de cette DR2, 65% des SNeIa ont été classifiées grâce à **HYPERGAL**. En appliquant certains critères de qualité pour définir un *golden sample* de 2905 SNeIa (utilisé prochainement pour l’estimation de paramètres cosmologiques), la contribution de la SEDm et d’**HYPERGAL** est également de 65%. Finalement, il a été montré qu’une coupure à un redshift $z < 0.06$ permettrait de définir un sous-échantillon exempt de toute fonction de sélection. Dans ce volume limité de 1077 SNeIa, 81% d’entre elles ont été observées par la SEDm et classifiées par **HYPERGAL**.