

## Proposition de thèse – 2023-2026

**Thématique :** Cosmologie observationnelle

**Sujet de thèse :** Standardisation spectro-photométrique des SNe Ia par la méthode des « jumelles »

**Directeur de thèse :** Yannick Copin, Mickaël Rigault

**Téléphone :** 04 72 43 19 68

**Email :** [y.copin@ipnl.in2p3.fr](mailto:y.copin@ipnl.in2p3.fr)

**Adresse :** IP2I Lyon – Bureau 409  
Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac  
4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex - France

### Description du travail demandé :

#### Contexte :

Les supernovæ de type Ia (SNe Ia) sont d'excellentes sondes cosmologiques pour déterminer l'histoire de l'expansion de l'Univers – en particulier durant la phase récente dominée par une mystérieuse énergie noire – et en déduire les composantes énergétiques principales et leurs propriétés. Cependant, l'utilisation cosmologique des SNe Ia demande un contrôle extrêmement strict de la standardisation de ces objets. Les méthodes traditionnelles sont bien connues en photométrie, mais ces méthodes se heurtent systématiquement à un « mur » de précision – lié à une fluctuation encore inconnue des propriétés intrinsèques des SNe – de l'ordre de 0.14 mag.

En revanche, les méthodes spectro-photométriques – basées sur l'analyse du spectre entier des SNe, et non pas uniquement sur des flux intégrés dans des bandes larges – apparaissent très prometteuses pour dépasser ce mur de précision. En particulier, la méthode dite des « jumelles » (*twins*, [Fakhouri et al. 2015](#)), développée dans le cadre de la spectrographie à champ intégral pour le projet *Nearby Supernova Factory*, permet d'attendre une précision record de 0.08 mag., voire meilleure dans les derniers développements ([Boone et al. 2021a](#) et [2021b](#)). Une autre approche sur un principe similaire et développée dans un contexte de *Machine Learning* donne une précision comparable ([Stein et al. 2022](#)).

Malheureusement, les données de qualité spectro-photométriques sont notoirement difficiles à acquérir, et l'échantillon SNfactory restait jusqu'à peu l'unique jeu de données adéquat, avec moins de 200 SNe. Néanmoins, de nouveaux sondages au sol – p.ex. le spectrographe à champ intégral SEDm de la collaboration *Zwicky Transient Factory*, en cours d'acquisition – ou spatiaux – p.ex. l'imagerie dispersée du *Nancy Roman Space Telescope*, dont le lancement est prévu pour 2027 – sont à même de fournir ce genre d'observations à grande échelle et sur une large gamme de redshifts. L'équipe COSMOS est activement impliquée dans ces deux projets, et dispose en particulier d'un accès privilégié aux échantillons photométriques et spectroscopiques de la collaboration ZTF.

**Objectifs :**

L'objectif de la thèse est d'explorer et d'évaluer les performances des méthodes de standardisation spectro-photométrique les plus récentes sur les différents échantillons de spectres de SNe Ia. La partie bas redshift sera abordée via l'échantillon des spectres en cours d'acquisition par le spectrographe à champ intégral SEDm de la collaboration *Zwicky Transient Factory*, tandis l'application haut redshift portera sur l'échantillon obtenu en imagerie dispersée (slitless spectroscopy) par le *Nancy Roman Space Telescope*. L'équipe COSMOS de l'IP2i est partie prenante du soutien français à ces deux sondages, à la fois sur les parties techniques et scientifiques.

*Le cœur de la thèse sera donc le développement de méthodes de simulation, d'extraction et de standardisation spectro-photométriques des supernovæ de type Ia dans les sondages en cours (ZTF) et à venir (Roman), et à leur utilisation dans un cadre cosmologique.*

**Méthodes :**

L'étudiant-e devra essentiellement développer des outils numériques d'analyse et de modélisation dans le langage de programmation Python. Il ou elle s'appuiera sur les expertises déjà développées au sein de notre équipe dans le domaine des observations spectro-photométriques, de la standardisation et de l'exploitation cosmologique des supernovæ (projets SNfactory, USNAC, ZTF/LSST, Roman).

L'impact de ce travail sera majeur, puisque la spectro-photométrie des SNe Ia n'a pour l'instant jamais été utilisée dans un cadre cosmologique. De fait, cette analyse pionnière sera au cœur des mesures cosmologiques avec les SNe Ia dans le cadre des missions spatiales Euclid (ESA, 2023-2029) et Roman (NASA, 2027-2032), dans lesquelles l'équipe COSMOS est déjà fortement impliquée.

## PhD thesis proposal – 2023-2026

**Research field:** Observational cosmology

**Thesis title:** Spectro-photometric standardization of type Ia SNe by the « twins » method

**Supervisor:** Yannick Copin, Mickaël Rigault

**Phone:** +33 4 72 43 19 68

**Email:** [y.copin@ipnl.in2p3.fr](mailto:y.copin@ipnl.in2p3.fr)

**Address:** IP2I Lyon – Bureau 409  
Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac  
4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex - France

### Work description:

**Background:** Type Ia supernovae (SNe Ia) are excellent cosmological probes for determining the expansion history of the Universe – especially during the recent phase dominated by mysterious dark energy – and deducing its energetic components principals and their properties. However, the cosmological use of SNe Ia requires extremely strict control over the standardization of these objects. Traditional methods are well known in photometry, but these methods systematically come up against a “wall” of precision – linked to a fluctuation still misunderstood of the intrinsic properties of SNe – of the order of 0.14 mag.

In contrast, spectro-photometric methods – based on the analysis of the entire spectrum of SNe, and not only on fluxes integrated in wide bands – appear very promising to overcome this wall of precision. In particular, the so-called “twins” method (Fakhouri et al. 2015), developed within the framework of integral field spectrography for the Nearby Supernova Factory project, makes it possible to achieve a record precision of 0.08 mag., or even better in the latest developments (Boone et al. 2021a and 2021b). Another approach on a similar principle and developed in a Machine Learning context gives comparable accuracy (Stein et al. 2022).

Unfortunately, top-level spectro-photometric data is notoriously difficult to acquire, and the SNfactory sample remained until recently the only adequate dataset, with less than 200 SNe. However, new surveys on the ground – e.g. the integral field spectrograph SEDm from the Zwicky Transient Factory collaboration, currently being operated – or in space – e.g. the dispersed imaging of the Nancy Roman Space Telescope, whose launch is planned for 2027 – are able to provide this kind of observations on a large scale and over a wide range of redshifts. The COSMOS team is actively involved in these two projects, and in particular has privileged access to the photometric and spectroscopic samples of the ZTF collaboration.

**Goals :** The objective of the PhD is to explore and evaluate the performance of the most advanced spectro-photometric standardization methods on the different samples of SNe Ia spectra. The low redshift part will be approached via the sample of spectra being acquired by the integral field spectrograph SEDm of the Zwicky Transient Factory collaboration, while the high redshift application will be on the sample obtained in dispersed

imaging (slitless spectroscopy) by the Nancy Roman Space Telescope. IP2i COSMOS team is part of the French support for these two surveys, both on the technical and scientific parts.

*The core of the PhD will therefore be the development of methods of simulation, extraction and spectro-photometric standardization of type Ia supernovae in current (ZTF) and future (Roman) surveys, and their use in a cosmological framework.*

**Methods :** The student will essentially have to develop numerical tools for analysis and modeling in the Python programming language. He or she will rely on the expertise already developed within our team in the field of spectro-photometric observations, standardization and cosmological use of supernovae (SNfactory, USNAC, ZTF/LSST, Roman projects).

The impact of this work will be major, since the spectro-photometry of SNe Ia has never been used so far in a cosmological context. In fact, this pioneering analysis will be at the heart of cosmological measurements with the SNe Ia as part of the Euclid (ESA, 2023-2029) and Roman (NASA, 2027-2032) space missions, in which the COSMOS team is already heavily involved.