



Université Claude Bernard



Lyon 1

THÈSE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON
Opérée au sein de
l'Université Claude Bernard Lyon 1

École Doctorale ED52
École Doctorale de Physique et Astrophysique

Spécialité de doctorat : Physique
Discipline : Cosmologie Observationnelle

Soutenue publiquement le jj/mm/aaaa, par :

Jérémy LEZMY

**Extraction de spectres de Supernovae
par modélisation HyperSpectrale des galaxies hôtes**

Devant le jury composé de :

M./Mme. XXX XXX	Président-e
M./Mme. XXX XXX	Rapporteur-e
M./Mme. XXX XXX	Rapporteur
M./Mme. XXX XXX	Examinateur-ice
M./Mme. XXX XXX	Directeur de thèse
M./Mme. XXX XXX	Co-Directeur de thèse
M./Mme. XXX XXX	Invitæ

Remerciements

Résumé

Abstract

Table des matières

Introduction générale	15
I : Contexte Scientifique	19
1 Contexte cosmologique	21
1.1 Bases de relativité générale	23
1.1.1 Concepts initiaux	23
1.1.2 Métrique et équations de conservation	23
1.1.3 Définition de la constante cosmologique	23
1.2 Introduction du modèle standard de la cosmologie	23
1.2.1 Univers plat, homogène et isotrope	23
1.2.2 Métrique de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker	23
1.2.3 Le modèle Λ CDM	23
1.3 Mesures cosmologiques et distance	23
1.3.1 Âge de l'Univers	23
1.3.2 Distance de luminosité	23
1.3.3 De la télémétrie aux Supernovae : Calibration	23
1.4 Supernovae et Cosmologie	23
1.4.1 Chandelles Standards	23
1.4.2 Physique de l'explosion	23
1.4.3 Spectre et classification	23
2 Zwicky Transient Facility	25
2.1 Présentation de la collaboration	26
2.2 La caméra de ZTF	29
2.3 Observation des Supernovae Ia avec ZTF	30
2.4 Supernovae Ia, ZTF et Cosmologie	31
3 Un spectrograph 3D : The Spectral Energy Distribution machine	33
3.1 Présentation de l'instrument	34
3.2 Extraction des spectres du CCD et création des cubes de données	34
3.3 Actuelle méthode d'extraction de spectre	34
3.4 SEDm en quelques chiffres	34
II : Extraction de spectre de Supernovae	35
4 HyperGal : Une nouvelle méthode d'extraction de source ponctuelle	37
4.1 Idée générale	38

4.2 SED Fitting	38
4.3 Présentation du Pipeline	38
5 Modélisation Hyperspectrale	39
5.1 Source photométrique : PS1	40
5.1.1 Présentation du survey	40
5.1.2 Utilisation des images PS1	40
5.2 Cigale et SEDFitting	40
5.2.1 Présentation de Cigale	40
5.2.2 Utilisation	40
5.3 Construction du cube intrinsèque	40
5.3.1 Sampling des spectres dans l'espace SEDm	40
5.3.2 Construction du cube	40
6 Réponse impulsionale de la SEDm	41
6.1 LSF	42
6.1.1 Lampe à arc	42
6.1.2 Détermination de la LSF	42
6.2 PSF	42
6.2.1 Modèle de profil radial	42
6.2.2 Entrainement du modèle	42
6.2.3 Chromaticité et ADR	42
6.3 Validation	42
6.3.1 Calibration photométrique	42
6.3.2 Résultats	42
7 Modélisation de Scène et Extraction de Source	43
7.1 Projection du cube intrinsèque	44
7.1.1 Seeing relatif Panstarrs/SEDm	44
7.1.2 Projection spatiale dans l'espace SEDm	44
7.2 Modélisation de Scène	44
7.2.1 Composante du fond : ciel et artefacts	44
7.2.2 Composante du point source : Supernova	44
7.2.3 Fitting de la scene	44
7.3 Extraction du point source	44
7.3.1 Outputs de contrôle du pipeline	44
7.3.2 Isolation de la galaxie hôte	44
7.3.3 Isolation de la Supernova	44
7.4 Classification : SNID	44
III : Simulations et Résultats	45
8 Simulations de cubes de données et application d'HyperGal	47
8.1 Génération des simulations	48
8.1.1 Cube de galaxies isolées	48
8.1.2 Modèles de Supernovae	48

8.1.3	Marginalisations	48
8.1.4	Paramètres libres d'étude : Distance et contraste	48
8.2	Résultats et Précision	48
8.2.1	Précision spectrophotométrique	48
8.2.2	Précision avec correction de continuum	48
8.2.3	Efficacité de classification	48
9	Data Release 2 de ZTF	49
9.1	Présentation de la DR2 de ZTF	50
9.1.1	XXX	50
9.1.2	XXX	50
9.2	Production d' HYPERGAL et résultats	50
9.2.1	XXX	50
9.2.2	XXX	50
	Conclusions & perspectives	50

Table des figures

2.1	Télescope Samuel Oshin P48 au Mont Palomar	26
2.2	Observatoire de Palomar	28
2.3	Système d'imagerie ZTF et caméra	29
2.4	Champ de vue de la caméra ZTF comparé à celui d'autres relevés astronomiques	30
2.5	Filtres et performances associées de la caméra ZTF	31

Liste des tableaux

Introduction générale

Première partie

Contexte Scientifique

Contexte cosmologique

Et la scène disparaît pour devenir
l'actrice

Person NAME, *Doctor Who S13E08*

Bien que la cosmologie ne s'en tienne pas aux concepts récents tels qu'on les connaît et les vulgarise, c'est avec les travaux d'EINSTEIN au début du XX^e siècle que notre compréhension du monde cosmique prend son essor.

Sommaire

1.1	Bases de relativité générale	23
1.1.1	Concepts initiaux	23
1.1.2	Métrique et équations de conservation	23
1.1.3	Définition de la constante cosmologique	23
1.2	Introduction du modèle standard de la cosmologie	23
1.2.1	Univers plat, homogène et isotrope	23
1.2.2	Métrique de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker	23
1.2.3	Le modèle Λ CDM	23
1.3	Mesures cosmologiques et distance	23
1.3.1	Âge de l'Univers	23
1.3.2	Distance de luminosité	23
1.3.3	De la télémétrie aux Supernovae : Calibration	23
1.4	Supernovae et Cosmologie	23
1.4.1	Chandelles Standards	23
1.4.2	Physique de l'explosion	23
1.4.3	Spectre et classification	23

- 1) RG
- 2) Métrique
- 3) Constante cosmo
- 4) Univers Homogène et isotrope
- 5) Courbure
- 6) Expansion

- 7) Paramètres cosmologiques
- 8) Modèle standard
- 9) Distance de luminosité
- 10) Intérêt SNe

1.1 Bases de relativité générale

1.1.1 Concepts initiaux

1.1.2 Métrique et équations de conservation

1.1.3 Définition de la constante cosmologique

1.2 Introduction du modèle standard de la cosmologie

1.2.1 Univers plat, homogène et isotrope

Univers plat Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

1.2.2 Métrique de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker

1.2.3 Le modèle Λ CDM

1.3 Mesures cosmologiques et distance

1.3.1 Âge de l'Univers

1.3.2 Distance de luminosité

1.3.3 De la télémétrie aux Supernovae : Calibration

1.4 Supernovae et Cosmologie

1.4.1 Chandelles Standards

1.4.2 Physique de l'explosion

1.4.3 Spectre et classification

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a

nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Zwicky Transient Facility

Sommaire

2.1	Présentation de la collaboration	26
2.2	La caméra de ZTF	29
2.3	Observation des Supernovae Ia avec ZTF	30
2.4	Supernovae Ia, ZTF et Cosmologie	31

Nous avons vu dans le chapitre précédent les propriétés de sonde cosmologique dont sont dotées les Supernovae de type Ia. Par ailleurs, nous avons également mis en évidence l’importance de la classification de ces objets notamment par le biais d’une acquisition spectrale. Afin d’arriver à cet objectif, la première étape est de détecter ces événements transitoires. Dans ce chapitre nous présenterons la collaboration Zwicky Transient Facility (ZTF par la suite), où la recherche et l’étude de tels objets sont au centre des activités. Nous nous focaliserons particulièrement ici sur la section photométrique de ZTF. Nous commencerons par présenter la collaboration et les raisons de sa mise en place, puis nous rentrerons dans plus de technicité en présentant la caméra principale de ZTF et ses capacités photométriques. Enfin nous parlerons des enjeux cosmologiques et finirons avec quelques résultats depuis la mise en place de ce grand relevé astronomique.

2.1 Presentation de la collaboration

ZTF ([Graham et al. \(2019\)](#) and [Bellm et al. \(2019\)](#)) est un grand relevé astronomique dont la première lumière fut obtenue en Novembre 2017, et réellement actif depuis Mars 2018. Ayant achevé la phase 1 en Novembre 2020, ZTF est actuellement à mi-chemin de sa phase 2 qui s'étend de Décembre 2020 à Décembre 2023. Il succède au relevé Intermediate Palomar Transient Factory (IPTF, 2012-2017), lui-même précurseur de Palomar Transient Facility (PTF, 2009-2012) ([Rau et al. \(2009\)](#) et [Law et al. \(2009\)](#)). Ces trois relevés grand champs utilisent le télescope Samuel Oschin (48 pouces $\approx 1m22$) à l'Observatoire de Palomar en Californie (Fig. 2.1). D'une caméra avec un champ de vue de 7.9deg^2 pour PTF, ZTF utilise à présent pleinement le plan focal du télescope et bénéficie d'une nouvelle caméra offrant un champ de vue de 47deg^2 , équipé de 3 filtres g , r et i . La collaboration est également doté d'un spectrographe 3D basse résolution ($R \approx 100$) monté sur le P48 à Palomar, qui est utilisé pour suivre les transients détectés par la caméra principale.

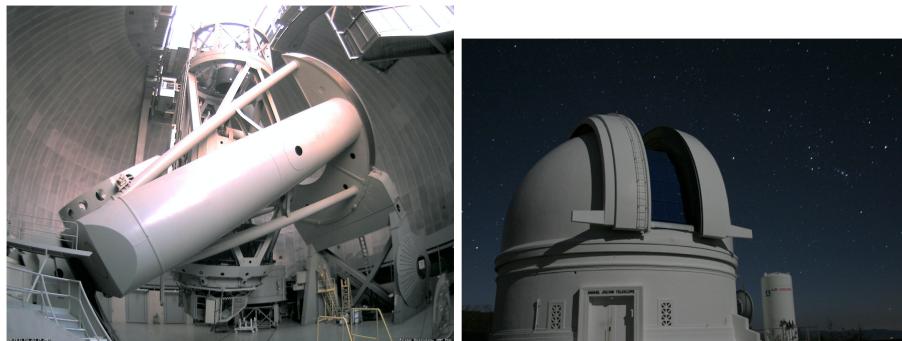


FIGURE 2.1 – Télescope Samuel Oshin P48 au Mont Palomar

ZTF est une collaboration internationale financée entre la US National Science Foundation (NSF) à travers le programme Mid-scale Innovations Program (MSIP), et un grand nombre de consortium internationaux d'Universités et institutions :

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • IN2P3 ¹. • TANGO University System of Taiwan • Weizmann Institute of Science, Israel • Oskar Klein Center, University of Stockholm, Sweden • DESY/Humboldt University of Berlin, Germany • Ruhr University Bochum, Germany | <ul style="list-style-type: none"> • University of Warwick, UK • Trinity College Dublin, Ireland • University of Maryland, College Park • Northwestern University • University of Wisconsin, Milwaukee • Lawrence Livermore National Laboratory • Caltech/IPAC |
|--|---|

ZTF est ainsi un partenariat privé-public, où son temps d'observation est divisé par chaque phase du projet entre trois niveaux :

Lors de la phase 1, le temps d'allocation public (NSF) était de 40%, pour les partenariats privés de 40% également, et les 20 derniers % dédiée aux programmes de Caltech qui possèdent l'Observatoire du Mont Palomar.

¹. Institut national de physique nucléaire et de physique des particules

L'IN2P3 étant devenu un partenaire majeur de la collaboration, la phase 2 de ZTF a vu un rééquilibrage avec 50% du temps d'observation attribué au programme MSIP, et 30% aux partenaires privés.

Durant le temps d'observation public, ZTF effectue deux sondages distincts : le ciel Nord d'une part qui est entièrement scanné tous les trois jours dans les filtres g et r , et le plan Galactique d'autre part, qui lui est entièrement observé chaque nuit également dans les filtres g et r .

Ces deux sondages combinés mènent à la détection et la génération d'alertes automatiques de plus d'un million d'événements par nuit. Ces événements sont des phénomènes astrophysiques transitoires ou variables, dont la magnitude de détection est inférieure à $r \approx 20.5$.

Les sections de recherches scientifiques au sein de ZTF sont nombreuses :

- L'étude des AGN & TDEs :

Les AGN sont les Active Galactic Nuclei, des trous noirs supermassifs qui accrètent de la matière du reste de la galaxie. Les TDEs, ou Tidal Disruption Events, correspondent à des phénomènes extrêmement lumineux résultants de cette accrétion de matière.

- L'étude des Supernovae comme sonde cosmologique

Utiliser leur caractéristique de chandelle standardisable pour effectuer des mesures précises de distance dans l'Univers proche. Avant 2018, seulement ≈ 500 de ces événements ont été observés dans l'Univers proche. En 3 ans ZTF a déterminé près de 3000 distances de ces événements.

- Physique des Supernovae

Indépendamment de leur type, de nombreux mystères demeurent sur la physique même de l'explosion des Supernovae. ZTF permet d'obtenir un échantillon unique de plusieurs milliers de Supernovae tout type confondu qui permet à l'équipe Bright Transient Survey (BTS) d'obtenir des mesures non-biaisées de taux de Supernovae, de fonctions de luminosité, de propriétés de galaxies hôte etc.

- Voie Lactée et M31

Avec l'observation de plusieurs millions d'étoiles chaque nuit, tout un pôle d'étude s'est formé autour des objets internes à notre galaxie, mais également dans la galaxie voisine M31, aka Andromède. Cet échantillon gigantesque est utilisé pour étudier les naines blanches dont la luminosité varie périodiquement, d'autres avec des débris transitoires, les systèmes binaires avec émission de rayons-X, et de nombreux autres objets stellaires.

- L'Astrophysique Multimessager

Cette toute nouvelle branche a vu le jour notamment grâce aux premières détections d'ondes gravitationnelles ou de neutrinos. De tels phénomènes sont habituellement grossièrement localisés avec la détection de ce type de signal, ce qui rend difficile l'identification de la source. Avec son champ de vue extrêmement large et sa haute

cadence, ZTF est capable de compléter la détection primaire avec une observation photométrique aux prémisses de l'évènement, si une contrepartie électromagnétique existe.

- Corps au sein du système Solaire

Ce groupe se concentre sur la découverte et la caractérisation des petits corps au sein de notre système solaire, à savoir des astéroïdes, des comètes etc.

La répartition du temps d'observation pour ces différents champs de recherches est adaptée de la façon suivante :

- ◊ L'étude des corps au sein du système solaire se fait principalement durant l'aube et l'aurore (3.5% du ciel pour chaque et principalement en bande r).
- ◊ L'étude de la physique des Supernovae bénéficie d'une observation haute cadence de $\approx 1800\text{deg}^2$, ce qui correspond à une allocation de 15% du temps d'observation.
- ◊ $\approx 8\%$ sont attribués à la Cosmologie dans le ciel extra-galactique.
- ◊ Le groupe Galaxie Science observe la Voie Lactée principalement en été ($\approx 5\%$, toutes bandes confondus).
- ◊ Le groupe Astrophysique multi-messager peut observer et étudier de potentiels sources pour $\approx 5\%$ du temps (toutes bandes confondus)

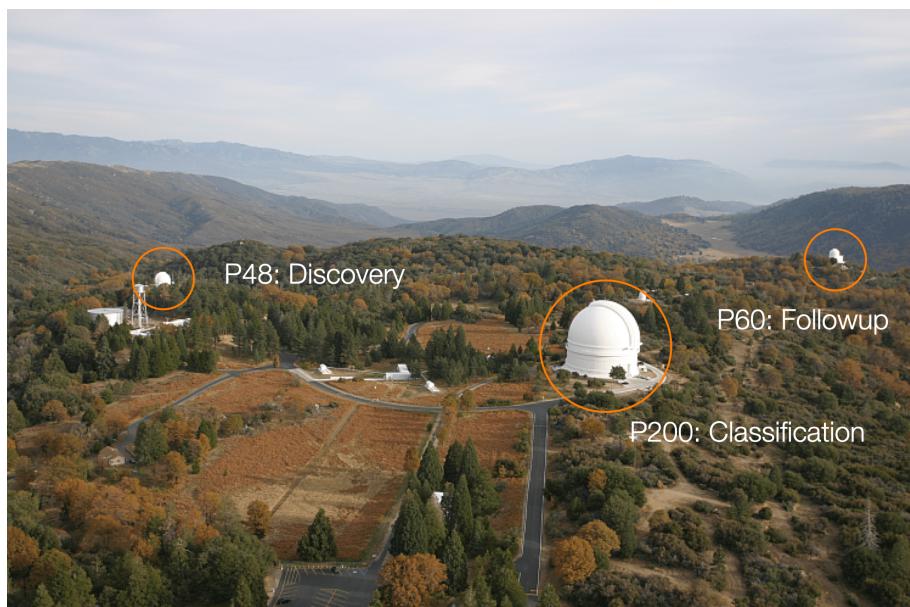
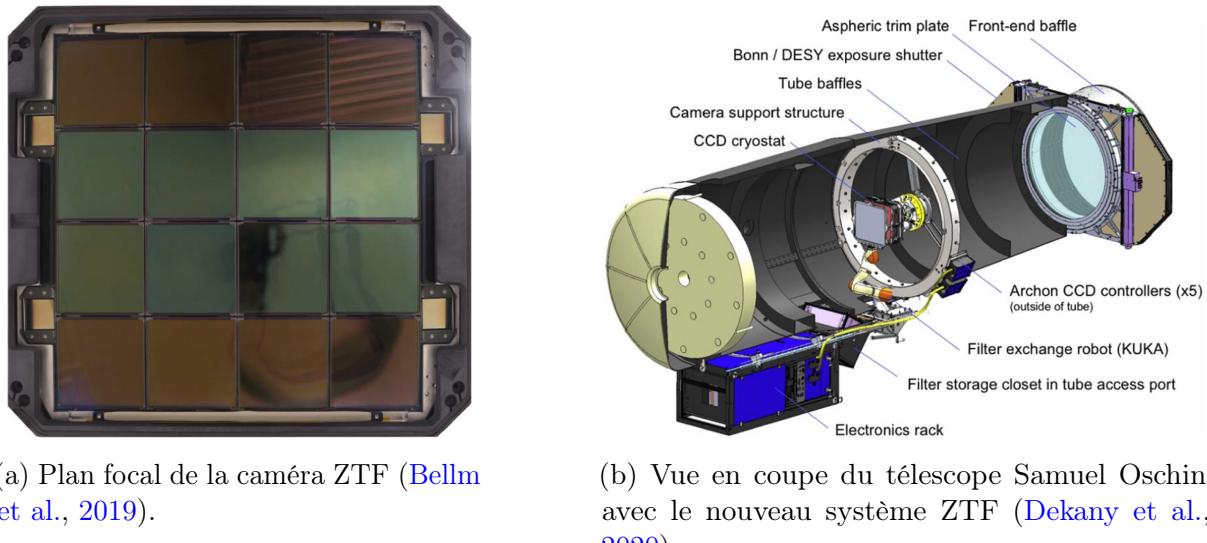


FIGURE 2.2 – Observatoire de Palomar, en Californie. Sur la gauche est située la caméra principale de ZTF, attachée au télescope P48 Samuel Oschi. En haut à droite nous avons le P60, sur lequel est monté le spectrographe 3D SEDm appartenant également à la collaboration ZTF. Le P200 est quant à lui utiliser par de nombreuses collaborations, et est utilisé occasionnellement par ZTF.

2.2 La caméra de ZTF

La nouvelle configuration de ZTF vis à vis de ses prédecesseurs PTF/iPTF est principalement due à sa caméra de 47deg^2 , profitant de l'intégralité du plan focal du télescope Schmidt P48.

Comme illustré dans la Fig. 2.3a de Bellm et al. (2019), la caméra est constituée d'une mosaïque de 16 CCD (Charge Coupled Device) composés de pixels carrés de $15\text{ }\mu\text{m}$ de côté, à une échelle de $1'01\text{ pixel}^{-1}$. Chaque CCD est composé de 6144×6160 pixels, et la caméra dans son ensemble a donc 573 Mpx. La FWHM mediane de la fonction d'étalement du point (PSF) résultant de cette configuration est de $2''1$ dans les bandes *g* et *i*, et de $2''0$ dans la bande *r*. En ce qui concerne la limite en magnitude, la bande *g* montre un seuil median à 5σ de 20.8mag, la bande *r* de 20.6mag et la bande *i* 19.9mag.



(a) Plan focal de la caméra ZTF (Bellm et al., 2019).

(b) Vue en coupe du télescope Samuel Oschin avec le nouveau système ZTF (Dekany et al., 2020).

FIGURE 2.3 – Description du système d'imagerie de ZTF (*à droite*) et présentation du plan focal de la caméra et ses 16 CCD (*à gauche*).

Le temps de pose utilisé avec cette caméra est de 30s, et la vitesse de lecture de seulement 8s. Entre le champ de vue de 47deg^2 et cette haute cadence d'acquisition, ZTF est capable de scanner près de $3750\text{deg}^2/\text{heure}$. Sachant que tout au long de l'année il y a en moyenne 6h de ciel noir par nuit au Mont Palomar, ZTF est ainsi capable d'observer l'entièreté du ciel visible plus d'une fois par nuit. Pour donner un autre ordre d'idée, ZTF serait ainsi capable de reproduire le relevé POSS (Minkowski & Abell, 1963) en 2 nuits.

Bien évidemment, un tel flux de données nécessite une infrastructure de traitement adéquate. Celle ci, appelée ZTF Science Data System (ZSDS) est hébergée à l'IPAC² (Masci et al., 2019). Ce système comprend le traitement des données, l'infrastructure d'émission d'alertes, le système d'interface utilisateur pour l'accès et l'analyse des résultats. Ce pipeline (exécuté en temps réel) utilise un algorithme de différentiation d'image, optimisé pour la détection de point source variable ou transitoire. Une fois l'événement confirmé, une alerte est générée et en générale déployée dans le quart d'heure qui suit.

². Infrared Processing & Analysis Center : <https://www.ipac.caltech.edu>

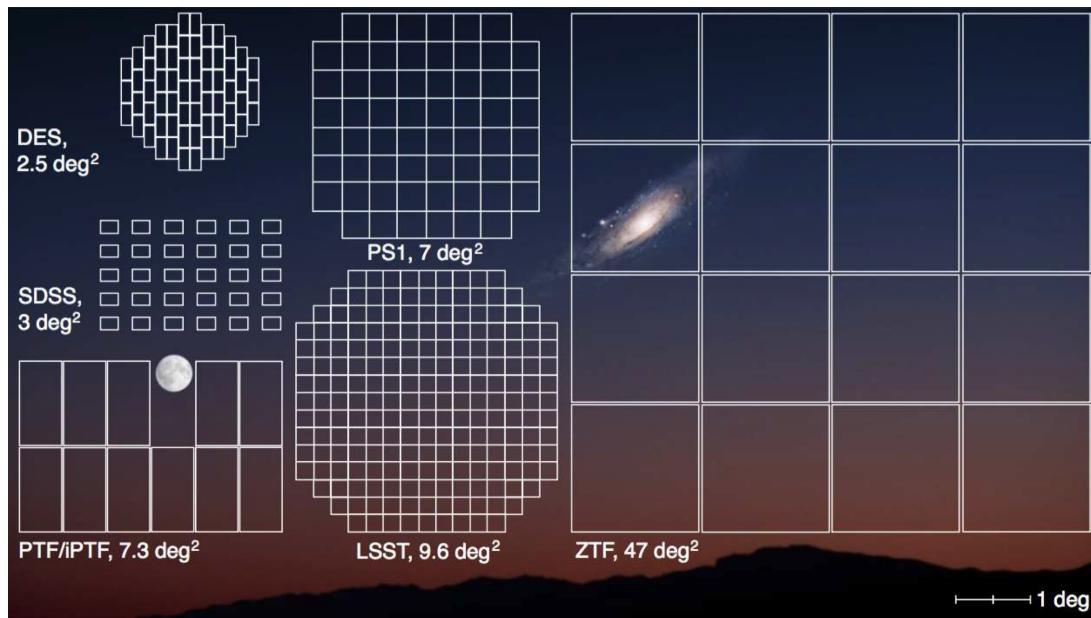


FIGURE 2.4 – Champ de vue de la caméra ZTF comparé à celui d’autres relevés astronomiques

La distribution de ce flux d’alertes utilise des technologies dont le code source est public développées en industries : Apache Kafka³ qui fourni un système unifié en temps réel à latence faible pour la manipulation de flux de données, et Avro⁴ qui est un framework de sérialisation de données. Les ordres de grandeurs de la quantité de données à manipuler sont impressionnantes : Ce système gère avec succès un flux d’environ 1,2 millions d’alertes $\sim 70 \text{ GB}$ de données par nuit. La vitesse de transfert est d’environ 80,000 alertes/minute. Plus de détails sur le système de distribution d’alertes sont apportés dans Patterson et al. (2019). On notera que le framework Avro sera celui utilisé pour LSST.

Seules les alertes provenant des observations liées au programme MSIP sont rendues public immédiatement. Les images en revanches (brut, calibrées et produits de données associés) deviennent disponibles 6 à 12 mois après l’observation pour la Phase 1 de ZTF, et entre 3 et 6 mois pour la Phase 2. Les données d’observation ayant pour origine les programmes privés et de Caltech sont disponibles après environ 12 à 18 mois. Lors de l’écriture de ces lignes en Avril 2022, la DataRelease⁵ 10 est public : Toutes les observations MSIP de Mars 2018 au 5 Novembre 2021, et celles privées et de Caltech jusqu’au 5 Juillet 2020.

2.3 Observation des Supernovae Ia avec ZTF

Nous allons à présent nous focaliser sur l’observation des Supernovae de type Ia avec ZTF.

Les événements transitoires nécessitant d’être filtrés parmi toutes les alertes reportées

³. <https://kafka.apache.org>

⁴. <https://avro.apache.org>

⁵. <https://www.ztf.caltech.edu/ztf-public-releases.html>

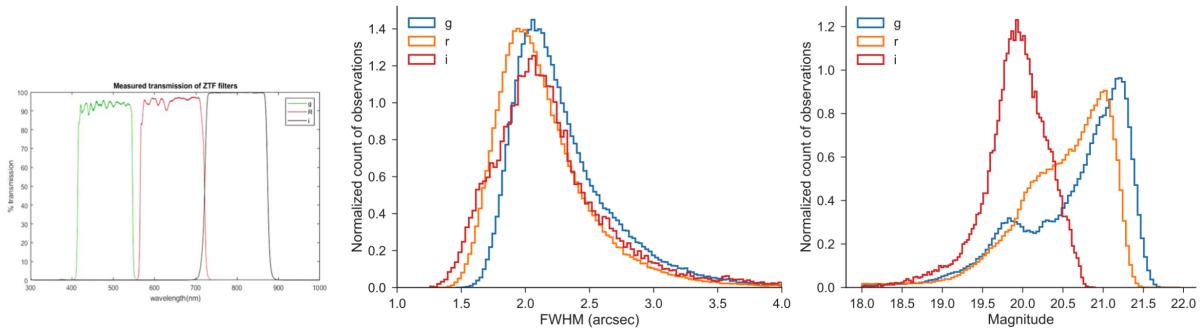


FIGURE 2.5 – Transmission des filtres g , r et i de la caméra de ZTF (Dekany et al., 2020) à gauche. Au centre histogramme normalisé de la largeur à mi-hauteur (FWHM) de la fonction d'étalement de point (PSF) pour chaque filtre durant le mois de Juin 2018 (Bellm et al., 2019). Enfin à droite est représenté l'histogramme à 5σ des magnitudes limites avec un temps de pose de 30s pour chaque filtre sur une période d'une lunaison.

par ZTF, Nordin et al. (2019) a élaboré le système **AMPEL**⁶ afin d'automatiquement filtrer les détections de ZTF et établir les courbes de luminosité associés aux évènements retenus.

Sur les $\sim 10^5$ alertes par nuit (ce qui correspond environ à 10% de ce qui est attendu pour LSST), la majorité ($\sim 90\%$) d'entre elles sont filtrés comme étant des artefacts, des étoiles variables, des satellites ou encore des objets du système solaire. In fine, ”seulement” $\mathcal{O}(10)$ sont de nouvelles Supernovae qui doivent être identifiées et classifiées. Entre 70 et 80% d'entre elles s'avèrent être de type Ia, dont la moitié atteignent le seuil de magnitude de ZTF permettant d'établir une courbe de lumière exploitable.

La 1^{re} data release dédiée au sondage des Supernovae de type Ia avec ZTF a été publiée et décrite par Dhawan et al. (2022) très récemment. Au stade de cette DR1, ce qui correspond à un peu plus de 2 ans et demi d'observations (Mars 2018-Novembre 2020), ZTF a déjà répertorié plus de 3000 SNIa.

2.4 Supernovae Ia, ZTF et Cosmologie

6. <https://github.com/AmpelProject/Ampel-contrib-sample>

Un spectrograph 3D : The Spectral Energy Distribution machine

Sommaire

3.1	Présentation de l'instrument	34
3.2	Extraction des spectres du CCD et création des cubes de données . .	34
3.3	Actuelle méthode d'extraction de spectre	34
3.4	SEDm en quelques chiffres	34

- 3.1 Présentation de l'instrument**
- 3.2 Extraction des spectres du CCD et création des cubes de données**
- 3.3 Actuelle méthode d'extraction de spectre**
- 3.4 SEDm en quelques chiffres**

Deuxième partie

Extraction de spectre de Supernovae

HyperGal : Une nouvelle méthode d'extraction de source ponctuelle

- XXX -

Sommaire

4.1	Idée générale	38
4.2	SED Fitting	38
4.3	Présentation du Pipeline	38

4.1 Idée générale

4.2 SED Fitting

4.3 Présentation du Pipeline

Modélisation Hyperspectrale

- XXX -

Sommaire

5.1	Source photométrique : PS1	40
5.1.1	Présentation du survey	40
5.1.2	Utilisation des images PS1	40
5.2	Cigale et SEDFitting	40
5.2.1	Présentation de Cigale	40
5.2.2	Utilisation	40
5.3	Construction du cube intrinsèque	40
5.3.1	Sampling des spectres dans l'espace SEDm	40
5.3.2	Construction du cube	40

5.1 Source photométrique : PS1

5.1.1 Présentation du survey

5.1.2 Utilisation des images PS1

5.2 Cigale et SEDFitting

5.2.1 Présentation de Cigale

5.2.2 Utilisation

5.3 Construction du cube intrinsèque

5.3.1 Sampling des spectres dans l'espace SEDm

5.3.2 Construction du cube

Réponse impulsionale de la SEDm

– XXX –

Sommaire

6.1	LSF	42
6.1.1	Lampe à arc	42
6.1.2	Détermination de la LSF	42
6.2	PSF	42
6.2.1	Modèle de profil radial	42
6.2.2	Entrainement du modèle	42
6.2.3	Chromaticité et ADR	42
6.3	Validation	42
6.3.1	Calibration photométrique	42
6.3.2	Résultats	42

6.1 LSF

6.1.1 Lampe à arc

6.1.2 Détermination de la LSF

6.2 PSF

6.2.1 Modèle de profil radial

6.2.2 Entrainement du modèle

6.2.3 Chromaticité et ADR

6.3 Validation

6.3.1 Calibration photométrique

6.3.2 Résultats

Modélisation de Scène et Extraction de Source

– XXX –

Sommaire

7.1	Projection du cube intrinsèque	44
7.1.1	Seeing relatif Panstarrs/SEDm	44
7.1.2	Projection spatiale dans l'espace SEDm	44
7.2	Modélisation de Scène	44
7.2.1	Composante du fond : ciel et artefacts	44
7.2.2	Composante du point source : Supernova	44
7.2.3	Fitting de la scene	44
7.3	Extraction du point source	44
7.3.1	Outputs de contrôle du pipeline	44
7.3.2	Isolation de la galaxie hôte	44
7.3.3	Isolation de la Supernova	44
7.4	Classification : SNID	44

7.1 Projection du cube intrinsèque

7.1.1 Seeing relatif Panstarrs/SEDm

7.1.2 Projection spatiale dans l'espace SEDm

7.2 Modélisation de Scène

7.2.1 Composante du fond : ciel et artefacts

7.2.2 Composante du point source : Supernova

7.2.3 Fitting de la scene

7.3 Extraction du point source

7.3.1 Outputs de controle du pipeline

7.3.2 Isolation de la galaxie hôte

7.3.3 Isolation de la Supernova

7.4 Classification : SNID

Troisième partie

Simulations et Résultats

Simulations de cubes de données et application d'HyperGal

– XXX –

Sommaire

8.1	Génération des simulations	48
8.1.1	Cube de galaxies isolées	48
8.1.2	Modèles de Supernovae	48
8.1.3	Marginalisations	48
8.1.4	Paramètres libres d'étude : Distance et contraste	48
8.2	Résultats et Précision	48
8.2.1	Précision spectrophotométrique	48
8.2.2	Précision avec correction de continuum	48
8.2.3	Efficacité de classification	48

8.1 Génération des simulations

- 8.1.1 Cube de galaxies isolées
- 8.1.2 Modèles de Supernovae
- 8.1.3 Marginalisations
- 8.1.4 Paramètres libres d'étude : Distance et contraste

8.2 Résultats et Précision

- 8.2.1 Précision spectrophotométrique
- 8.2.2 Précision avec correction de continuum
- 8.2.3 Efficacité de classification

Data Release 2 de ZTF

- XXX -

Sommaire

9.1	Présentation de la DR2 de ZTF	50
9.1.1	XXX	50
9.1.2	XXX	50
9.2	Production d' HYPERGAL et résultats	50
9.2.1	XXX	50
9.2.2	XXX	50

9.1 Présentation de la DR2 de ZTF

9.1.1 XXX

9.1.2 XXX

9.2 Production d'HyperGal et résultats

9.2.1 XXX

9.2.2 XXX

Conclusions & perspectives

Bibliographie

- Bellm, E. C., Kulkarni, S. R., Graham, M. J., et al. 2019, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **131**, 018002
- Dekany, R., Smith, R. M., Riddle, R., et al. 2020, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **132**, 038001
- Dhawan, S., Goobar, A., Smith, M., et al. 2022, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **510**, 2228
- Graham, M. J., Kulkarni, S. R., Bellm, E. C., et al. 2019, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **131**, 078001
- Law, N. M., Kulkarni, S. R., Dekany, R. G., et al. 2009, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **121**, 1395
- Masci, F. J., Laher, R. R., Rusholme, B., et al. 2019, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **131**, 018003
- Minkowski, R. L. & Abell, G. O. 1963, in Basic Astronomical Data : Stars and Stellar Systems, ed. K. A. Strand, 481
- Nordin, J., Brinnel, V., van Santen, J., et al. 2019, *Astronomy and Astrophysics*, **631**, A147
- Patterson, M. T., Bellm, E. C., Rusholme, B., et al. 2019, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **131**, 018001
- Rau, A., Kulkarni, S. R., Law, N. M., et al. 2009, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **121**, 1334