

Zwicky Transient Facility

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.

1.1 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 prédecesseur 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. 1.1). 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.

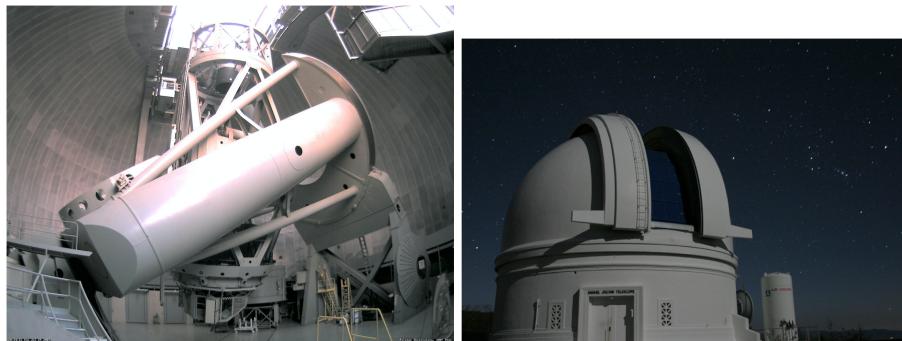


FIGURE 1.1 – Télescope Samuel Oshin P48 au Mont Palomar

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 relevés 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 relevés 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 accréation 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 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)

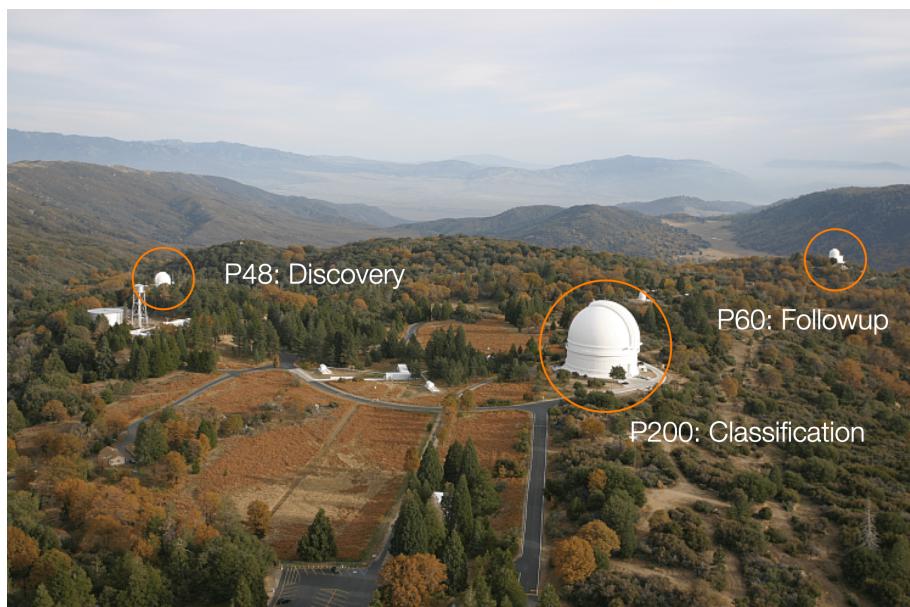
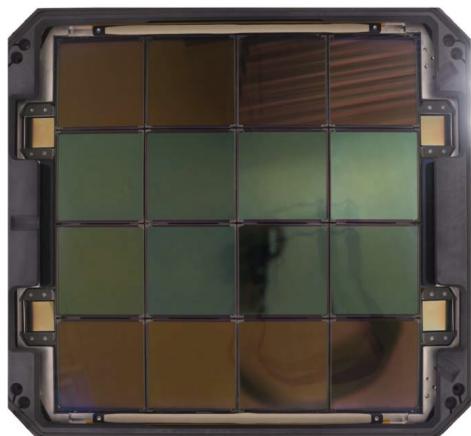


FIGURE 1.2 – Observatoire de Palomar, en Californie. Sur la gauche est située la caméra principale de ZTF, attachée au télescope P48 Samuel Oschi. En haut à droite nous avons le P60, sur lequel est monté le spectrographe 3D SEDm appartenant également à la collaboration ZTF. Le P200 est quant à lui utiliser par de nombreuses collaborations, et est utilisé occasionnellement par ZTF.

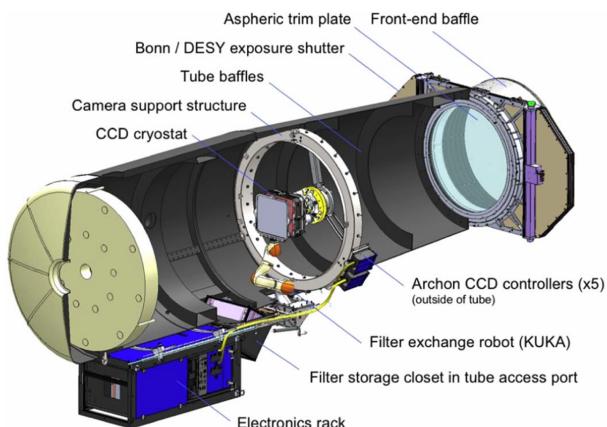
1.2 La caméra de ZTF

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. 1.3a 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 1.3 – 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. La description de ce pipeline est entièrement détaillée dans Masci et al. (2019).

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

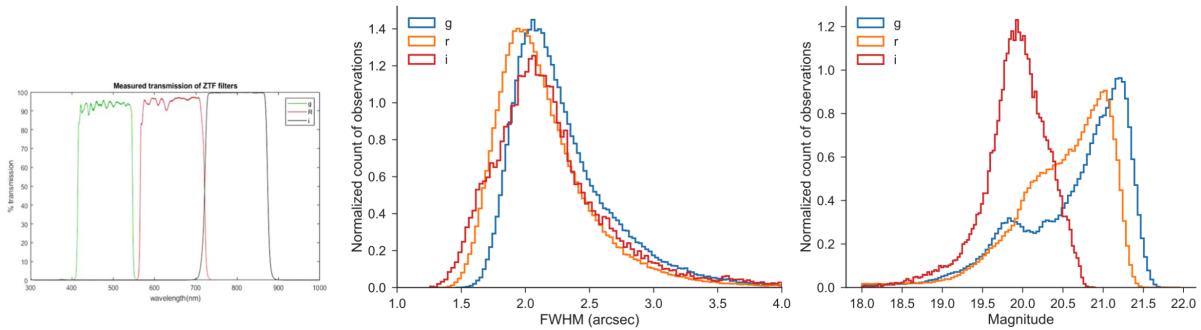


FIGURE 1.4 – Transmission des filtres g , r et i de la caméra de ZTF ([Dekany et al., 2020](#)) à gauche. Au centre histogramme normalisé de la largeur à mi-hauteur (FWHM) de la fonction d'étalement de point (PSF) pour chaque filtre durant le mois de Juin 2018 ([Bellm et al., 2019](#)). Enfin à droite est représenté l'histogramme de la magnitude limite à 5σ avec un temps de pose de 30s pour chaque filtre sur une période d'une lunaison.

1.3 Le rôle de ZTF dans l'étude cosmologique moderne

1.4 ZTF en quelques chiffres

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
- 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
- Rau, A., Kulkarni, S. R., Law, N. M., et al. 2009, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **121**, 1334