

---

## Rapport MT2 OHP

---

COMPTAGE D'ÉTOILES ET DE GALAXIES : OHP VS CFHT

M2 Astrophysique, Observatoire de Paris  
BORDIER Emma & FIALLOS Ana

Du 5 au 12 janvier 2019



Encadrant du projet : Dr. Henry Joy McCracken  
Institution : Observatoire de Haute Provence

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Choix des Cibles et prise de données</b>	<b>2</b>
2.1	Choix des Cibles . . . . .	2
2.2	Prise de données . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Prétraitement des données</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Traitemet des données</b>	<b>5</b>
4.1	Alignment des images avec Astrometry et Swarp . . . . .	5
4.2	SExtractor . . . . .	5
4.3	Calibration photométrique . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Analyse</b>	<b>6</b>
5.1	Comparaison des données de l'OHP avec celles du CFHT . . . . .	6
5.2	Comptage et comparaisons avec la littérature . . . . .	7
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>Remerciements</b>	<b>9</b>

## 1 Introduction

Comprendre la formation et l'évolution des structures dans l'univers est une des questions primordiales depuis une vingtaine d'années. Le comptage d'étoiles dans le ciel est l'une des clés permettant d'appréhender l'évolution des galaxies. L'avènement des plaques photographiques au début du XXe siècle a permis à Hubble d'effectuer les tout premiers comptages de galaxies. Ce travail était alors inédit, puisqu'il permettait pour la première fois, d'étudier la composition et l'évolution de l'univers dans son intégralité. Les résultats montrent alors que les galaxies sont distribuées de façon non uniforme contrairement aux étoiles ; il convient alors d'étudier la formation de telles structures en considérant l'impact de leur environnement dans les processus de formation.

Nous partons à l'OHP avec une question en tête : Les objets non résolus (les galaxies) ont-ils une distribution sur le ciel différente des objets résolus (les étoiles) ? Ce rapport détaille pas à pas les différentes démarches mises en œuvre durant la semaine à l'observatoire pour aboutir à des résultats.

Le projet s'étale sur une semaine et s'articule sur 2 grandes thématiques : l'acquisition de données sur 4 nuits au T120 et le traitement et analyse de données.

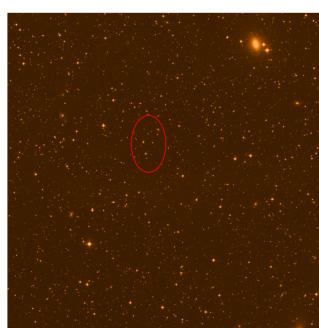
## 2 Choix des Cibles et prise de données

### 2.1 Choix des Cibles

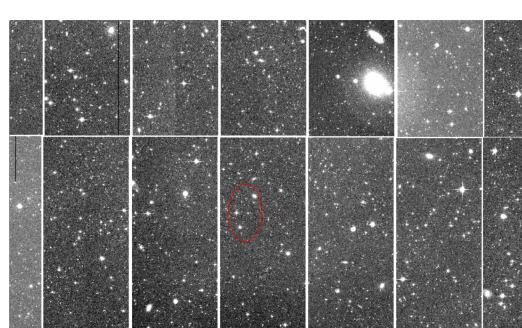
Avant toute observation il convient de choisir judicieusement ses cibles, en identifiant les observables pertinentes pour répondre à nos questions. Plusieurs paramètres à prendre en compte, comme les limites du télescope (on choisira des déclinaisons positives), les conditions météorologiques (s'il y a du vent, prendre des cibles assez hautes).

Nous utilisons 4 outils qui vont nous permettre de choisir au mieux nos cibles :

- SIMBAD et Aladin Lite : On entre les coordonnées du champ sur le site et on utilise Aladin Lite pour voir de façon interactive les abords du champ : y a t-il des champs adjacents qui ont plus d'étoiles ou plus de galaxies ?
- DSS (Online Digitized Sky Survey) : outil mis à disposition par l'ESO il permet d'obtenir une carte de champ, qui nous aidera au pointage du télescope, et qui nous renseigne grossièrement sur la composition du champ choisi.
- CADC (Canadian Astronomy Data Center) : Cette plateforme répertorie les données prises sur plusieurs télescopes. Elle nous permet de savoir s'il existe des données CFH sur le champ choisi, et d'en extraire les données sur les filtres appropriés. Cette étape est importante puisque nous souhaitons faire une comparaison données T120 OHP / données CFH.
- StarAlt : Ce programme nous est utile pour déterminer l'observabilité de nos sources, en sélectionnant l'observatoire adéquat ainsi que les coordonnées de la source. Sur le graphe figurent l'airmass, l'altitude, les temps local et universel. Il nous permet de savoir à quelle heure locale l'objet passe au méridien et de préparer notre observation en conséquence.

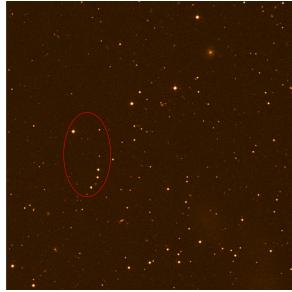


(a) Carte de champ DSS  
30'x30'

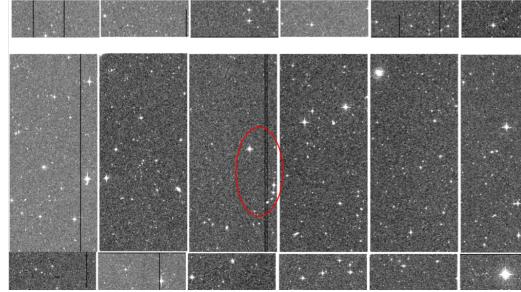


(b) Image CFH prise avec MegaCam 1°x1° en filtre R. Le champ qui nous intéresse se trouve à cheval sur la CCD 22 et la CCD 23.

FIGURE 1 – Choix du premier Champ  $\alpha = 03^h 02' 00''$   $\delta = +44^\circ 41' 29''$  que nous appellerons dans la suite "Champ3"

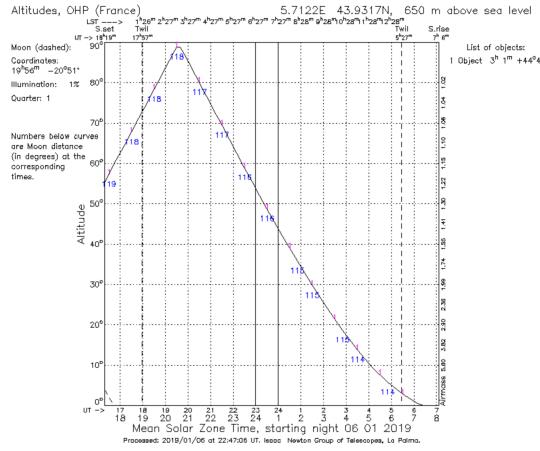


(a) Carte de champ DSS  
20'x20'

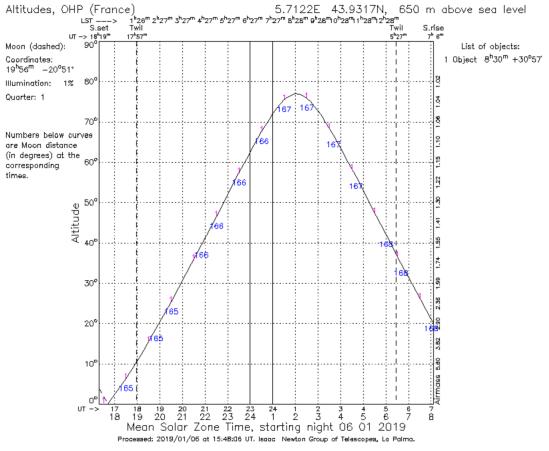


(b) Image CFH prise avec MegaCam 1°x1° en filtre gri. Le champ qui nous intéresse se trouve à cheval sur la CCD 11 et la CCD 12.

FIGURE 2 – Choix du premier Champ  $\alpha = 08^h 30' 19''$   $\delta = +30^\circ 55' 42''$  que nous appelleront dans la suite "Champ8"



(a) Star Alt de la source Champ3 : l'airmass est optimal et nous pouvons l'observer en début de nuit



(b) Star Alt de la source Champ8 : l'airmass est optimal et nous pouvons l'observer en milieu/fin de nuit.

FIGURE 3 – Star-Alt de chacun des deux champs : champ3 et champ8.

## 2.2 Prise de données

Pour l'acquisition nous utiliserons le télescope Newton équipé d'un miroir de 120cm. Sur la bonnette du foyer Newton est montée une caméra CCD (détecteur quantique), Andor Ikon L936, qui fait de l'imagerie directe. Ce dispositif utilise un CCD 2048x2048 pixels ainsi, avec un binning 2x2, nos images ont la taille 1024x1024. Cette caméra très sensible a un rendement quantique de 0.95 autour de 600nm (filtre R) et nous offre un champ de vue de 13.1'x13.1'. Nous utiliserons les filtres R et B (système Cousins) disponibles sur la caméra.

Après avoir pointé le télescope, une rapide vérification est nécessaire : nous nous assurons que le champ choisi est bien centré sur la caméra. Ensuite nous faisons des petites manipulations pour déterminer le seeing et choisir nos temps de pose (pour chaque filtre) afin d'avoir suffisamment de flux et ne pas saturer certaines étoiles d'avant plan (seuil de saturation numérique du CCD : 65537 ADU).

L'acquisition de données se déroule sur 4 nuits, du dimanche 6 janvier au jeudi 10 janvier au matin. Nous choisissons de prendre les données sur 2 filtres : R et B. Nos observations se sont déroulées de la façon suivante :

Nous remarquerons que la 3e nuit 07.01.19 le seeing n'était pas optimal à cause du vent, les données de cette nuit-là seront traitées indépendamment pour ne pas fausser la photométrie. Aussi, la Lune est apparue sur les deux dernières nuits, les données en sont légèrement affectées mais le traitement de données permet de le corriger.

Champ	Nuit d'observation	Filtre	Temps de pose	Nombre d'images	Seeing
Champ3	06.01.19	R	600s	5	Autour de 2"
Champ8	06.01.19	R	600s	5	Autour de 2"
Champ3	07.01.19	B	1200s	4	Autour de 2.3"
Champ8	07.01.19	R	600s	15	Autour de 2.3"
Champ3	08.01.19	B	1200s	3	Autour de 6.5-7"
Champ8	08.01.19	B	1200s	4	Autour de 6.5-7"
Champ8	09.01.19	R	600s	9	Autour de 3"

TABLE 1 – Tableau donnant le planning d'acquisition de données au cours du temps d'observation alloué.

### 3 Prétraitement des données

Une fois nos données obtenues, on doit effectuer le prétraitement de nos images qui nous permet de nettoyer nos images en enlevant les effets dus aux passage de la lumière par la chaîne optique (telescope+filtres) et aux défauts de la caméra CCD.

On veut observer une partie du ciel à une certaine résolution mais les données acquises ne représentent pas le ciel lui-même, mais celui-ci convolué à une fonction A. On peut donc considérer que nos données décrivent l'équation suivante :  $Données = A * Signal + Noise$ . A est une matrice d'observation et "noise" inclut les bruits stochastique et déterministe.

Tout d'abord, il faut soustraire de nos mesures le courant d'obscurité qui représente le signal mesuré par la caméra obturateur fermé pendant le même temps de pose que celui choisi pour nos données. La présence de ce signal non nul est lié à l'agitation thermique du réseau cristallin constituant les photosites du capteur. Cependant, la caméra qu'on a utilisé est refroidie à  $-60^{\circ}\text{C}$ , ce qui permet de diminuer fortement le courant d'obscurité qui peut donc être réduit au bias ou offset de la caméra ( $dark - offset \sim 3e^-$ ). Le signal d'offset représente le signal mesuré par la caméra obturateur fermé à temps de pose quasi-nul et est lié à l'électronique de la CCD (convertisseur analogique).

Ensuite, il faut prendre en compte les inhomogénéités de la chaîne de transmission qui se traduisent par une variation pixel à pixel lorsqu'on observe une source uniforme, on appelle cette image PLU ou flat field.

Finalement, on corrige chaque image obtenue en appliquant la formule suivante :

$$\text{Image prétraitée} = \frac{\text{Image brute} - Superbias}{Superflat}$$

Afin de réduire les erreurs aléatoires sur nos mesures, on a pris 10 images d'offset et 10 images de flat (pour chaque filtre) pour pouvoir faire une moyenne temporelle. Ensuite, on a tracé l'histogramme du nombre de pixels par ADU dans l'image d'offset moyenne et on a déterminé le Superbias en prenant le centre de la gaussienne fitée à l'histogramme. Pour obtenir le Superflat nous avons calculé la moyenne des images de flat corrigées et normalisées :  $Superflat = < \frac{flat_i - Superbias}{\langle flat_i - Superbias \rangle} >_i$

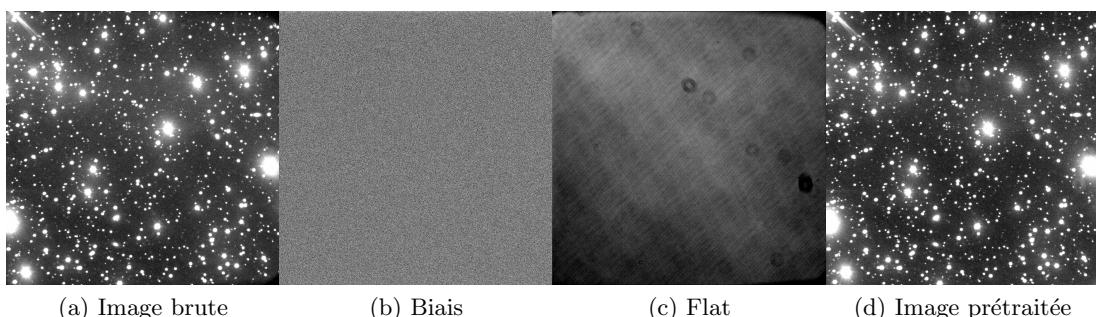


FIGURE 4 – Prétraitement des données

NB : Nous avons vu apparaitre des taches de flat sur nos images prétraités et nous avons donc utilisé le Superflat de Michel Dennefeld pour voir si elles disparaissaient mais le problème persiste.

## 4 Traitement des données

### 4.1 Alignement des images avec Astrometry et Swarp

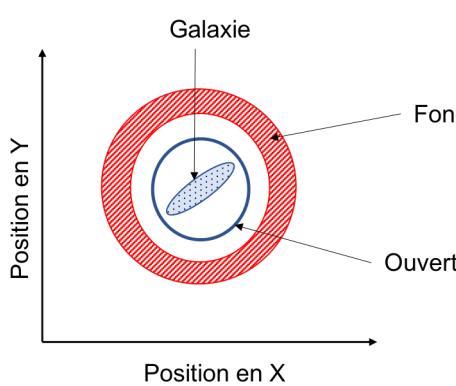
Une fois les données pré-traitées, il convient de les aligner. Deux étapes sont essentielles dans le réalignement des données :

- Astrometry.net : Chaque image corrigée est téléchargée sur le site. A partir d'une image astronomique (image corrigée), et d'une base de données exceptionnelle, Astrometry renvoie une calibration astronomique et une liste des objets compris dans le champ. Astrometry identifie les objets du champ et nous permet d'avoir les coordonnées WCS exactes.
- SWarp : Ce programme permet de réaligner les images dont nous avons les coordonnées WCS (images issues de Astrometry.net). Ces images au format FITS sont re-échantillonnées et additionnées pour ne donner qu'une image, image sur laquelle nous feront tourner SExtractor. Pour optimiser l'utilisation de SWarp nous enregistrons un header des images issues d'astrometry. SWarp se basera alors sur cette image pour reconstruire l'image finale.

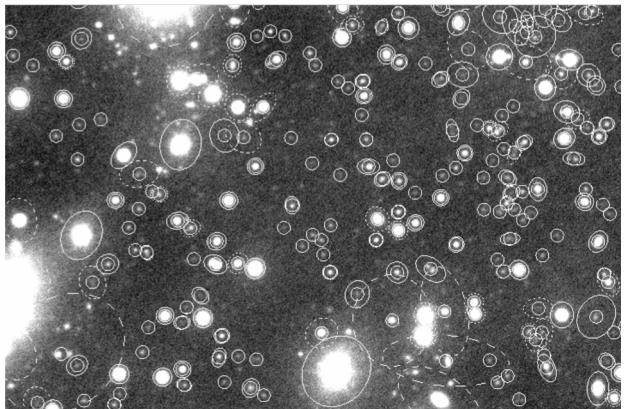
Les images issues de SWarp sont normalisées par le temps de pose total, où  $t_{pose} = \sum_{k=1}^n 600$  pour n images co-additionnées dans l'image SWarp (600s pour le filtre R et 1200s pour le filtre B). Par exemple, pour le Champ8 où nous avons 29 images, nous divisons par  $600*29s$ .

### 4.2 SExtractor

Le programme SExtractor construit un catalogue d'objets à partir d'une image astronomique calibrée (celle ici de SWarp). Le programme repère chaque pixel et détecte ainsi les sources. On obtient parmi tant d'autres, une carte de champ des ouvertures choisies pour la photométrie. Le choix de l'ouverture doit être réglé de façon pertinente dans les paramètres car si elle est trop grande, on ajoute beaucoup de bruit. En revanche, si elle est trop petite, on perd du signal. La photométrie d'ouverture est particulièrement délicate lorsqu'il s'agit de galaxies car elles n'ont pas un profil ponctuel. De plus, si on utilise des images dans différents filtres, on n'observe pas forcément les mêmes objets. SExtractor nous permet de faire des comparaisons, des crossmatchs.



(a) Schéma expliquant la photométrie d'ouverture utilisée par SExtractor dans le but de produire un catalogue d'objets.



(b) Exemple d'une carte de champ où apparaît la photométrie d'ouverture faite par SExtractor. Cette carte représente une partie du Champ8 en filtre R.

FIGURE 5 – Photométrie d'ouverture opérée par SExtractor

### 4.3 Calibration photométrique

La calibration photométrique est la dernière étape du traitement des données et nous permet de convertir le flux reçu des objets en magnitudes. Pour ceci on utilise le logiciel TOPCAT qui permet d'ouvrir les catalogues créés par SExtractor et de faire un crossmatch avec des catalogues connus. Ainsi, on peut donc récupérer les magnitudes associées à nos objets et faire une régression linéaire pour retrouver la magnitude zéro de notre télescope.

Pour pouvoir faire la calibration de la magnitude 0 on a utilisé le catalogue SDSS DR12 et on a fait

un fit linéaire nous donnant la relation entre la magnitude donnée par SExtractor MAG\_AUTO et la magnitude donnée par SDSS. Nous avons pu remarquer que notre première régression n'était pas très optimale puisqu'on prenait tous les objets pour faire le fit. Nous avons donc choisi uniquement les étoiles ayant  $-34 < \text{MAG\_AUTO} < -32$  et  $\text{FLUX\_RADIUS} < 3$ .

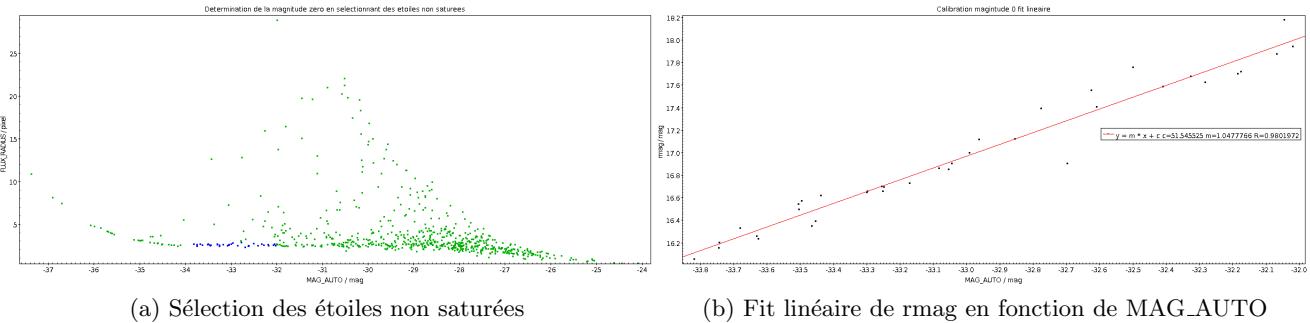


FIGURE 6 – Détermination de la Magnitude 0 du télescope à l'aide de TOPCAT

On obtient donc pour le champ à 8h30  $M_0 = 51.5$ . Finalement on refait tourner SExtractor en indiquant la valeur de la magnitude zéro et on obtient ainsi un catalogue calibré en magnitude.

## 5 Analyse

### 5.1 Comparaison des données de l'OHP avec celles du CFHT

Une fois nos données traitées, nous pouvons les analyser dans un premier temps à l'aide de TOPCAT qui nous permet déjà de retrouver quelques résultats intéressants. Nous commençons ici par comparer nos données correspondant au champ à 3h avec celles du CFHT pour le même champ. Il convient de remarquer que le CFHT possède une configuration Cassegrain avec un miroir de 3m58 ouvert à f/8 et le T120 est un télescope Newton qui utilise un miroir de 120cm ouvert f/6. On peut également noter que la caméra CCD de l'OHP offre un champ de  $13.1' \times 13.1'$  ce qui donne  $0.58\text{arcsec}^2$  par pixel, soit une résolution de  $0.765''$  par pixel alors que la Megacam utilisée pour le CFHT a un champ de  $36' \times 4612$  pixels couvrant  $1\text{deg}^2$ , soit une résolution de  $0.187''$  par pixel.

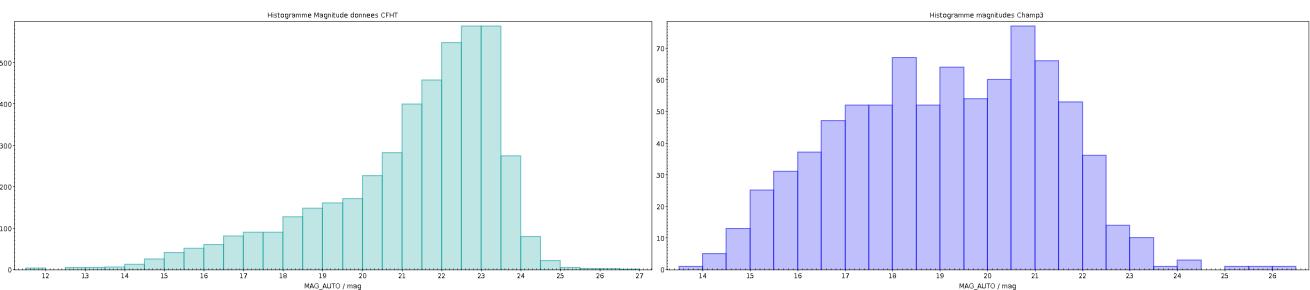


FIGURE 7 – Nombre d'objets par bins de 0.5 magnitude pour CFHT à gauche et OHP à droite

Nous avons commencé par prendre les données du CFHT que Henry a aligné avec nos données et nous avons fait un catalogue avec SExtractor en mettant comme magnitude zéro celle du CFHT qu'on a pu calculer à l'aide du header des données :  $M_{CFHT} = m + \text{PHOTO\_C}$  où  $m = 2.5 \log(\text{EXPTIME})$  avec  $\text{EXPTIME} = 150.152s$  et  $\text{PHOTO\_C} = 26.0730$ . On obtient donc  $M_{CFHT} = 31.5$ . On obtient donc les deux histogrammes ci-dessus pour le CFHT à gauche et pour l'OHP à droite. On peut déjà remarquer que la magnitude de coupure pour le CFHT pour un temps de pose  $t_{pose} = 150s$  est environ 23 alors que pour le T120 elle est environ 20 pour  $t_{pose} = 3000s$ . Cependant, lorsqu'on prend les données correspondant au champ à 8h30 on remarque que la magnitude limite est très proche de celle du CFHT, même si on a dû poser 4h50 pour avoir ce résultat, soit 116 fois plus qu'au CFHT.

Finalement, nous avons fait tourner SExtractor sur nos données avec les paramètres du CFHT pour avoir les mêmes objets dans le catalogue. Nous avons ensuite combiné les deux catalogues pour tracer

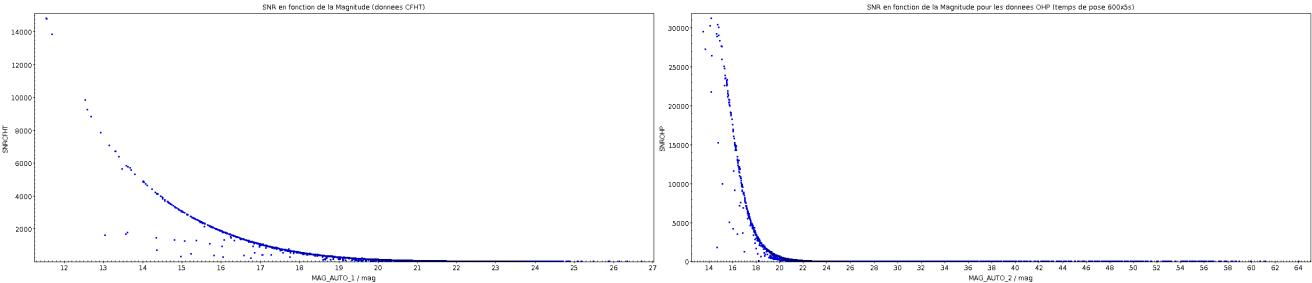


FIGURE 8 – Rapport Signal/Bruit en fonction de la magnitude pour CFHT à gauche et OHP à droite

le rapport signal sur bruit en fonction de la magnitude pour les deux cas. L'allure des courbes est celle attendue puisque le rapport signal sur bruit diminue lorsque la magnitude augmente puisque le signal venant des objets diminue. En fait on a  $\text{SNR} = \frac{1}{\sqrt{\text{nombre de photons}}}$ . Ces différences dans les résultats peuvent être dues comme nous l'avons présenté, au fait que la surface collectrice du CFHT est presque 10 fois plus grande que celle du T120, au fait que sa caméra a une meilleure résolution ou encore aux conditions de seeing de la soirée d'observation.

## 5.2 Comptage et comparaisons avec la littérature

Dans la suite, nous essayons de réaliser un comptage des galaxies. Pour le moment nous ne différencions pas les galaxies des étoiles, nous faisons un comptage "d'objets". Nous dénombrons, toutes magnitudes confondues, 947 objets détectés dans le champ3 et 704 objets détectés dans le champ8. Ainsi, à partir du catalogue, nous faisons des bin de magnitude, de 0.5 en 0.5. Nous comptons ensuite le nombre d'objets par bin. Afin de les comparer aux données disponibles dans la littérature, il convient de prendre le  $\log_{10}$  de ce nombre d'objets et de le normaliser (par 13.1/60) afin d'avoir un nombre d'objets par degré<sup>2</sup> par 0.5 mag.

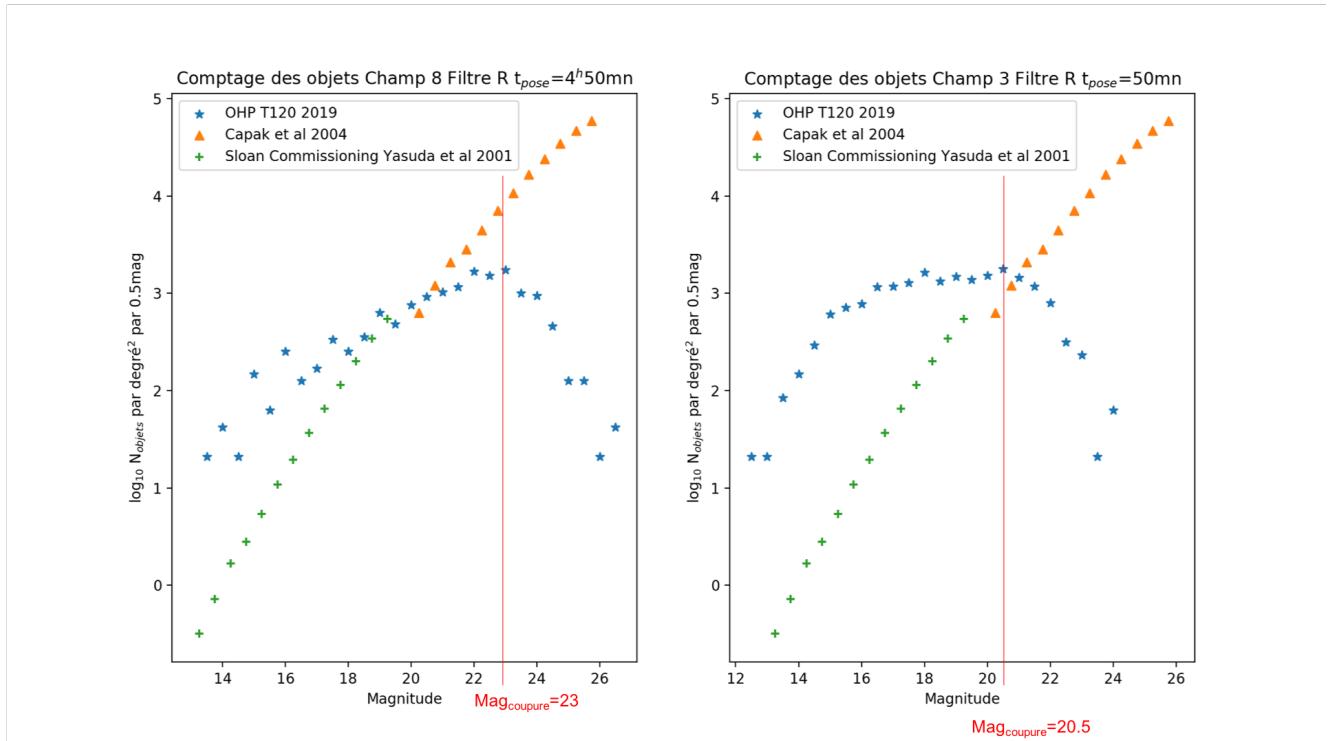


FIGURE 9 – Comptage des Objets (galaxies+étoiles) pour chaque champ, le champ3 et le champ8 en filtre R. En rouge apparaît la magnitude de complétude. Sur les plots nous ajoutons les données de Sloan Commissionning Yasuda et al et de Capak et al. qui proviennent du Durham Cosmology Group galaxy number-counts.

Plusieurs conclusions peuvent se dégager de ce graphe. La première étant que nos données semblent montrer qu'il y a peu de galaxies mais essentiellement des étoiles qui ont été répertoriées dans le catalogue fourni par SExtractor. En effet, les pentes bleues ne correspondent pas aux pentes orange et verte qui elles dénombrent les galaxies en filtre rouge. Aussi, nous noterons que même les pentes verte et orange, si elles viennent de la littérature, ne se "joignent" pas exactement. Il doit y avoir un petit décalage dans les différentes calibrations offset (magnitude 0) que chacun d'entre nous utilise.

En comptant tous les objets de magnitude supérieure à 12 (en deçà de laquelle les objets sont saturés) et inférieure à 30 (nous savons que le seuil de détection ne peut atteindre de telles magnitudes), que nous reportons le logarithme de ce nombre en fonction de la magnitude, nous obtenons une courbe qui s'infléchit à une certaine magnitude. Cette magnitude est dite magnitude de complétude. En deçà de cette limite, nous pouvons considérer que toutes les sources ont été détectées. Cette magnitude de coupure atteint 23 pour le champ8 et seulement 20.5 pour le champ3. Plusieurs explications peuvent expliquer l'origine de cette différence. La plus évidente semble être le temps de pose effectué sur chaque champ : 4h50mn pour le champ8 contre seulement 50mn pour le champ3. Plus on intègre sur un temps long, plus on fait apparaître des objets. Le choix du filtre n'est ici pas un soucis puisque les deux mesures ont été effectuées dans le même filtre. En revanche, la direction dans le ciel peut être une autre source de différence (bien que l'airmass avait une valeur raisonnable dans les deux cas).

## 6 Conclusion

La semaine d'observation à l'Observatoire de Haute-Provence nous a permis de nous immerger quelques jours dans le monde de l'astronomie observationnelle et de mener un projet du début à la (quasi) fin. Nous décidions il y a un mois de travailler sur le Comptage des Étoiles et des Galaxies.

Le pré-traitement des données a été une étape finalement assez longue puisque nous nous efforçons à essayer de comprendre d'où provenait une tache persistante sur nos images... ce à quoi nous avons finalement peu de réponses. Nous pouvons juste conclure sur le fait que nos SuperFlat et le pré-traitement étaient corrects. L'analyse des données a permis de dégager deux résultats principaux : le nombre d'objets de chaque champ (947 objets pour le champ 3 et 704 pour le champ 8) et la détermination des magnitudes de complétude. D'ailleurs, la comparaison de nos données avec celles de la littérature montrent que ces objets sont principalement des étoiles.

Un autre travail très intéressant a été la confrontation de nos données avec d'autres données effectuées sur le même champ. Cette comparaison avec les données du CFHT dont l'acquisition a été faite avec Megacam nous a également permis de comparer les instruments sur lesquels nous travaillons et d'appréhender les limites de notre télescope, mais aussi du site géographique. Les surfaces collectrices, le seeing, sont en tout point différents et nous nous en rendons compte en observant les images : la photométrie est affectée par de nombreux facteurs.

Les perspectives sont nombreuses pour notre projet. Nous pourrions dans un premier temps tracer les fonctions de corrélation pour les deux champs. Nous nous attendons à ce que la corrélation soit autour de 0 car dans un champ comme dans l'autre, le comptage montre que les objets majoritaires sont des étoiles. Aussi nous savons que les étoiles ont une distribution quasi aléatoire dans le ciel contrairement aux galaxies. De plus, il pourrait être intéressant de mettre des conditions sur le flux et la magnitude pour finalement catégoriser nos objets : étoiles et galaxies. Nous pouvons à l'issue de ce stage se rendre à l'évidence que les champs choisis n'ont pas assez été étudiés, ils contenaient beaucoup d'étoiles, certes, mais peu de galaxies.

Enfin, nous avions pris du temps pour observer d'autres objets, notamment la 3e nuit lorsqu'il y avait beaucoup de vent et que le seeing ne nous permettait pas d'obtenir des photométries optimales. Nous avons alors pris le temps d'observer deux objets, sous l'oeil averti de Dr. Michel Dennefeld et Didier Gravallon qui nous ont guidé dans le choix des sources à observer : NGC2403 (une galaxie), M42 (une région d'Orion) et PK164+31 (une nébuleuse planétaire).

## 7 Remerciements

Cette expérience inédite a été l'occasion de se familiariser avec l'astronomie observationnelle, thématique dans laquelle nous voulons toutes les deux évoluer. Cette première approche a été une réussite puisqu'elle n'a fait que confirmer notre souhait.

C'est pourquoi nous souhaitons remercier toute l'équipe encadrante (Dr. Henry J. McCracken, Dr. Hervé Dole, Dr. Michel Dennefeld et Dr. Karim Benabed), qui, à travers des explications simples (parfois compliquées), des cours plus théoriques, des manipulations au télescope, nous a permis de mener à bien ce projet, bien qu'il soit inachevé. Nous vous remercions également pour la diversité que vous avez su apporter au cours du séjour, les différentes visites et escapades.

Nos remerciements vont également à Didier Gravallon qui, grâce à sa patience et son expertise, nous a formées à la manipulation du T120 et à l'acquisition de données. Son humour et sa personnalité en font un personnage inoubliable !

Enfin, nous voulons remercier nos camarades de séjour, Erwan, Naïs, Eduardo, Benjamin, Gaëtan et Vincent, pour l'entraide, et sans qui les nuits auraient été beaucoup plus longues.