



# Les quasars vus par le satellite Gaia

Capitaine Erwan-Bougis Kévin

5 juin 2012

Université Bordeaux 1, Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux

Encadrants :

Ducourant Christine : astronome au LAB

Billebaud Françoise : astronome au LAB

Bourda Géraldine : astronome au LAB

Collaborateurs :

Le Champion Jean-François : ingénieur de recherche au LAB, spécialisé sur l'analyse des données méridiennes

Krone-Martins Alberto : astronome au groupe SIM de la faculté des Sciences de l'Université de Lisbonne

Braine Jonathan : astronome au LAB

# Remerciements

Nous tenons à remercier nos encadrantes Christine Ducourant, Françoise Billebaud et Géraldine Bourda qui nous ont permis d'effectuer ce stage dans une ambiance très agréable. Celui-ci fut d'autant plus intéressant de part les nombreuses connaissances acquises dans les domaines de la programmation et de l'astronomie. Nous remercions aussi Jean-François Le Campion qui nous a suivi tout au long de ce stage et qui nous a apporté de précieuses aides sur l'analyse des données méridiennes.

Nous remercions enfin Alberto Krone-Martins et Jonathan Braine qui nous ont bien éclairé lorsque nous fûmes confrontés à certains problèmes.

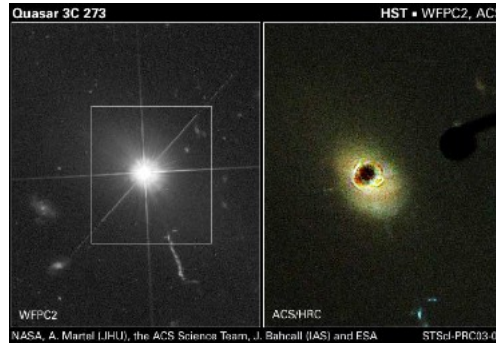
# Table des matières

<b>I</b>	<b>Observation de quasars : lunette méridienne et interférométrie à très longue base</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>Analyse d’observations de la lunette méridienne sur 15 années</b>	<b>6</b>
1.1	Le “méridien” de Bordeaux . . . . .	6
1.2	Analyse par une méthode graphique . . . . .	6
1.2.1	Variation des paramètres au cours du temps . . . . .	6
1.2.2	Les types d’erreurs . . . . .	7
1.3	Analyse par une méthode statistique . . . . .	7
1.3.1	Corrélation de Spearman et test de Student . . . . .	7
1.3.2	Estimation d’une densité Kernel à deux dimensions . . . . .	7
1.3.3	Analyse en composantes principales (ACP) . . . . .	7
1.4	Comportement commun à tous les quasars? . . . . .	8
1.4.1	Les 24 quasars . . . . .	8
1.4.2	Les quasars présentant un grand nombre d’observation . . . . .	8
1.4.3	Hypothèse proposée . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Analyse d’observations en interférométrie à très longue base (VLBI)</b>	<b>10</b>
2.1	L’interférométrie à très longue base . . . . .	10
2.2	Analyse des données VLBI . . . . .	11
2.2.1	Comparaison astrométrie/photométrie . . . . .	11
2.2.2	Corrélation entre les magnitudes des différentes fréquences en VLBI . . . . .	11
2.3	Liens entre domaine optique et domaine radio? . . . . .	11
2.3.1	Corrélation entre les magnitudes VLBA et méridienne . . . . .	11
2.3.2	Corrélation entre l’astrométrie et la photométrie du BVID avec celles du méridien . . . . .	11
2.4	Le quasar 0316+413 : B06 . . . . .	11
2.4.1	B06 présente beaucoup de corrélations . . . . .	11
2.4.2	La présence d’une étoile proche . . . . .	12
2.4.3	La corrélation entre les domaines radio et optique . . . . .	13
<b>II</b>	<b>Analyse d’observations pour différentes couleurs du domaine optique en présence de l’atmosphère</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>Analyse des caractéristiques des quasars et des étoiles issus du SDSS pour différentes bandes</b>	<b>14</b>
3.1	Le rayon petrosien . . . . .	14
3.2	La Magnitude . . . . .	15
3.3	Paramètres géométriques . . . . .	15
3.3.1	L’étude du demi grand axe . . . . .	15
3.3.2	L’étude du demi petit axe . . . . .	16
3.3.3	L’élongation de l’ellipse . . . . .	16
3.4	Le décalage vers le rouge . . . . .	16
<b>III</b>	<b>Observations depuis l’espace</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Hubble Space Telescope</b>	<b>18</b>
4.1	Images de « Post-Starburst Quasars » et d’amas globulaire . . . . .	18
4.2	Analyse photométrique des observations . . . . .	19

<b>5</b>	<b>L'étude de la densité de probabilité</b>	<b>19</b>
5.1	La morphologie des quasars « Post-Starburst » . . . . .	20
5.1.1	L'étude de la largeur à mi-hauteur : FWHM . . . . .	20
5.1.2	L'étude de la netteté : sharp . . . . .	20
5.1.3	L'étude du RMS : chi . . . . .	20
5.2	La Géométrie des quasars « Post-Starburst » . . . . .	22
5.2.1	L'étude du demi grand axe de l'ellipse : a . . . . .	22
5.2.2	L'étude du demi petit axe de l'ellipse : b . . . . .	22
5.2.3	L'étude de l'ellipticité : ellip . . . . .	23
<b>6</b>	<b>Interprétation</b>	<b>23</b>
<b>IV</b>	<b>Annexes</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>Figures</b>	<b>29</b>
<b>8</b>	<b>Tableaux : corrélation de Spearman</b>	<b>42</b>

## Introduction

En 1962, un astronome du nom de Cyril Hazard, s'intéresse aux radiosources. De nombreuses radiosources sont connues alors, mais on ne sait pas à quels objets visibles les associer. Hazard profite d'une série d'occultations de la radiosource 3C273 par la Lune pour en préciser la position. On a alors pu étudier le spectre de l'étoile à laquelle correspondait cette radiosource. Ce spectre se révéla très atypique. Ses raies d'absorption ne correspondaient à aucun élément chimique connu et il présentait également des raies d'émissions : chose jamais vue alors pour tout autre étoile. Un nom fut alors donné aux objets de ce type : Quasi Stellar Radio Sources, ou quasars.



Un an plus tard, Marteen Schmidt trouve une explication quant à ces raies d'émissions anormales. Si l'on décale l'ensemble du spectre on retrouve la position des raies de l'hydrogène. On a par suite trouvé une explication à ce décalage spectral. L'univers se trouvant en expansion, les objets qui nous entourent s'éloignent de nous, et ils s'éloignent d'autant plus vite qu'ils sont loin. Cette dilatation de l'espace provoque à son tour une dilatation des ondes et le décalage du spectre : c'est le décalage vers le rouge ou redshift (voir Annexe : Explications de quelques notions astronomiques). Ce redshift permet de nous donner une idée de la distance à laquelle se trouve les quasars et à quelle époque de l'Univers ils étaient présents. La plupart des quasars possèdent des décalages autour de 1.7 et très peu se trouvent sous la barre des 0.1. La distance qui nous sépare d'eux se révèle alors être cosmologique : pour le plus lointain découvert jusqu'à ce jour (ULAS J1120+0641), près de  $7.10^{21}$  km se trouvent entre nous et lui. Il en découle que le simple fait de les voir est incroyable. L'énergie qu'ils utilisent pour briller à ces distances est pharamineuse : entre  $10^{38}$  et  $10^{41}$  W soit  $10^{12}$  à  $10^{15}$  fois la puissance du Soleil. Une caractéristique remarquable des quasars est leur forte variabilité. Certains présentent une fluctuation en émissions de quelques jours voir moins. Cela en fait des objets ne dépassant pas la taille d'un jour lumière. Toutes ces considérations ont permis de déduire la nature des quasars. Ils seraient des trous noirs super massifs au cœur de galaxies hôtes. Ils se nourriraient des étoiles approchant de leur horizon. Des étoiles attirées par la gravité d'un trou noir, tomberaient en spirale vers ce dernier en se disposant en une sorte d'anneau dont le bord intérieur serait l'horizon du trou noir. En même temps que ce disque se forme, de la matière serait expulsée en deux jets perpendiculaires au disque, dans des directions opposées. La brillance serait alors mille fois supérieure à celle de la galaxie hôte pour une région ne représentant que cent millièmes de cette dernière. Mais les quasars ne sont pas les seuls objets à opérer au centre des galaxies. Ils font partie d'une catégorie plus grande : les cœurs galactiques actifs (active galactic nucleus ou AGN). La discrimination à l'intérieur de cette classe se fait en fonction de la présence ou non de jets et de la gamme de fréquence des objets. Mais selon les classifications, il peut y avoir des recouvrements ou exclusions de certains objets.

Aujourd'hui le cadre de référence céleste déterminé par le réseau Very Long Baseline Interferometry (VLBI) est construit à partir de près de 500 quasars. C'est un repère qui a été choisi sur le plan international pour déterminer la position de tous les objets du ciel à partir de ces objets de référence. D'ici 2013 sera lancée la mission Gaia par l'agence spatiale européenne (ESA). Cette mission dont l'objectif est déjà de cartographier une partie de notre galaxie en localisant et caractérisant près d'un milliard d'étoiles, travaillera sur un cadre de référence céleste qui lui est propre. Des études sont en cours pour déterminer quels quasars seraient candidats pour faire le lien entre le VLBI et Gaia. Ces quasars devront être aussi bien observables en optique pour Gaia, avoir un cœur compact pour les observations en VLBI et ils ne devront pas posséder de structures complexes pour ne pas fausser les mesures astrométriques. De ce travail naissent de nombreuses questions. Parmi elles, l'objectif moteur de notre stage : la structure des quasars sera-t-elle ponctuelle pour les observations de Gaia ? Pour cela nous avons comparé trois bases de données en optique. Le télescope « méridien » de l'observatoire de Bordeaux, le Sloan Digital Sky Survey (SDSS) et le Hubble Space Telescope (HST). Ce dernier a été notre plus proche outil de comparaison avec Gaia, compte tenu du fait que ces observations ont été faites depuis l'espace. Il nous a fallu savoir comment, selon ces différentes bases de données, les paramètres astrométriques et photométriques des quasars étaient mesurés et savoir si et comment ces paramètres interagissaient entre eux.

## Première partie

# Observation de quasars : lunette méridienne et interférométrie à très longue base

Le but de nos analyses est de rechercher d'éventuelles corrélations entre les variations astrométriques et photométriques de quasars. Pour cela, on s'intéresse dans un premier temps aux données méridiennes dans l'optique de l'observatoire de Bordeaux que l'on compare ensuite à des données en VLBI dans le domaine radio.

## 1 Analyse d'observations de la lunette méridienne sur 15 années

### 1.1 Le "méridien" de Bordeaux

Le méridien est une lunette méridienne construite en 1880 et qui s'est modernisée avec le temps. Il permet une étude du ciel dans le plan du méridien. Il est automatisé, fixe et possède un détecteur CCD (capteur photographique) ce qui permet une bonne stabilité. En effet, une fois la position fixée, seul le ciel défile en ascension droite, on obtient une image sous forme de bande. On peut ainsi obtenir les magnitudes (voir Annexe : Explications de quelques notions astronomiques page 24) et les positions de différents objets. Ces mesures sont effectuées dans le domaine optique mais malheureusement on ne peut avoir une image nette dans le rouge et dans le bleu à la fois par exemple. Par conséquent, un filtre vert a été placé. Dans le modèle utilisé, on garde en tête que la magnitude et sa précision (voir Figure 7.1 en Annexe page 29), qui sont liées aux nombres d'observations, dépendent de la déclinaison (plus précisément de la hauteur de l'objet dans la bande image). La précision du méridien est de 60 milliarcsec (mas).

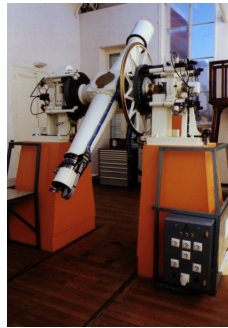


FIGURE 1.1 – Le méridien

### 1.2 Analyse par une méthode graphique

#### 1.2.1 Variation des paramètres au cours du temps

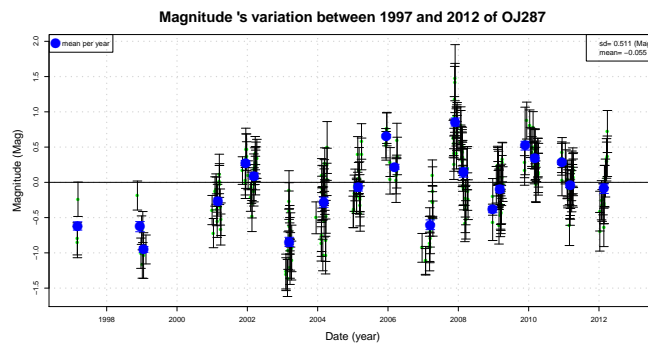


FIGURE 1.2 – Exemple de courbe obtenue pour le quasar OJ287

Notre étude porte sur 24 quasars que le méridien a observé au cours de ces 15 dernières années. Nous nous intéressons aux variations de la déclinaison, de l'ascension droite et de la magnitude pour chaque objet. Pour cela, on ramène toutes nos variations pour chacun des paramètres autour de zéro. En astronomie, deux types de mesures essentielles sont utilisés : l'astrométrie qui correspond à la mesure de la position d'un objet et la photométrie qui correspond à la mesure de son flux lumineux. Afin de visualiser graphiquement une tendance possible astrométrique et ou photométrique des quasars, on a d'abord effectué un filtrage récurrent à  $3\sigma$ <sup>1</sup> par année que l'on a amélioré en l'effectuant semestriellement. On a ensuite remplacé la moyenne par une moyenne pondérée et fait de même pour l'écart-type.

### 1.2.2 Les types d'erreurs

Deux types d'erreurs ont lieu lors de la récupération des données : un premier type d'erreur provient de la nuit<sup>2</sup> (liée au nombre N d'étoiles en présence sur l'image) et un second provient de l'ajustement de la tâche de diffraction par une gaussienne de révolution. Après visualisation, il ne semble pas y avoir de corrélation entre ces deux sources d'erreurs. On remarque que pour la majorité des observations effectuées (voir l'exemple en Annexe page 29 : Figure 7.2) l'ajustement par une gaussienne demeure pertinente (erreur faible).

## 1.3 Analyse par une méthode statistique

### 1.3.1 Corrélation de Spearman et test de Student

On souhaite déterminer le coefficient de corrélation entre les différents paramètres. Pour cela, on calcul deux types de coefficient : un premier résultant de la corrélation de Pearson et un second de celle de Spearman. La corrélation de Spearman (voir Annexes : Tests Statistiques pages 26-27) se base sur le fait que les deux variables ne sont pas corrélées de manière affine comme c'est le cas pour la corrélation de Pearson : on s'intéresse ici à des corrélations monotones. C'est la corrélation de Spearman qui est retenue dans notre étude. Une fois le coefficient de corrélation obtenu, on lui affecte une validité significative par un test de Student. Celui-ci indique si les deux variables sont dépendantes l'une de l'autre et permet de donner un certain poids à la corrélation de Spearman puisqu'il fait appel au nombre de degré de liberté (nombre d'observations). En effectuant une corrélation entre les 3 paramètres étudiés deux à deux, 7 quasars sont retenus : 2 quasars présentent une corrélation entre déclinaison et ascension droite, 2 entre ascension droite et magnitude et 4 entre déclinaison et magnitude (voir Annexe : Table 8.1).

### 1.3.2 Estimation d'une densité Kernel à deux dimensions

Comme nos graphiques présentent un nombre de points conséquent pour la plupart des quasars, nous avons effectué, pour avoir une visualisation différente, une représentation de la densité des points en 2D sous forme d'image. La fonction utilisée assimile à chaque point une gaussienne d'aire égale à 1. Ainsi lorsque ces gaussiennes se chevauchent, la densité est augmentée. On a normalisé les variables étudiées de façon à obtenir une même échelle de référence. Sur l'image (Figure 1.3), la graduation de la densité est donnée par une graduation en couleur auquel on ajoute les lignes de contours des densités. Si l'image semble circulaire, on a pas de liens visuels entre les deux variables. En revanche, si on voit apparaître deux pôles par exemple, un lien est peut-être mis en évidence.

### 1.3.3 Analyse en composantes principales (ACP)

On effectue une analyse en composantes principales (voir Annexe : Tests statistiques pages 27-28) sur nos paramètres étudiés tels que la date, la magnitude, l'ascension droite et la déclinaison afin de rechercher un apport d'information visant à consolider ou non nos corrélations. A l'aide d'un histogramme, on détermine les composantes principales qui sont suffisantes pour contenir l'information du nuage de points (au-dessus de 90% en proportion de variance cumulée). On retient que 4 de nos quasars ont cette propriété : B06,B11,B14,B28 (voir Annexe : Les différentes nomenclatures des quasars page 25). On visualise ensuite graphiquement une éventuelle corrélation entre nos paramètres (il faut regarder la colinéarité et le sens de deux vecteurs dans chacun des plan (PC<sub>i</sub>,PC<sub>j</sub>)).

---

1. on détermine pour chaque année la moyenne et l'écart-type des observations puis on retire celles présentant un écart de la moyenne plus grand que  $3\sigma$ , processus que l'on réitère

2.  $erreur = \frac{\sqrt{\sum Res^2}}{N-1}$  où Res est le résidu issu d'un modèle de régression pour chaque étoile

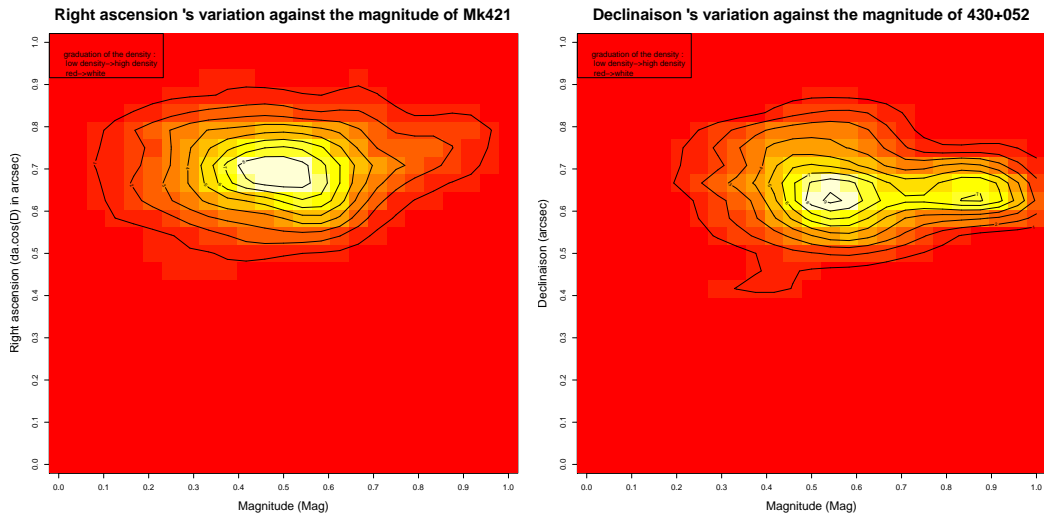


FIGURE 1.3 – Images obtenues pour deux quasars (graduation croissante de la densité : rouge vers le blanc)

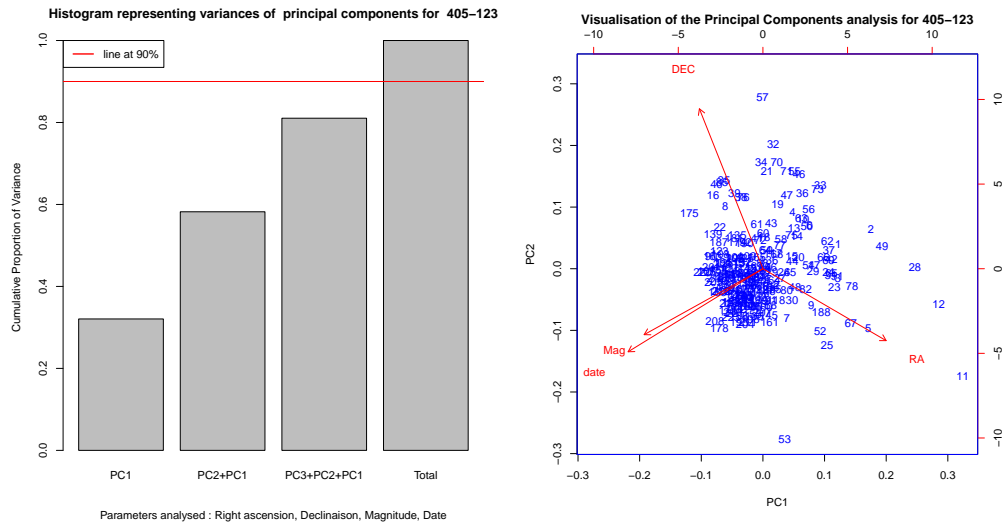


FIGURE 1.4 – Exemple d'analyse en composantes principales

## 1.4 Comportement commun à tous les quasars ?

### 1.4.1 Les 24 quasars

Afin de vérifier que nos quasars ne sont pas soumis à une même source de variation, on regroupe leurs observations et on effectue une étude comme s'il s'agissait d'un unique quasar. On constate qu'une variation commune notable (en considérant les barres d'erreur statistiques) est mise en évidence pour la déclinaison (Figure 1.5) surtout entre 2004 et 2006 ainsi que pour la magnitude (Figure 1.6). L'ascension droite semble, elle, moins affectée (voir en Annexe : Figure 7.3 page 30).

### 1.4.2 Les quasars présentant un grand nombre d'observation

Le nombre d'observations faites sur chacun des quasars fluctue de telle sorte que certains peuvent présenter 2 à 3 fois plus d'observations que d'autres. Après avoir constaté cette variation commune, on cherche à savoir si ce comportement est réellement commun à tous les quasars ou s'il est influencé en grande partie par les plus gros contributeurs. On sélectionne ainsi les 4 quasars (B31, B40, B42, Mk421) les plus observés que l'on retire



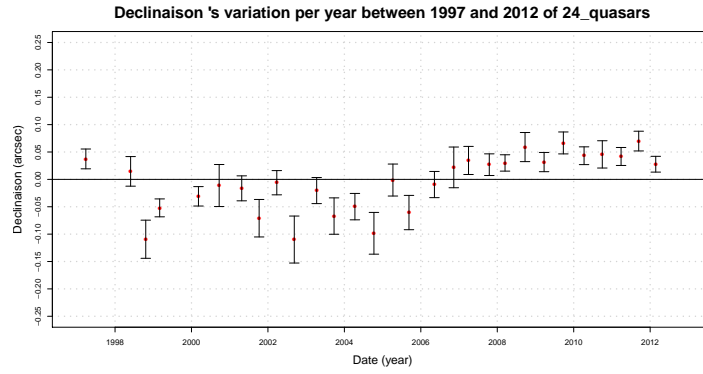


FIGURE 1.5 – Variations de la déclinaison au cours du temps

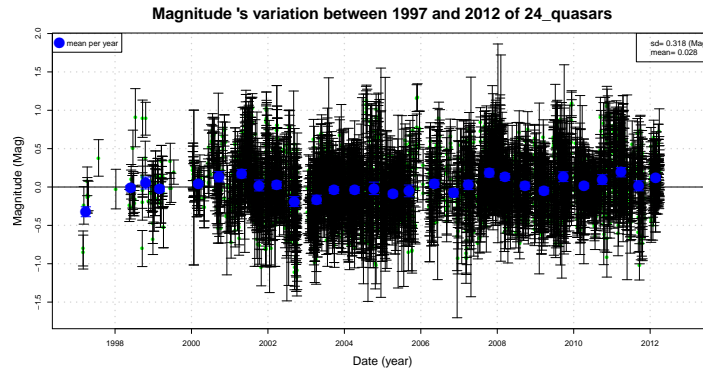


FIGURE 1.6 – Variation de la magnitude au cours du temps

de notre étude, ceux-ci représentent à eux seuls 30% de nos points. Si l'on regarde les moyennes semestrielles, hormis 2-3 points qui diffèrent, les 20 quasars restant semblent suivre la même tendance que les 24 réunis (voir en Annexe : Figure 7.4 page 30). Ainsi, on peut conclure qu'une variation commune aux quasars étudiés est détectée en déclinaison et en magnitude.

### 1.4.3 Hypothèse proposée

On privilégie l'idée d'un phénomène instrumental. La magnitude limite d'un objet issue de la lunette méridienne varie avec la déclinaison ce qui exprimerait un faible lien instrumental entre les variations en magnitude et celles en déclinaison. En effet le méridien observe le ciel selon une bande longue en ascension droite et étroite en déclinaison. Le fait est que la sphère céleste tourne, et les objets présents sur l'équateur céleste tournent plus vite que les objets plus hauts en déclinaison. Cela implique que le temps de pose de l'appareil sera plus long pour les objets avec une forte déclinaison en valeur absolue. Ainsi la magnitude limite sera plus importante pour ces objets car ils auront bénéficié d'un plus long temps de pose. L'étude du comportement des étoiles situées dans le même champ d'observation que nos quasars, effectuée par Jean-François Le Campion, nous a montré une variation commune importante en déclinaison entre les années 2004 et 2006. Ainsi, le problème instrumental est bien mis en évidence. L'hypothèse alors émise est que la variation observée serait une conséquence d'un phénomène de givre, de rosée ou de buée déposé sur le hublot qui est fixé au niveau du compartiment contenant le capteur CCD (comme le montre le schéma ci-dessous). Le fait que l'on constate une forte variation entre 2004 et 2006 serait peut-être lié à un fort taux d'humidité durant cette période. Ce problème fut résolu en juin 2007 avec l'installation d'une bande chauffante. Les plus faibles variations observées, sûrement liées à l'instrument, ne seraient pas pertinentes vu la précision du méridien (60 mas) et les barres d'erreur sur chaque observation.

Au terme de cette analyse, avec les seules données du Meridien, nous n'avons pu mettre en évidence quelque chose de significatif. On tente alors d'effectuer une comparaison entre domaine optique et domaine radio.

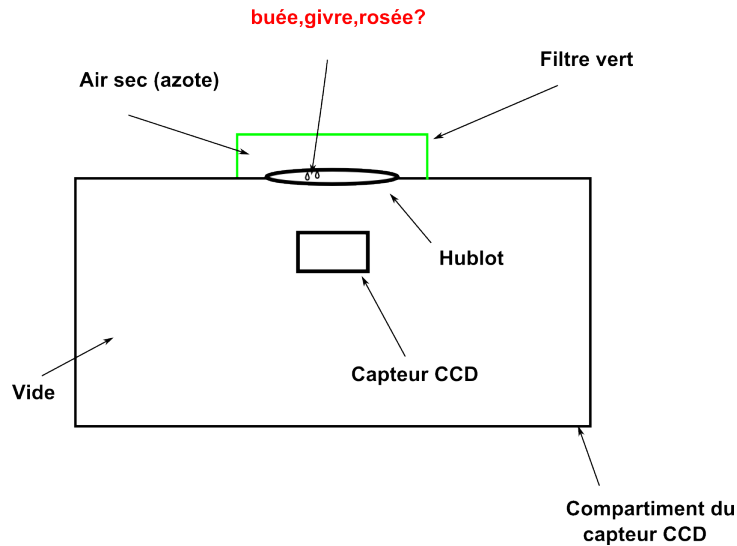


FIGURE 1.7 – Schéma du dispositif avec le détecteur CCD

## 2 Analyse d’observations en interférométrie à très longue base (VLBI)

### 2.1 L’interférométrie à très longue base

En astronomie, la résolution angulaire  $\theta$  d’une unique antenne est reliée à la longueur d’onde étudiée  $\lambda$  et au diamètre de l’antenne  $D$  :

$$\theta \propto \frac{\lambda}{D}$$

Ainsi, pour avoir une résolution plus fine on doit minimiser la longueur d’onde ou augmenter le diamètre. Malheureusement, on est limité dans la taille du diamètre de l’antenne. Cela justifie l’utilisation de l’interférométrie à plusieurs antennes. Pour deux antennes par exemple séparées d’une distance  $B$ , la résolution angulaire sera donnée par :

$$\theta \propto \frac{\lambda}{B}$$

Les signaux des deux antennes devront alors être corrélés pour voir quand on a similarité, d’où l’obligation d’horloges et de systèmes d’acquisition précis. L’utilisation d’un plus grand nombre d’antennes permet alors d’affiner cette corrélation. La distance entre les antennes de réseaux VLBI est actuellement comprise entre 1000 et 12000km, ce qui nous donne une résolution angulaire autour de 1 mas. Le ICRF (International Celestial Reference Frame voir Annexe : Explications de quelques notions astronomiques page 25) possède plus de 3000 sources et à une précision meilleure que  $60 \mu as$ . Les données que l’on récupère dans notre étude proviennent d’une part du BVID (Bordeaux VLBI Image Database) et d’autre part du VLBA (Very Long Base Array) qui est un réseau VLBI américain.



FIGURE 2.1 – Réseau VLA au Nouveau-Mexique

## 2.2 Analyse des données VLBI

Dans le but d'effectuer une comparaison avec les données du méridien, on a recherché les quasars présents dans les données du méridien et en VLBI et qui comportent assez d'observations pour pouvoir être étudiés. On en a retenu 7 provenant du BVID (B11,B17,B21,B25,B27,B28,Mk421) observés en VLBI\_X (8,4 GHz) et en VLBI\_S (2,3 GHz) dont 3 seulement font partie de nos 24 et 10 provenant du VLBA (B01,B04,B06,B08,B20,B28,B30,B31,B32,B33) observés à la fréquence de 15 GHz.

### 2.2.1 Comparaison astrométrie/photométrie

Puisque l'on a les données astrométriques du BVID, on s'intéresse à une corrélation possible entre l'astrométrie et la photométrie entre les moyennes semestrielles. On relève alors, en faisant une étude similaire qu'avec le méridien (graphique et statistique), 4 quasars sur les 7 qui présentent des corrélations : 2 entre la déclinaison (Dec) et l'ascension droite (RA), 1 entre RA et VLBI\_X, 1 entre RA et VLBI\_S (le même quasar), 2 entre Dec et VLBI\_X et 1 entre Dec et VLBI\_S (voir Annexe : Table 8.2 page 43).

### 2.2.2 Corrélation entre les magnitudes des différentes fréquences en VLBI

Le seul quasar commun aux données récupérées du BVID et en VLBA est B28, et elles ne semblent pas présenter de corrélation significative entre elles (voir Annexe : Table 8.3). En revanche, des corrélations apparaissent entre les magnitudes VLBI\_X et VLBI\_S : 4 quasars (B11,Mk421,B25,B28) parmi les 7 présentent des corrélations (voir Annexe : Table 8.3 page 43). Une question s'est alors posée : s'agirait-il d'un lien provenant de la nature de ces quasars? Or on constate que les 4 qui sont corrélés suivant les deux magnitudes sont soit des Blazars soit des BL Lac. Dans les non corrélés nous avons : un quasar, une galaxie Seyfert 1 et des galaxies en interactions. Ainsi en regardant les caractéristiques, les Blazars et BL Lac avaient en commun par exemple une émission en infrarouge lointain (voir Annexe : Une classification des coeurs actifs galactiques page 26) que les autres n'avaient pas. Mais on ne peut conclure sur la possibilité d'un phénomène établi avec 7 quasars seulement. Une étude statistique a alors été effectuée par Géraldine Bourda sur les corrélations de 500 quasars différents puis avec seulement les Blazars et BL Lac (voir Annexe : Figure 7.5 page 31). Celle-ci ne révèle pas de corrélation commune entre les flux de VLBI\_X et de VLBI\_S pour les Blazars et BL Lac.

## 2.3 Liens entre domaine optique et domaine radio ?

### 2.3.1 Corrélation entre les magnitudes VLBA et méridienne

Après avoir effectué les moyennes semestrielles de nos observations, on analyse la corrélation entre les données issues du VLBA et celles du méridien de nos 10 quasars. On constate alors que seul un quasar, B06 (voir Annexe : Figure 7.6 page 31), présente une anti-corrélation (corrélation flux-magnitude mais anti-corrélation de même valeur absolue magnitude- magnitude) significative même très marquée, en effet, le risque d'erreur donné par le test de Student est de 5/10000 (voir Annexe : Table 8.4 page 44).

### 2.3.2 Corrélation entre l'astrométrie et la photométrie du BVID avec celles du méridien

On effectue de même les moyennes semestrielles sur nos observations, on fait un test de corrélation de Spearman puis une analyse graphique sur les magnitudes et les coordonnées astrométriques issues du BVID et du méridien de nos 3 quasars. On remarque alors que seul le quasar B28 présente une corrélation significative : d'une part astrométrique en ascension droite et d'autre part photométrique entre la magnitude méridienne et la magnitude VLBI\_X plus particulièrement (voir Annexe : Table 8.5 et Table 8.6 page 44).

## 2.4 Le quasar 0316+413 : B06

### 2.4.1 B06 présente beaucoup de corrélations

Bien qu'un certain nombre de nos quasars semblent intéressants à étudier de part leur corrélation obtenue pour certains de leurs paramètres, le quasar B06 ressort pleinement de lot. En effet, il présente des corrélations assez élevées et bien significatives (risque d'erreur de 1/1000) entre chaque paramètre astrométrique et ou photométrique issu du méridien (voir Annexe : Table 8.1 43). De plus, on vérifie graphiquement ces corrélations. On visualise sur les images de densité la présence de deux poles à chaque fois (voir Annexe : Figure 7.7 page 32) et on rappelle qu'il possédait une propriété intéressante avec l'analyse en composantes principales (voir Annexe : Figure 7.8 page 33).

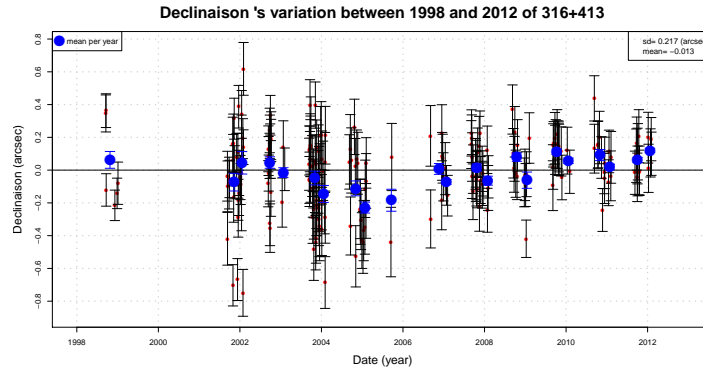


FIGURE 2.2 – Variation de la déclinaison du B06 au cours du temps

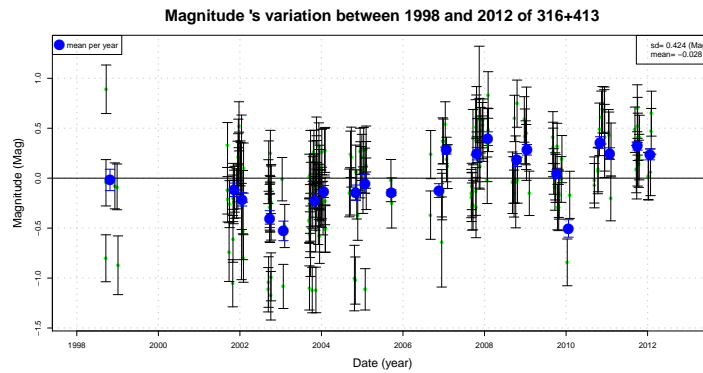


FIGURE 2.3 – Variation de la magnitude du B06 au cours du temps

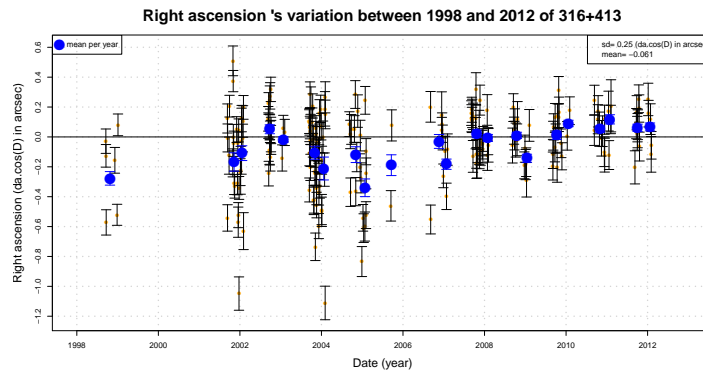


FIGURE 2.4 – Variation de l'ascension droite du B06 au cours du temps

## 2.4.2 La présence d'une étoile proche

Après avoir constaté ces variations notables des données astrométriques et photométriques du quasar B06, nos encadrants ont effectué une recherche d'image du quasar sur le catalogue du SDSS (Sloan Digital Sky Survey voir Annexe : Explications de quelques notions astronomiques page 25). Avec surprise, il s'est avéré qu'une étoile était positionnée très proche de notre quasar. Nous avons alors effectué cette même recherche d'image pour chaque quasar présentant des corrélations significatives. La présence d'une étoile proche dont la position varie légèrement et périodiquement peut faire varier le photocentre lors de la détection du quasar et être à l'origine des variations observées. La détection du méridien est telle qu'un pixel équivaut à 1,5 arcsec. On peut donc se permettre de penser qu'au dessus d'environ 5 arcsec (environ 3 pixels), le méridien relève correctement (sans pollution) les paramètres

de l'objet. Or notre étoile (petit carré rouge sur la Figure 2.5) se situe sur le catalogue à une distance de 6,3 arcsec de notre quasar (réticule violet). Est-ce que la présence de l'étoile influe vraiment sur la photométrie et l'astrométrie méridiennes du quasar ?

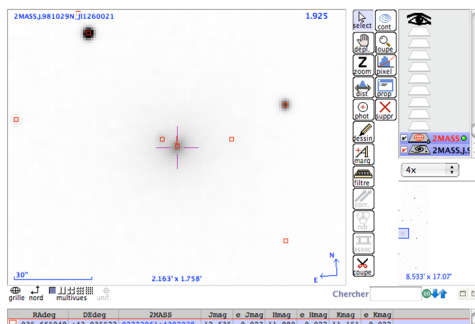


FIGURE 2.5 – Image du quasar B06

### 2.4.3 La corrélation entre les domaines radio et optique

Nous avons vu que le quasar B06 était le seul à ressortir d'une corrélation faite entre les magnitudes du méridien et du VLBA. Cette anti-corrélation très forte et bien significative ne peut pas être remise en cause par la présence de l'étoile proche vu que la précision de détection du VLBA est bien supérieure à celle du méridien. Ainsi, le quasar 316+413 serait un bon candidat pour une étude plus avancée d'autant plus que les analyses photométrique et astrométrique ne doivent normalement pas être perturbées par l'étoile et sont donc pertinentes.

**Conclusion** A travers cette analyse du domaine optique avec la lunette méridienne et celle du domaine radio en VLBI, on a ainsi mis en évidence que des corrélations apparaissaient entre l'astrométrie et la photométrie de certains quasars (25% en optique et la moitié en radio sur les quasars étudiés). Une corrélation forte est de plus remarquée entre les flux de fréquences proches (8,4GHz et 2,3 GHz). Une corrélation photométrique ou astrométrique entre domaine optique et radio semble moins évidente bien que les quasars B28 et B06 semblent présenter cette propriété. Une étude plus avancée du quasar B06 semblerait être très intéressante vu les caractéristiques qu'il présente.

Le satellite Gaia mesurera essentiellement dans le domaine optique. Par conséquent, après cette étude entre astrométrie et photométrie, il faudrait se pencher sur la structure optique des quasars. La comparaison entre la morphologie des quasars avec celle des étoiles viendrait renforcer cette future analyse.

## Deuxième partie

# Analyse d'observations pour différentes couleurs du domaine optique en présence de l'atmosphère

**Le Sloan Digital Sky Survey** Nous avons utilisé un catalogue représentant une partie de la septième version d'analyses des données faites par le Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Le SDSS a été spécialement conçu pour la recherche de quasars, en 1998 il avait trouvé 26 des 30 plus distants quasars jamais vus. A la fin de son activité, les astronomes du SDSS s'attendent à recenser près de 100 000 quasars. Nous avons eu accès à lui par le biais du Centre de Données astronomique de Strasbourg (CDS). Grâce à lui nous avons pu étudier une liste de près de 2 000 000 d'objets regroupant des étoiles et 8786 quasars. Pour des raisons de commodités nous avons choisi aléatoirement, seulement 19806 de ces objets (mêlant étoiles et quasars) pour les comparer aux 8786 quasars. Les observations du SDSS ont permis de nous renseigner à propos de paramètres pour cinq bandes de longueurs d'ondes différentes : u, g, r, i et z. Ce tableau nous donne exactement leur étendue :

La magnitude GAIA, but originel de ce rapport, est obtenue grâce à la magnitude de la bande g et i selon cette équation :

$$G = -0,009 - 0,5310(g - i) - 0,1042(g - i)^2 + 0,0068(g - i)^3$$

(nm)	u	g	r	i	z
$\lambda$	354,3	477,0	623,1	762,5	913,4
FWHM	56,7	138,7	137,3	152,6	95,0

TABLE 2.1 – Longueurs d’ondes investiguées par le SDSS

Les paramètres concernés pour chacune de ces bandes sont : la magnitude de l’objet, son rayon petrosien, le demi grand axe de l’ellipse et le demi petit axe de l’ellipse. A partir des deux derniers paramètres nous avons déduit l’élongation. Pour les quasars nous avons un paramètre en plus, le décalage vers le rouge, nous nous étendrons sur ce point plus loin.

### 3 Analyse des caractéristiques des quasars et des étoiles issus du SDSS pour différentes bandes

#### 3.1 Le rayon petrosien

Le rayon petrosien (voir Annexe : Explications de quelques notions astronomiques page 24) permet aux chercheurs travaillant sur ces données de vérifier que pour chaque bande l’ouverture mesurant le flux est différente. Malgré tout ce rayon est difficile à obtenir, en effet, certains objets peuvent ne présenter aucun rayon petrosien voir en posséder plusieurs. Nous avons alors calculé la densité de probabilité de ces rayons pour la population des quasars ainsi que pour celle des étoiles.

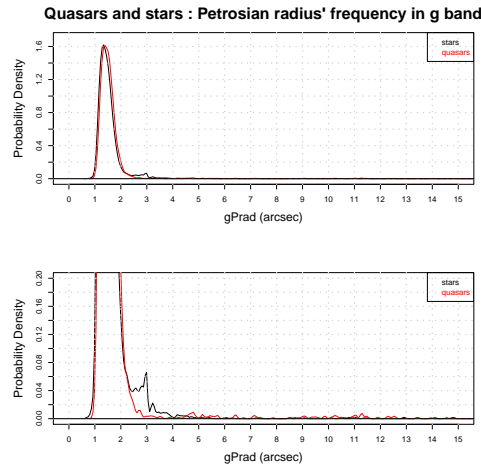


FIGURE 3.1 – Densité de probabilité du rayon petrosien pour la bande g (quasars en rouge, étoiles en noir)

Sur nos mesures, nous avons détecté que la population des quasars possédait toujours un rayon petrosien légèrement supérieur (3%) à la population des étoiles et cela dans toutes les bandes (voir Annexe : Figures 7.9 et 7.10 pages 33-34). Cette différence serait due au léger étalement ou à la répartition non radiale de la luminosité pour les quasars. Nous pouvons suggérer une hypothèse d’après la description des quasars que nous avons faite dans l’introduction, mais nous allons essayer d’étendre notre étude afin d’assoir cette idée.

A partir de l’étude de densité de probabilité de toutes les bandes comparées (voir Annexe : Figure 7.11 page 34) nous avons remarqué que de petits sursauts de densité avaient lieu pour de grandes valeurs de rayon petrosien. Nous avons alors comparé ce dernier avec d’autres paramètres pour en déterminer la cause. C’est l’évolution du rayon petrosien en fonction de la magnitude (Figure 3.2) qui nous a montré un comportement singulier à partir de hautes magnitudes. Il apparaît non pas des distributions étalées de rayons petrosiens mais des répartitions discrètes de ces derniers. Il se pourrait qu’à partir de hautes magnitudes, les instruments du SDSS ne soient plus capables de définir le rayon petrosien des objets (pour les autres bandes voir Annexe : Figures 7.12 et 7.13 pages 35-36).

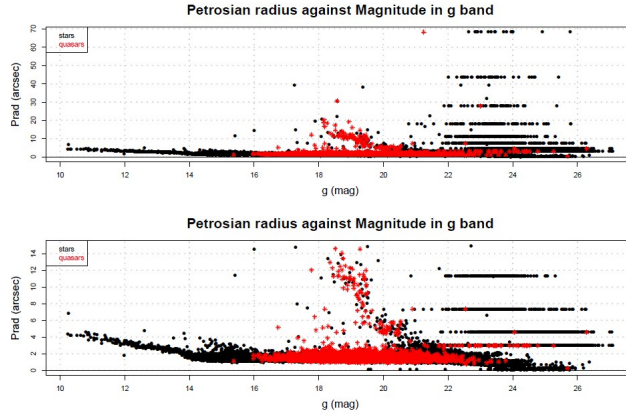


FIGURE 3.2 – Variation du rayon petrosien avec la magnitude pour la bande g (quasars en rouge, étoiles en noir)

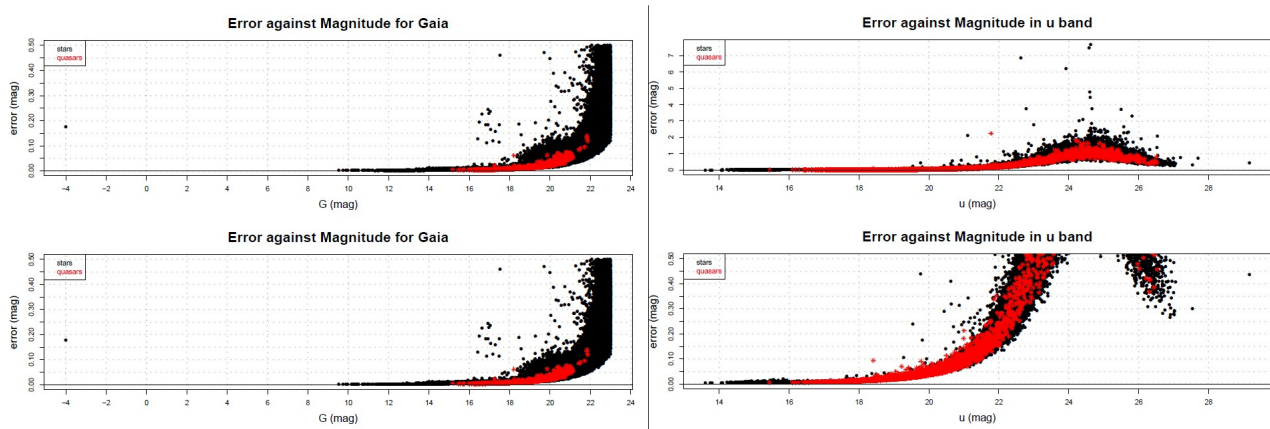


FIGURE 3.3 – erreur de magnitude en fonction de la magnitude pour GAIA et la bande u

## 3.2 La Magnitude

Nous n'avons pas noté de comportement différent notable en magnitude (voir Annexe : Explications de quelques notions astronomiques page 24) entre les quasars et les étoiles. Néanmoins nous avons trouvé un comportement anormal de l'erreur de la magnitude : alors qu'elle augmentent rapidement, cette erreur va soudain décroître à partir d'une certaine magnitude en fonction de la bande associée. Nous avons estimé que les objets au-delà de cette magnitude limite ne présentaient pas une erreur de mesure exploitable. De plus beaucoup d'objets présentent des erreurs de magnitude au-delà de 0.5 pour des magnitudes élevées : il y aurait donc dans le catalogue du SDSS des objets dont la mesure de magnitude est ardue. Le satellite GAIA ne peut détecter des objets qu'à 21 de magnitude maximale. Nous nous sommes donc limités pour la représentation de la magnitude GAIA à la limite de 23 en magnitude, pour se donner une certaine marge, ainsi qu'à 0.5 d'erreur sur ces mesures.

## 3.3 Paramètres géométriques

### 3.3.1 L'étude du demi grand axe

Puisque le but de notre analyse est de déterminer si les quasars présentent des différences morphologiques avec les étoiles, nous étudions maintenant le demi grand axe de l'ellipse. On s'aperçoit alors qu'une légère différence est mise en évidence selon les longueurs d'ondes d'observation : les quasars ont un demi grand axe en moyenne plus important que celui des étoiles de 1 à 5 arcsecs ( bandes u, r, i, z en Annexe : Figures 7.16 à 7.19 pages 37-38).

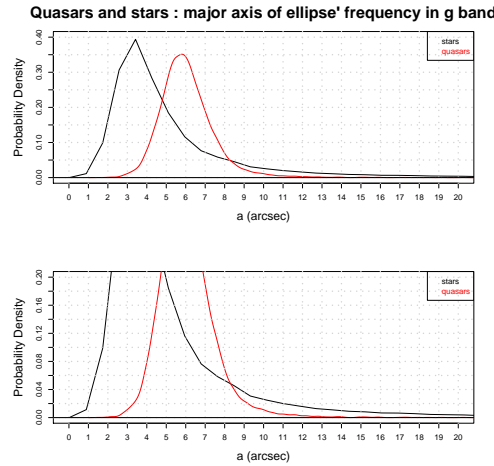


FIGURE 3.4 – Densité de probabilité du demi grand axe pour la bande g

### 3.3.2 L'étude du demi petit axe

Nous nous intéressons désormais au demi petit axe, toujours dans différentes bandes. De même, nous constatons une faible différence entre quasars et étoiles : les quasars ont un demi petit axe en moyenne plus grand que celui des étoiles de moins de 1 arcsec à 3 arcsecs ( bandes u, r, i, z en Annexe : Figures 7.20 à 7.23 pages 39-40).

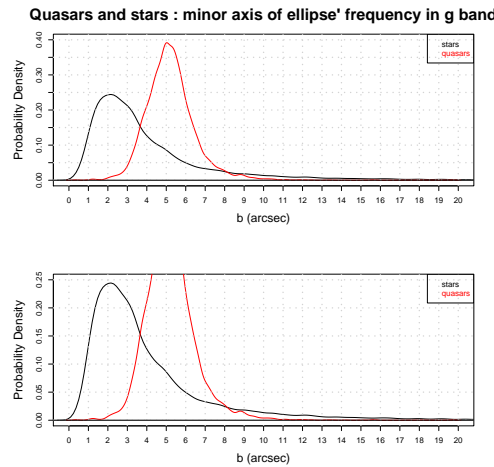


FIGURE 3.5 – Densité de probabilité du demi petit axe pour la bande g

### 3.3.3 L'élongation de l'ellipse

Elle est calculée comme le rapport entre le demi grand axe sur le demi petit axe de l'ellipse qui décrit les isophotes. Ces isophotes sont les surfaces d'égaux distributions lumineuses. Nous n'avons pu obtenir que des bonnes densités de probabilité pour les bandes g, r et i (bande r et i en Annexe : Figures 7.24 et 7.25 page 41).

Ces répartitions nous montrent que l'élongation des quasars est généralement supérieure à celle des étoiles. De plus cet écart augmente avec la longueur d'onde. Nous savons par ailleurs que plus on se déplace vers le rouge et mieux nous percevons la galaxie hôte d'un quasar. On se souvient alors de notre paragraphe concernant le rayon petrosien et nous nous approchons de la conclusion.

## 3.4 Le décalage vers le rouge

Dans un registre différent mais indissociable du nôtre, nous avons fait une observation sur le décalage vers le rouge des quasars. Ce décalage, comme définit en introduction, est dû à la dilatation des longueurs d'ondes



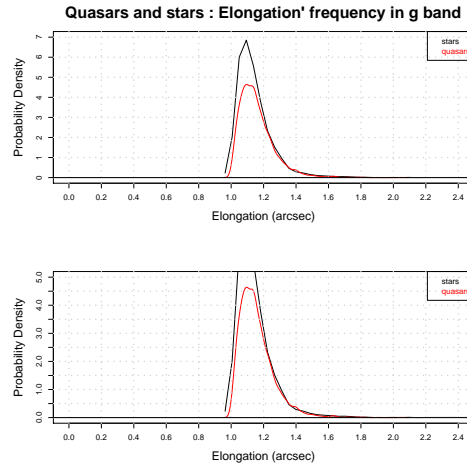


FIGURE 3.6 – Densité de probabilité de l'élongation pour la bande g (quasars en rouge, étoiles en noirs)

provoquée par l'expansion de l'univers. A partir de ce décalage vers le rouge, on a alors une idée de l'âge de l'objet observé (ainsi que de constantes qui ont changé au cours du temps selon les conventions). Nous avons alors l'étude de la densité de probabilité du décalage vers le rouge pour les quasars.

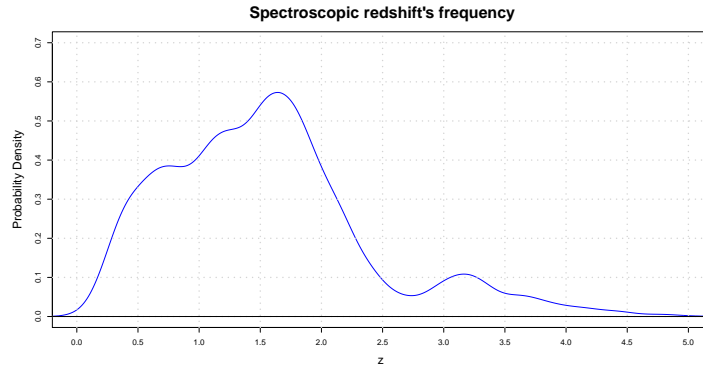


FIGURE 3.7 – Densité de probabilité du décalage vers le rouge pour les quasars

On pourrait observer par le biais de ce graphique l'évolution au cours du temps de la population de quasars. Cette distribution serait cohérente avec notre description : de 1 à 2 de redshift les quasars ont connu leurs heures de gloire puis ont disparu aussi rapidement qu'ils sont apparus. Ils ne seraient aujourd'hui que des trous noirs « secs », ne pouvant absorber d'étoiles proches qu'à l'occasion d'une rencontre avec une autre galaxie, instant rendu difficile par l'expansion de l'univers. Nous avons tout de même du mal à expliquer cette baisse de population à 2.7 de redshift, si ce n'était dû seulement qu'à une difficulté d'observation de ces objets, pourquoi détectons-nous d'autres quasars à des redshift de 3.2? Nous ne nous lancerons pas ici dans de plus audacieuses hypothèses cosmologiques. Disons tout de même que le plus distant quasar détecté possède un redshift de 7.1, cela représente un univers âgé de 770 millions d'années. On estime que dans tout le ciel il y a 100 quasars avec un redshift supérieur à 7.

**Conclusion** A la fin de nos exploitations il nous apparait que les quasars et les étoiles pourraient se différencier sur leur rayon petrosien, leurs demis grand et petit axes et leur élongation. Mais ce sont des observations faites à partir de la surface terrestre, notre ambition est de savoir si Gaia, télescope spatial, pourra distinguer et bien mesurer ces quasars. Nous nous doutons que l'atmosphère va modifier les observations selon la longueur d'onde. A noter pour plus tard que plus on se place vers les infrarouges et mieux on observe la galaxie hôte des quasars. Si nous voulons avoir une idée du comportement d'un télescope en orbite il nous faut un autre point de comparaison. C'est ce que nous allons faire dans la partie suivante de ce rapport en gardant en mémoire les hypothèses que nous avons introduites jusqu'ici.

## Troisième partie

# Observations depuis l'espace

## 4 Hubble Space Telescope

### 4.1 Images de « Post-Starburst Quasars » et d'amas globulaire

Le Hubble Space Telescope, ou HST comme nous l'appellerons par la suite, lancé en 1990 par la NASA, est une solution trouvée par la communauté scientifique pour contrer l'épineux problème que représente l'atmosphère quand l'on veut entreprendre des observations astronomiques. Dans la suite de notre étude, c'est sur des données recueillies par ce télescope que nous avons travaillé. Ces informations devaient être exemptes d'erreurs dues à la distorsion de la lumière et à l'absorption voir l'occultation de certaines longueurs d'onde par l'atmosphère. Orbitant à 569 km au-dessus de nous, le HST prend des clichés de portion de la sphère céleste. Nous avons sélectionné un cliché où nous pouvions observer à la fois des quasars et des étoiles. Il est issu de l'article « Hubble Space Telescope Imaging of Post-starburst Quasars »<sup>3</sup> rédigé par l'équipe de Michael Brotherton, Université du Wyoming.

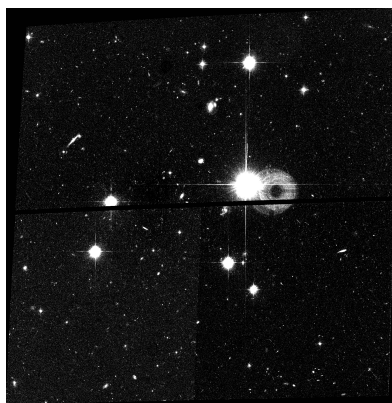


FIGURE 4.1 – Image de Post-starburst Quasars prise par le Hubble Space Telescope

Dans la suite de notre rapport, les graphiques se rattachant à cette photographie seront annotés quasars' field.

Pour parfaire notre étude nous avons également choisi un cliché ne représentant qu'un champ d'étoiles, cela afin de confirmer la justesse de notre démarche : les étoiles des deux photos devraient partager un comportement similaire. Cette image jouera donc le rôle de « groupe témoin ».



FIGURE 4.2 – Amas globulaire M15 pris par le Hubble Space Telescope

Dans la suite de notre rapport, les graphiques relatifs à cette image seront annotés stars' field.

Il est important de savoir quelles longueurs d'onde sont ici étudiées. Parmi les différents spectrographes et caméras qui équipent le HST c'est l'Advanced Camera for Surveys (ACS voir Annexe : Explications de quelques

3. Voir section Bibliographie : «Hubble Space Telescope Imaging of Post-starburst Quasars»

notions astronomiques page 25) qui a été choisi lors de cette étude. De plus l'ACS se compose d'un trio de caméras : la wide field camera, la high-resolution camera, et la solar blind camera. C'est la wide field camera affectée du filtre F606W à -77°C qui a pris cette photographie. Cela nous donne ses limites en longueurs d'ondes transmises : de 463.4 nm à 781.0 nm<sup>4</sup>. Cette étude a été faite afin d'étudier des objets apparus très tôt dans l'univers, c'est pour cela que cet intervalle de longueurs d'ondes a été choisi. En effet, rappelons que le spectre d'un quasar, à l'inverse des étoiles, n'est pas centré autour d'une certaine longueur d'onde mais représente un spectre continu de la gamme radio jusqu'aux émissions X avec un maximum dans l'UV. Le cliché stars' field a quant à lui été pris par la Wild Field and Planetary Camera 2 (WFPC2), une caméra du HST remplacée en 2009 par la Wild Field Camera 3 (WFC3). Cette caméra prenait des clichés aux longueurs d'ondes comparables à celle du wild field camera : 120 nm à 1100 nm. Nous sommes tout de même au-delà des limites du précédent appareil et il faudra en tenir compte lors de notre étude. La résolution de ces photographies est de 50 mas (milliarcseconde) pour un pixel. Dans la suite du rapport, nous nous exprimerons en pixels, c'est donc le cliché en tant qu'objet que nous étudierons.

## 4.2 Analyse photométrique des observations

Les objets présents sur ces images ont été étudiés à l'aide de deux logiciels informatiques spécialement conçus pour l'étude photométrique : Daophot et SExtractor. Ces logiciels ont été de précieux outils quant au dénombrement d'objets, à l'obtention de la fonction d'étalement d'un point ou encore à la correspondance entre un objet et un profil photométrique prédéfini.

Voici la liste des paramètres obtenus pour chaque objet recensé grâce à SExtractor et à Daophot :

	Notation	Paramètre	Unité
	mag	la magnitude de l'objet	
	errmag	l'erreur sur la magnitude	
SExtractor	a	le demi grand axe de l'ellipse	arcsec
	erra	l'erreur sur le demi grand axe	arcsec
	b	le demi-petit axe de l'ellipse	arcsec
	errb	l'erreur sur le demi petit axe	arcsec
	class	la classe de l'objet	
	fwhm	la largeur à mi hauteur de l'objet	pixels
	elong	l'élongation obtenu par le calcul de $\frac{b}{a}$	
DAOPHOT	ellip	l'ellipticité obtenu par le calcul de $1 - \frac{b}{a}$	
	chi	le RMS <sup>5</sup>	
	sharp	la « netteté »	

TABLE 4.1 – Les paramètres étudiés

Les méthodes d'obtentions de ces paramètres sont expliquées dans l'annexe Programmation – SExtractor et Programmation – Daophot.

Sur le cliché quasars' field, l'équipe de Michael Brotherton a référencé 29 quasars. Nos deux logiciels informatiques n'ont été capables d'identifier que 26 de ces quasars. Sur ce même cliché étaient présents 13294 étoiles, quant au cliché stars's field c'est 5847 étoiles qui sont observées<sup>6</sup>. Ce nombre de quasars ne peut nous donner une tendance nette quant à un comportement spécifique de ces objets. Néanmoins si ces derniers ne partagent pas les mêmes caractéristiques, ils pourront peut-être « s'unir » dans leur différenciation vis-à-vis des caractéristiques liées aux étoiles. C'est ce que nous avons tenté d'observer.

## 5 L'étude de la densité de probabilité

La comparaison de deux populations différentes peut se faire grâce à l'étude de leur densité de probabilité. À l'aide du programme R nous avons pu tracer la densité de probabilité des différents paramètres cités plus haut pour la population de quasars et pour celle des étoiles.

4. Voir section Annexe : Paramètres wide field camera

6. on a retiré de notre étude l'amas central pour avoir des observations d'étoiles non polluées

## 5.1 La morphologie des quasars « Post-Starburst »

### 5.1.1 L'étude de la largeur à mi-hauteur : FWHM

En faisant correspondre le mieux possible une fonction d'étalement du point (PSF, voir en Annexe : Explications de quelques notions astronomiques page 24) à un objet, on obtient un profil de la luminosité, la largeur à mi-hauteur FWHM (voir Annexe : Explications de quelques notions astronomiques page 24) est alors obtenue. Ce paramètre nous donne donc une indication de l'étalement de l'objet. Pour contrer la différence de population entre quasars et étoiles nous avons tracé 100 populations de 26 étoiles pris au hasard dans nos deux populations de 13294 (quasars' field) étoiles et de 5847 étoiles (stars' field), elles apparaissent en gris sur le graphique.

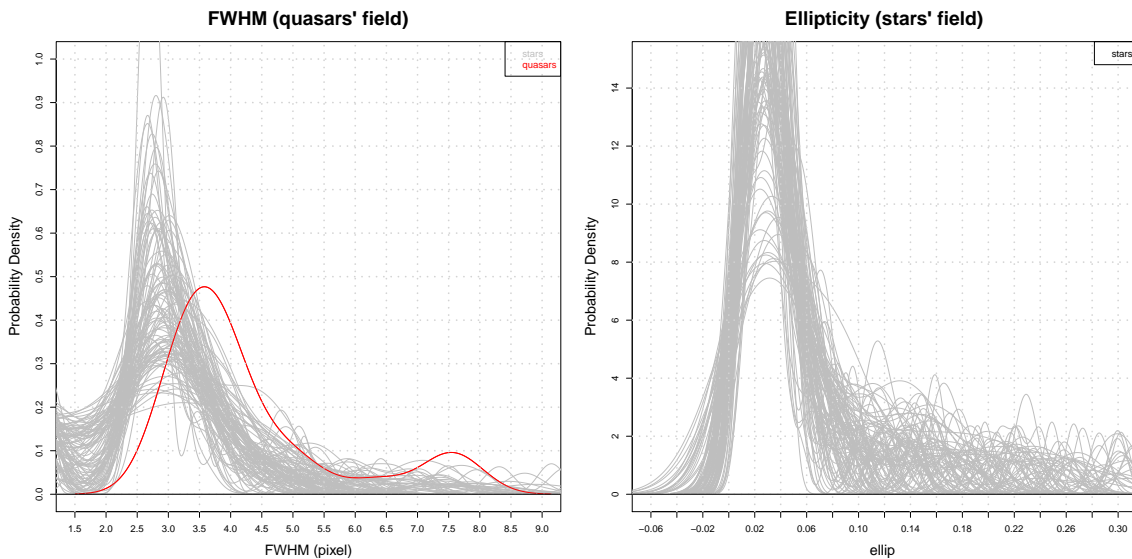


FIGURE 5.1 – Densité de probabilité de la largeur à mi-hauteur des quasars et des étoiles (quasars en rouge)

Nous notons que la largeur à mi-hauteur de la plupart des populations d'étoiles se situe entre 2.5 et 3 pixels alors que celles de la population de quasars se situent à 3.6 pixels. Prouverions-nous par là, la présence d'une galaxie sous-jacente? D'autres paramètres en relation avec l'étalement vont nous aider à examiner cette proposition.

### 5.1.2 L'étude de la netteté : sharp

Ce qu'on appelle la netteté est défini par le logiciel Daophot comme le rapport entre le maximum d'une fonction delta (créneau) correspondant le mieux à la distribution d'intensité de l'objet sur le maximum d'une fonction gaussienne correspondant le mieux à la distribution d'intensité de l'objet. Les objets les plus nets posséderont la netteté la plus petite et les plus flous auront une grande netteté (plus l'objet sera proche d'un créneau et plus la gaussienne qu'on lui appliquera sera au-dessus de cette dernière, et de la même manière, plus l'objet sera proche d'une gaussienne et plus la fonction delta qu'on lui appliquera sera au dessus de cette dernière). On a alors une idée des bords de l'objet. Sur notre graphique des nettetés négatives apparaissent cela est dû au fait que le maximum d'intensité est évalué par rapport à une valeur fixée par le programme Daophot.

Le comportement des étoiles sur les clichés quasars' field et stars' field sont très semblables (Figure 5.2), notre étude pour ce paramètre est donc cohérente. Les étoiles apparaissent avec une netteté entre -0.2 et 0, elles apparaissent donc très nettement sur les clichés, leur contour se découpe très nettement sur la portion de sphère céleste balayée par le HST. Il semblerait alors que les quasars apparaissent moins nettement que les étoiles. Nous ajoutons d'autant plus de poids à l'idée de galaxies sous-jacentes de par le fait que ces dernières n'ont pas de contours nets (une des raisons de l'utilisation du rayon petrosien vu plus tôt).

### 5.1.3 L'étude du RMS : chi

Cette mesure permet de déterminer les objets auxquels la correspondance avec la PSF est la plus malaisée. Cela revient à calculer le résidu ou la moyenne quadratique (RMS) des portions non prises en compte du profil

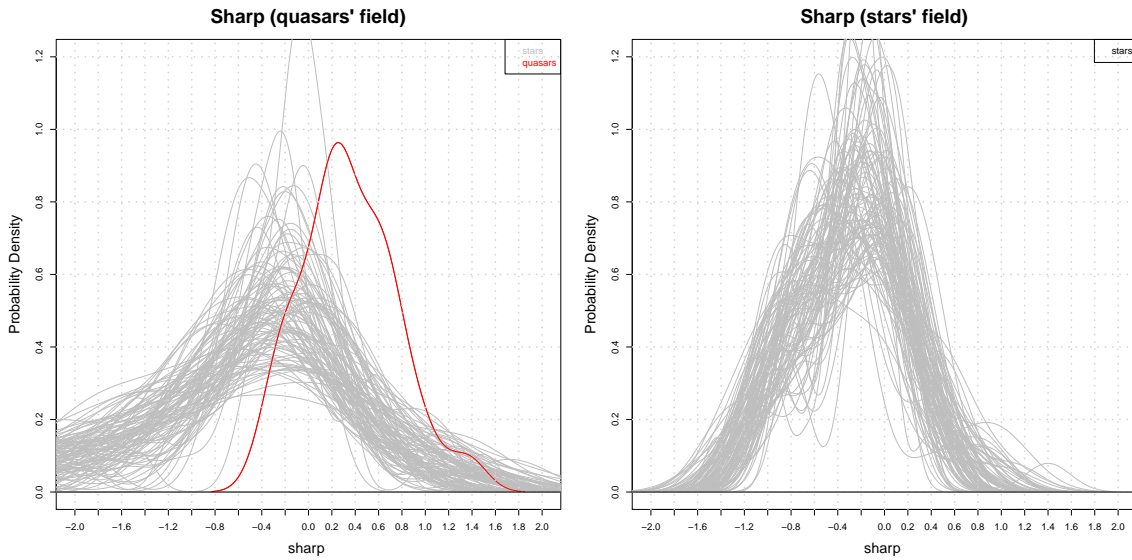


FIGURE 5.2 – Densité de probabilité de la netteté des quasars et des étoiles (quasars en rouge)

en luminosité de l'objet par la PSF. Cette portion est exprimée en fraction de la hauteur maximale de la courbe appliquée.

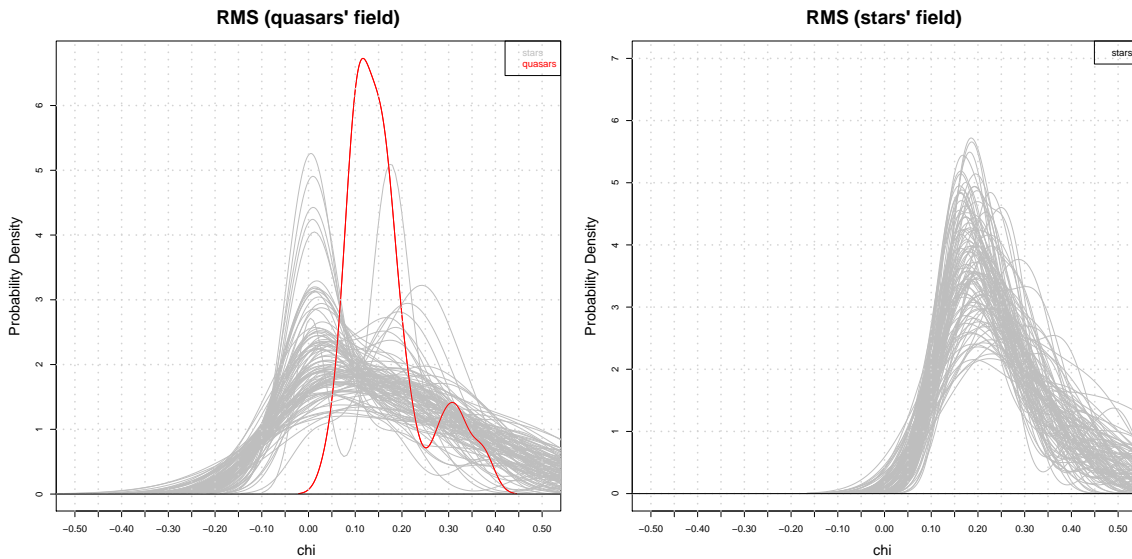


FIGURE 5.3 – Densité de probabilité de la netteté des quasars et des étoiles (quasars en rouge)

Ces graphiques nous montrent que le logiciel arrive à faire correspondre une courbe à presque toutes les étoiles alors que pour les quasars la correspondance est plus ardue. Ce problème peut être dû au fait que les quasars ne sont pas une forme géométrique définie à cause de leur galaxie sous-jacente ou de l'émission de leur jet. Mais il peut aussi être produit par le logiciel : en effet ce dernier va sélectionner une forme de courbe type en fonction des profils de tous les objets, ces derniers étant le plus souvent des étoiles, le logiciel essaye donc de faire correspondre un profil stellaire à un quasar. Le graphique stars' field nous laisse penser que le profil de nombreuses étoiles correspond encore moins à la courbe choisie par le logiciel que pour les quasars. Néanmoins notre comparaison ne peut pas aller très loin dans ce cas car nous ne pouvons savoir si la courbe type sélectionnée est la même pour nos deux clichés. De plus la différence en longueurs d'ondes étudiées pourrait apparaître ici. Nous pouvons tout de même affirmer que la répartition de la luminosité des quasars diffère de celle des étoiles.

Étudions alors leur géométrie à l'aide des différents paramètres relatifs à l'ellipticité.

## 5.2 La Géométrie des quasars « Post-Starburst »

### 5.2.1 L'étude du demi grand axe de l'ellipse : a

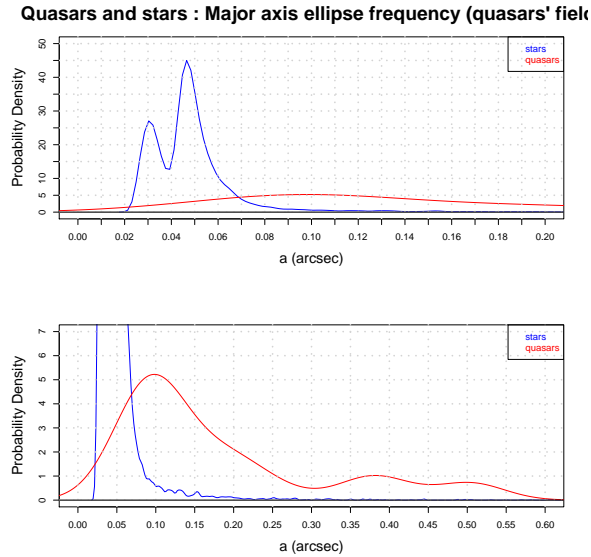


FIGURE 5.4 – Densité de probabilité du demi grand axe des quasars et des étoiles (quasars en rouge, étoiles en bleu)

Ce qui apparaît sur ces graphiques c'est la taille commune des deux clichés pour les étoiles aux alentours de 1 pixel, soit 50mas. Les quasars n'ont pas un demi grand axe bien défini (problème récurrent dû à leur faible population), il est tout de même supérieur à celui des étoiles : de 1.5 à 2.5 pixel, soit de 75 à 125mas.

### 5.2.2 L'étude du demi petit axe de l'ellipse : b

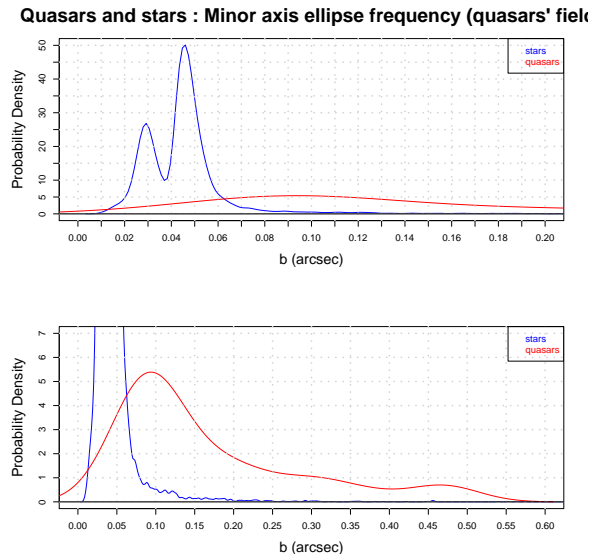


FIGURE 5.5 – Densité de probabilité du demi petit axe des quasars et des étoiles (quasars en rouge, étoiles en bleu)

La première remarque que nous pourrions faire est que ces probabilités de densité sont presque identiques à celles du demi grand axe. Le demi petit axe des deux groupes d'étoiles et des quasars ont une valeur presque égale à la valeur de leur demi grand axe et cela dans les mêmes proportions. Cela reflète donc leur caractère circulaire. Examinons cela à partir de l'ellipticité.

### 5.2.3 L'étude de l'ellipticité : ellip

Ce paramètre va nous permettre de mesurer l'aplatissement de l'ellipse. Il s'étend de 0 à 1. 0 est la valeur d'un cercle idéal et 1 celle d'un segment.

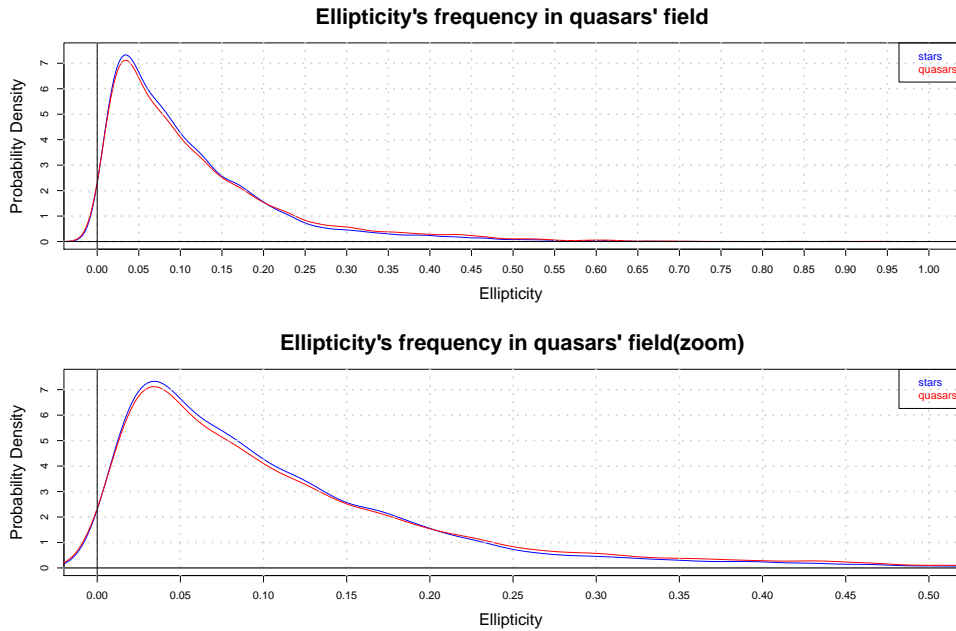


FIGURE 5.6 – Densité de probabilité de l'ellipticité des quasars et des étoiles (quasars en rouge, étoiles en bleu)

Nous voyons clairement que les quasars et les étoiles possèdent la même ellipticité. Celle-ci est très proche de 0 : de 0.02 à 0.04. Notre conclusion quant à l'étude des demis grands axes et des demis petits axes s'avérerait donc correcte. Ce qui ressort ici est le comportement similaire des quasars et des étoiles. Si nous étions sceptiques nous dirions que ce résultat pourrait être dû au programme d'interpolation des objets de SExtractor, sommes-nous sûrs qu'il reconnaît bien un objet elliptique ? Pour cela nous aurions dû compléter notre étude par un groupe témoins d'objets que nous aurions sus elliptiques : des galaxies par exemple.

## 6 Interprétation

Notre étude de la comparaison des comportements des quasars et des étoiles appliquée à des photographies effectuées par le HST a mis en lumière certains points. Les quasars seraient plus étalés que les étoiles. Cet étalement serait fait de manière asymétrique en comparaison à la distribution en intensité lumineuse des étoiles. Il s'illustre également par des tailles de demis grands axes et de demis petits axes supérieures à celles des étoiles. Ces paramètres seraient des causes supplémentaires à l'appellation « quasi » de quasi stellar radio source. Quelles en seraient les raisons ? Nous avons postulé la présence d'une galaxie sous-jacente. Cette hypothèse a été suggérée a fortiori par notre étude de différents ouvrages concernant les quasars, ce qui manque de rigueur scientifique. Toutefois nous pouvons recenser les arguments allant dans ce sens ainsi que ceux qui s'y opposent. Les quasars étudiés ont une étendue plus grande, apparaissent moins nettement et ont une distribution en luminosité moins homogène par rapport aux étoiles. Ce profil correspondrait bien à une galaxie sous-jacente ou une partie de cette dernière apparaissant à la faveur de l'éclairage du quasar. Dans ce cas, la circularité des quasars pose problème. Les galaxies étant de forme elliptique, spirale ou régulière, on a donc du mal à associer les deux idées. On pourrait trouver une explication en gardant en tête que nous avons trouvé beaucoup d'effets de « bord » illustrés par la netteté ou le résidu. La partie de la galaxie influençant la luminosité du quasar serait très faible et cette dernière n'apparaîtrait que comme un très mince halo caché en partie selon la position de l'observateur. Elle agirait sur la répartition en luminosité en rendant son profil asymétrique, mais n'allongerait pas l'observation de manière elliptique. Néanmoins tout cela revêt un caractère fortement hypothétique car nos mesures n'ont révélé aucune relation entre la netteté, le résidu, la largeur à mi-hauteur ou la magnitude.

## Conclusion

A travers cette étude menée sur les quasars, nous avons pu révéler quelques indices permettant de préciser leur structure optique. Une première approche a été de comparer les mesures photométriques et astrométriques pour une longueur d'onde (vert) du domaine optique donnée à l'aide de la lunette méridienne de Bordeaux. Après des analyses graphiques et statistiques effectuées sur 24 quasars, plusieurs résultats en sont ressortis. 25 % de nos quasars analysés présentent une corrélation entre les mesures astrométriques et photométriques (en déclinaisons et ou en ascension droite). On note que le quasar B06 possède une corrélation plus importante entre l'astrométrie et la photométrie. Ainsi une variabilité photométrique semble induire une variabilité du mouvement apparent notable pour une partie de nos quasars.

Il s'en est suivi une étude similaire du domaine radio dont l'idée était de mettre en relief un éventuel lien entre une variabilité astrométrique ou photométrique en radio et en optique. En effet, nous savons que la position des quasars varient en radio suivant la présence et l'activité d'un jet. Ainsi est-ce qu'un jet puissant induirait une variation notable aussi dans le domaine optique? Nous avons alors étudiés certains quasars selon 3 fréquences d'observations différentes. Sur 7 quasars selon les fréquences de 8,4GHz et de 2,3 GHz, 2 présentent des corrélations entre photométrie et astrométrie pour chacune des fréquences. B17 ressort du lot avec 3 corrélations significatives sur 4. Une corrélation forte est alors constatée pour plus de la moitié de ces quasars entre les deux flux.

Lors de la confrontation du domaine optique avec le domaine radio, un seul quasar sur 10, B06, présente une corrélation en magnitude selon la fréquence de 15GHz et le méridien. En revanche, sur seulement 3 quasars comparés avec les fréquences de 8,4GHz et de 2,3 GHz, B28 semble présenter des corrélations entre les mesures astrométriques en ascension droite et des corrélations entre les mesures photométriques avec les deux différents flux. Ainsi un lien entre le domaine radio et le domaine optique pourrait être envisagée. Bien sûr, il faudrait effectuer cette étude en augmentant considérablement l'échantillon de données afin d'en ressortir un résultat pertinent.

Il est à noter qu'un problème instrumental sur le méridien a été mis en évidence et est maintenant résolu.

Nous avons constaté une distinction entre les quasars et les étoiles au niveau des observations du SDSS. Pour les bandes g, r et i en longueurs d'ondes (477nm, 623nm et 762.5nm) nous trouvons une élongation supérieure pour les quasars. Pour toutes les bandes nous constatons un rayon petrosien plus grand pour les quasars que pour les étoiles. Il en va de même pour le demi grand axe et demi petit axe de l'ellipse. Tout cela nous laisse croire que les quasars présentent un étalement supérieur à celui des étoiles. Néanmoins il ne faudrait pas se borner à des observations faites depuis le sol. Le HST nous fournit les données les plus proches de celles que fournira le satellite Gaia. Si nous retrouvons des conclusions communes avec le SDSS : le demi petit axe et demi grand axe sont tout deux plus grands pour les quasars ; nous obtenons aussi des divergences : l'ellipticité semble la même pour les quasars et les étoiles. Nous devons tout de même dire que les demis grands axes et demis petits axes des quasars et des étoiles semblent très proches, cette similitude tend à nous faire douter du bon comportement de notre programme d'analyse.

Au niveau du HST, d'autres paramètres nous donnent des informations sur les divergences entre quasars et étoiles. A l'instar des données du SDSS, il apparaîtrait que les quasars sont des objets plus étalés que les étoiles. Un caractère asymétrique s'illustre à travers ces données. A la vue de toutes ces interprétations, il semblerait que les observations de quasars dans le domaine du visible et dans l'espace puissent révéler un étalement de ces derniers, nous ne pourrions pas en faire d'objets ponctuels. En connaissant les différentes hypothèses effectuées sur la nature de ces derniers, il apparaît censé de postuler l'existence d'une galaxie sous-jacente. Elle apparaîtrait au travers du caractère asymétrique et étalé des quasars. Ces objets, dont nous avons fait une brève étude, soulèvent de nombreuses questions recouvrant de multiples domaines allant de l'astrométrie à la cosmologie. Au cours de notre travail, notre questionnement vis-à-vis des quasars n'a fait que croître. Notre étude a plusieurs fois dévié de son but principal et nous ne vous cacherons pas toutes les frustrations auxquelles nous avons dû faire face devant ces objets. Entre tout autre chose, la programmation informatique, les calculs, la rédaction, l'exposition de nos travaux devant nos encadrants, c'est cette frustration qui nous a fait comprendre ce que représentait vraiment le travail de recherche.



## Quatrième partie

# Annexes

### Explications de quelques notions astronomiques

**FWHM (Full Width at Half Maximum)** C'est la largeur à mi-hauteur d'une fonction mathématique ( gaussiennes, lorentziennes ...).

**Les magnitudes** La magnitude est une façon de représenter le flux lumineux ( $f$ ) émis par un objet. De cette manière, plus l'objet est brillant plus la magnitude est faible.

**Magnitude conventionnelle** Typiquement avec  $C$  une constante définie selon les conventions :

$$mag = -2,5 \log_{10}(f) + C$$

**Magnitude Pogson** La magnitude Pogson est habituellement utilisée en astronomie.

$$mag_{Pogson} = -2,5 \log_{10}\left(\frac{f}{f_0}\right)$$

Où  $f_0$  est le flux donné par le point 0 de la magnitude conventionnelle (qui était originellement la magnitude de Vega, l'étoile la plus brillante de la constellation de la Lyre).

**Magnitude du SDSS** Le catalogue utilise la asinh magnitude.

$$mag_{asinh} = -\frac{2,5}{\ln 10} \left( \arcsin\left(\frac{2bf}{f_0}\right) + \ln b \right)$$

$b$  est le paramètre d'atténuation qui va être différent pour chaque bande de longueurs d'ondes.

**La PSF (Point Spread Function)** La fonction d'étalement du point est utilisée dans les systèmes d'imagerie étudiant des sources ponctuelles. C'est une fonction mathématique représentant la réponse impulsionnelle que le programme d'analyse renvoie. En convoluant cette fonction avec les données réelles, on obtient une image exploitable.

**Le rayon petrosien** Ce rayon est une mesure modifiée du rayon petrosien de 1976. Il est notamment utilisé pour les objets dont le profil en distribution lumineuse n'a pas de symétrie radiale (à l'instar des galaxies comme nous le verrons plus loin). Pour cela le catalogue SDSS compare deux distributions en flux lumineux : la première est celle d'un disque avec un rayon  $R$  ; la deuxième un anneau dont le rayon intérieur fait  $0.8R$  et le rayon extérieur  $1.25R$ . On obtient le rapport de la distribution de l'anneau sur celle du disque :  $R_p$ . Ce rapport peut-être défini comme on le veut, le SDSS le fixe, lui, à  $0.2$ .

$$R_p(r) = \frac{\int_{0.8R}^{1.25R} dr' \cdot 2\pi r' I(r') / [\pi R^2 (1.25^2 - 0.8^2)]}{\int_0^R dr' \cdot 2\pi r' I(r') / (\pi R^2)}$$

En résumé dès que l'anneau représente 20% de la distribution en flux lumineux du disque associé on obtient le rayon petrosien ainsi que le flux servant au calcul de la magnitude petrosienne.

**Le redshift ou décalage vers le rouge** Le redshift est le décalage subi par des ondes à cause de l'expansion de l'Univers. Selon les différents modèles cosmologiques, différentes constantes sont utilisées pour calculer la distance et le temps que le redshift caractérise. On peut alors déterminer l'époque à laquelle on observe l'objet et sa distance par rapport à nous.

**ACS** ou Advanced Camera for Surveys est une des caméras composant l'équipement de surveillance du HST. Elle a été conçue pour observer la lumière dans le domaine visible. Elle travaille à la cartographie de la matière noire, à la recherche de planètes massives, à l'étude de l'évolution des amas de galaxies et à la détection des objets les plus lointains de l'univers. Ce dernier emploi a pu être accordé à l'équipe de Michael Brotherton<sup>7</sup>, Université du Wyoming. L'image est un cliché de l'ACS utilisé par cette équipe.

**ICRF (International Celestial Reference Frame)** Le système international de références célestes est centré au barycentre du système solaire. Il est défini par la mesure de position de 212 sources extragalactiques (généralement des quasars). Il est actuellement la référence pour définir la positions des objets observés par les astronomes.

**SDSS** C'est un programme de relevés des objets célestes utilisant un télescope dédié de 2,5 m de diamètre situé à l'observatoire d'Apache Point, et démarré en 2000. Il relève des images d'objets selon plusieurs filtres ainsi que l'étude spectroscopique de leur redshift (voir entrée redshift).

## Les différentes nomenclatures des quasars

### Liste des quasars

Noms quasar	LAB	ICRF Ascension droite	Declinaison	Bcnds/Vcnds	Type d'objet	Vpdx	Vsomme
0109+224	B01	01 12 05.83	+22 44 38.8	16.0/15.7	QSO B0109+224 -- BL Lac - type object	15.3	160/196
0219+428	B04	02 22 39.61	+43 02 07.8	15.8/15.5	B3 0219+428A - Blazar	15.3	197/219
0235+164	B05	02 38 38.93	+16 36 59.3	16.5/15.5	QSO B0235+1624 - Blazar	16.1	5/219 14.8 à 18.5
0316+413	B06	03 19 48.16	+41 30 42.1	13.1/12.5	NGC 1275 -- Seyfert 1 Galaxy	14.2	196/219
0405-123	B07	04 07 48.43	-12 11 36.7	15.1/14.9	[VV96] J040748.5-121136 -- Seyfert 1 Galaxy	14.6	150/193
0430+052	B08	04 33 11.10	+05 21 15.6	14.9/15.1	V* BW Tau -- Seyfert 1 Galaxy	15.0	147/1750647+250
OJ287	B11	08 54 48.87	+20 06 30.6	14.4/14.0	B2 0852+20 - Blazar	15.2	238/344
0955+326	B12	09 58 20.95	+32 24 02.2	19.0/18.7	[VV96] J095820.9+322402 -- Seyfert 1 Galaxy	16.0	130/227
1156+295	B17	11 59 31.83	+29 14 43.8	? /15.6	[VV96] J115931.9+291445 - Quasar	16.0	16/168 15.2 à 18.2
1228+126	B21	12 30 49.42	+12 23 28.0	8.7/ ?	1A 1228+12 -- Interacting Galaxies	12.7	79/ 99
1254+571	B23	12 56 14.23	+56 52 25.2	13.0/13.8	QSO B1254+571 -- Seyfert 1 Galaxy	13.8	117/119
1308+326	B25	13 10 28.66	+32 20 43.8	17.0/19.0	V* AU CVn - Blazar	16.2	15/171 15.9 à >18.5
1404+286	B27	14 07 00.39	+28 27 14.7	16.1/15.4	QSO B1404+286 -- Seyfert 1 Galaxy	15.8	91/119
1418+546	B28	14 19 46.60	+54 23 14.8	15.5/ ?	QSO B1418+546 -- BL Lac - type object	15.2	128/161
1424+240	B29	14 27 00.39	+23 48 00.0	? /15.4	QSO B1424+240 -- BL Lac - type object	14.7	104/132
1641+399	B30	16 42 58.81	+39 48 37.0	16.3/16.0	[VV96] J164258.8+394837 - Quasar	16.2	49/359 ???
Mk501	B31	16 53 52.22	+39 45 36.6	14.5/13.8	QSO B1652+398 - Blazar	14.0	305/259
2200+420	B32	22 02 43.29	+42 16 40.0	15.5/14.5	V* BL Lac - Blazar	15.1	226/263
2201+315	B33	22 03 14.98	+31 45 38.3	? /15.5	[VV96] J220314.9+314538 -- Seyfert 1 Galaxy	15.8	105/145
1011+496	B35	10 15 04.17	+49 26 00.6	16.6/16.2	QSO B1011+496 -- BL Lac - type object	15.7	201/241
1517+656	B39	15 17 47.58	+65 25 23.3	? /15.9	[BSF97] J151747.58+652523.3 -- BL Lac	16.8	110/361 16.3 à 17.8
1553+113	B40	15 55 43.04	+11 11 24.4	14.8/ ?	QSO B1553+113 -- BL Lac - type object	14.2	314/342
1722+119	B41	17 25 04.38	+11 52 15.5	16.3/15.8	QSO B1722+119 -- BL Lac - type object	14.9	175/234
1ES1959+650	B42	19 59 59.95	+65 08 54.7	? /12.8	[DGT2001] B1959+650 -- BL Lac - type object	15.4	434/478
J2253+1615	B43	22 53 57.75	+16 08 53.6	16.6/16.1	[VV96] J225357.7+160853 - Blazar	15.6	243/366
1ES2344+514	B44	23 47 04.92	+51 42 17.9	? / ?	[DGT2001] B2344+514 -- BL Lac - type object	16.0	273/359
1ES0806+524	B46	08 09 49.2	+52 18 58	? /14.8	[DGT2001] B0806+524 -- BL Lac - type object	15.6	155/182

La nomenclature de Bordeaux affecte à chaque quasar un numéro précédé par la lettre B pour des raisons historiques (le logiciel d'identification ne pouvait recevoir que 3 caractères).

7. Voir section Bibliographie : «Hubble Space Telescope Imaging of Post-starburst Quasars»

## Une classification des coeurs actifs galactiques

These galaxies can be broadly summarised by the following table:

**Differences between active galaxy types and normal galaxies.**

Galaxy Type	Active Nuclei	Emission Lines		X-rays	Excess of		Strong Radio	Jets	Variable	Radio loud
		Narrow	Broad		UV	Far-IR				
Normal	no	weak	none	weak	none	none	none	none	no	no
Starburst	no	yes	no	some	no	yes	some	no	no	no
Seyfert I	yes	yes	yes	some	some	yes	few	no	yes	no
Seyfert II	yes	yes	no	some	some	yes	few	yes	yes	no
Quasar	yes	yes	yes	some	yes	yes	some	some	yes	10%
Blazar	yes	no	some	yes	yes	no	yes	yes	yes	yes
BL Lac	yes	no	none/faint	yes	yes	no	yes	yes	yes	yes
OVV	yes	no	stronger than BL Lac	yes	yes	no	yes	yes	yes	yes
Radio galaxy	yes	some	some	some	some	yes	yes	yes	yes	yes

Cette classification n'est pas la seule utilisée pour décrire les quasars. Selon d'autres critères, il peut y avoir des recouvrements ou des exclusions. La définition de « quasar » est assez large.

## Tests statistiques

### Corrélation de Spearman

Cette corrélation est utilisée pour mesurer une dépendance statistique non paramétrique entre deux variables. Soit  $\{X_i\}$  l'ensemble des observations de la variable x, on numérote chacun de ces  $X_i$  par ordre décroissant : on leur attribue un rang  $x_i$  qui est leur numéro. Si plusieurs  $X_i$  présentent une même valeur, leur rang est le même et est donné par la moyenne de leur numérotation.

Variable $X_i$	Numérotation	Rang $x_i$
27	1	1
12	2	$\frac{2+3}{2} = 2.5$
12	3	$\frac{2+3}{2} = 2.5$
7	4	4
2	5	5

TABLE 6.1 – Exemple d'affectation de rang pour une variable x

On calcul ensuite le coefficient de corrélation  $\rho$  à l'aide de ces rangs déterminés pour la variable X et la variable Y et leur moyenne respective :

$$\rho = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}}$$

## Test de Student

On veut savoir si le coefficient de corrélation est de manière significative différent de zéro. Pour cela, on effectue une hypothèse de nullité du coefficient de corrélation  $\rho(\rho = 0)$ , on suppose donc qu'il n'y a pas de dépendance entre les variables X et Y. On introduit r qui est le coefficient de corrélation calculé selon la corrélation de Spearman et qui sert d'estimateur de  $\rho$ . En connaissant le nombre de degré de liberté N (nombre d'observations), on calcul la variable test  $t_{obs}$  issue de nos observations :

$$t_{obs} = |r| \sqrt{\frac{N-2}{1-r^2}}$$

Celle-ci rend compte approximativement de la distribution de Student (loi normale) pour un nombre d'observation de N-2. On regarde alors dans la table de Student<sup>8</sup> pour un nombre de degré de liberté de N-2 la valeur t de cette distribution. Si  $t_{obs} > t$ , on rejette l'hypothèse d'indépendance des deux variables. On regarde alors dans la même table le risque d'erreur que l'on a en rejetant cette hypothèse.

## Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales donne une information directe sur la dispersion des points (observations) pour un ensemble de N variables (ou N axes). A partir de ces N variables, N nouveaux axes orthogonaux entre eux vont être déterminés et numérotés de telle façon qu'ils indiquent la direction où le nuage de points possède sa plus grande variance. Ainsi l'axe PC1 indique une variance dominante et l'importance des axes varie en décroissant.

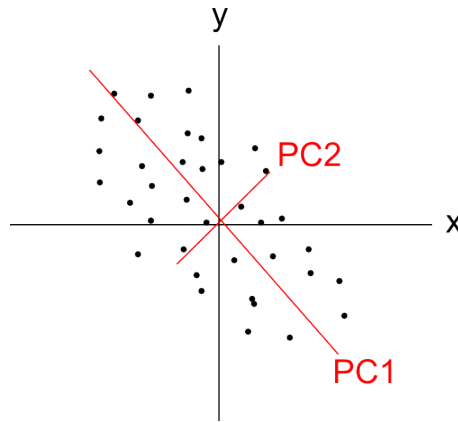


FIGURE 6.1 – Distribution de points avec ACP

On peut maintenant effectuer une corrélation entre les anciennes variables  $\{X_j\}$  et les nouvelles  $\{Y_j\}$ . D'un point de vue géométrique, en considérant une origine commune aux axes, le coefficient de corrélation obtenu entre une variable  $X_j$  et chaque variable de  $\{Y_j\}$  représente la projection du vecteur  $X_j$  dans la représentation à N dimension sur chacune des N variables de  $\{Y_j\}$ .

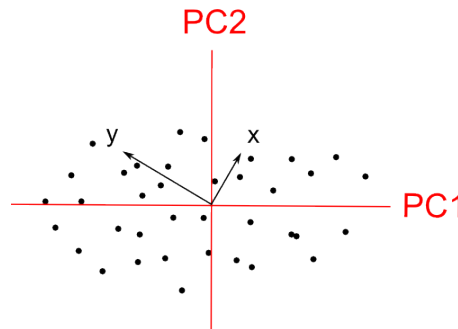


FIGURE 6.2 – Représentation vectorielle d'anciennes variables dans le plan (PC1,PC2)

8. <http://www.bibmath.net/formulaire/tablestudent.php3>

Pour détecter une éventuelle corrélation entre les anciennes variables, on regarde la colinéarité et le sens des vecteurs dans chacun des plans ( $PC_i, PC_j$ ) en donnant la priorité aux axes principaux ( $PC_1, PC_2, PC_3 \dots PC_N$ ).

Lorsque l'on veut contenir l'information du nuage de point dans un nombre de variable limité, on peut sélectionner de façon correcte  $n$  nouvelles variables prise par ordre décroissant dès lors que la proportion de variance cumulée sur ces  $n$  variables équivaut au moins à 90%.

## 7 Figures

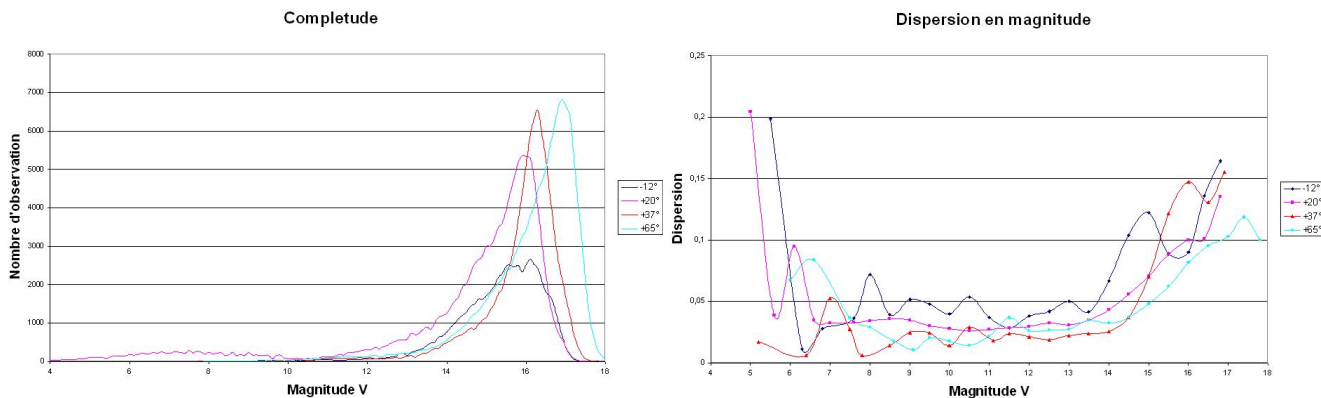


FIGURE 7.1 – Statistique des observations (Complectude)

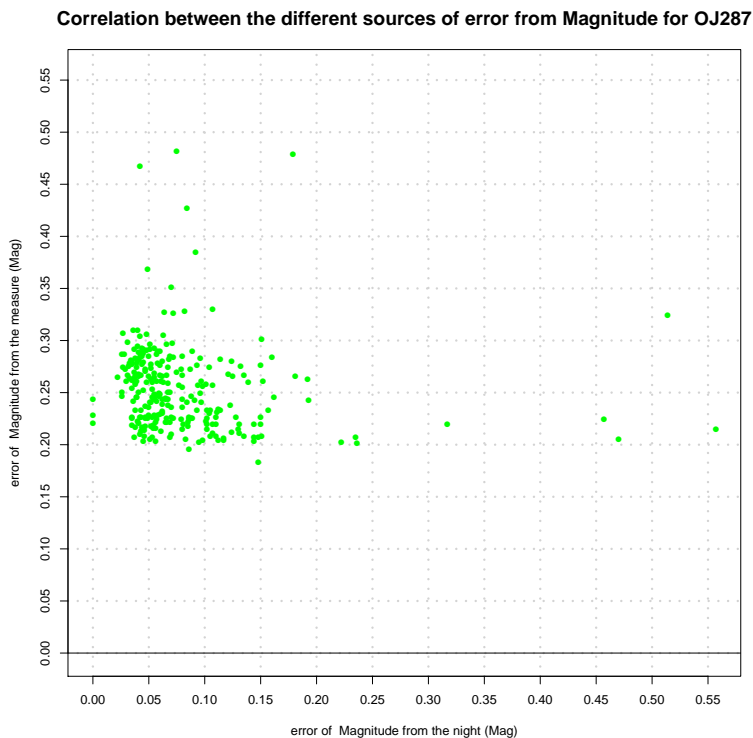


FIGURE 7.2 – Exemple de résultat obtenu pour le quasar OJ287

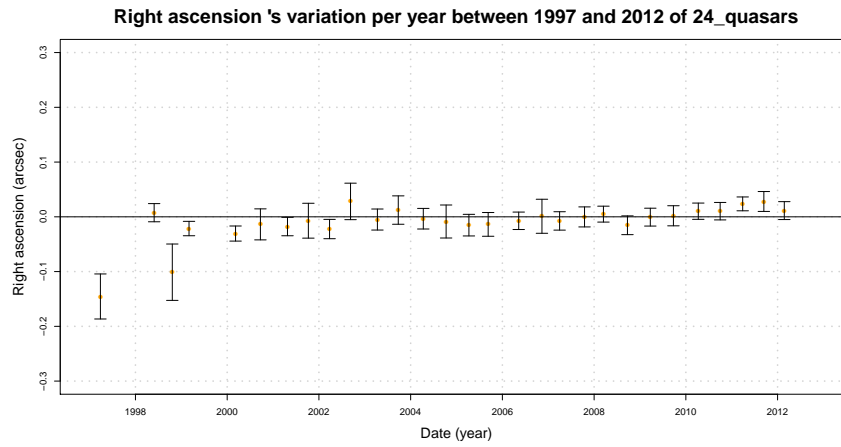


FIGURE 7.3 – Variations de l'ascension droite pour les 24 quasars

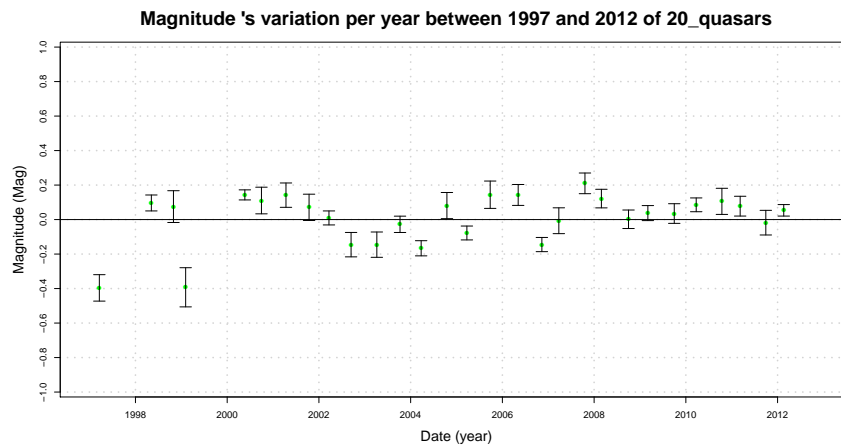
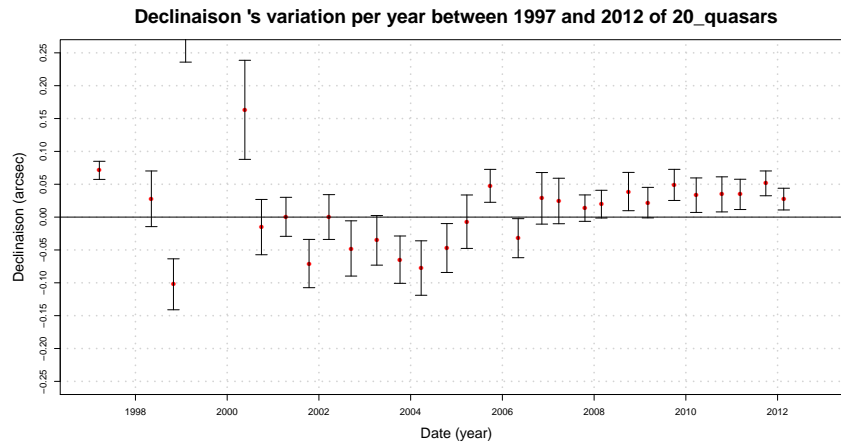


FIGURE 7.4 – Variations des paramètres pour 20 quasars

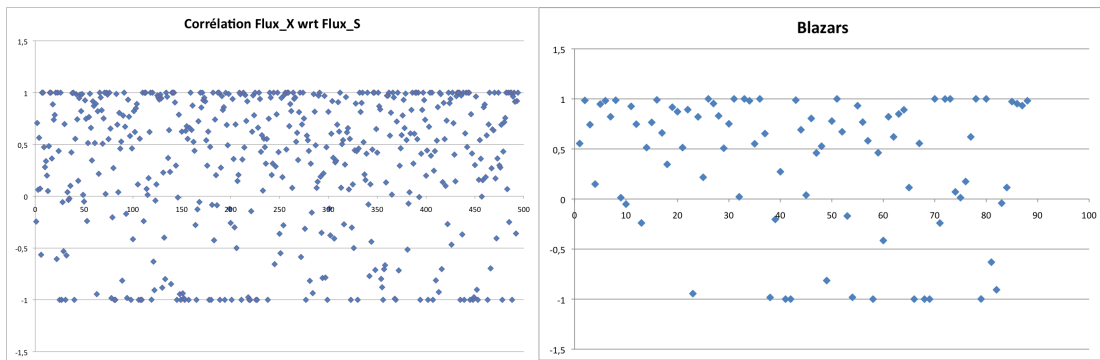


FIGURE 7.5 – Corrélation entre les flux VLBI\_X et S pour 500 quasars

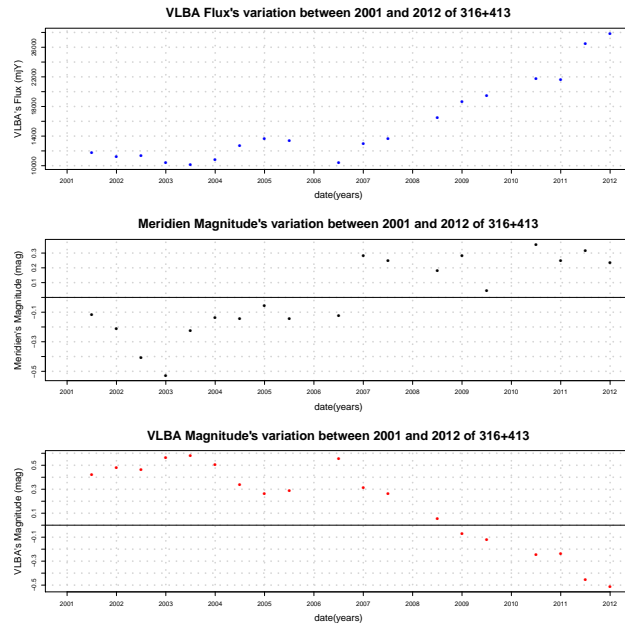
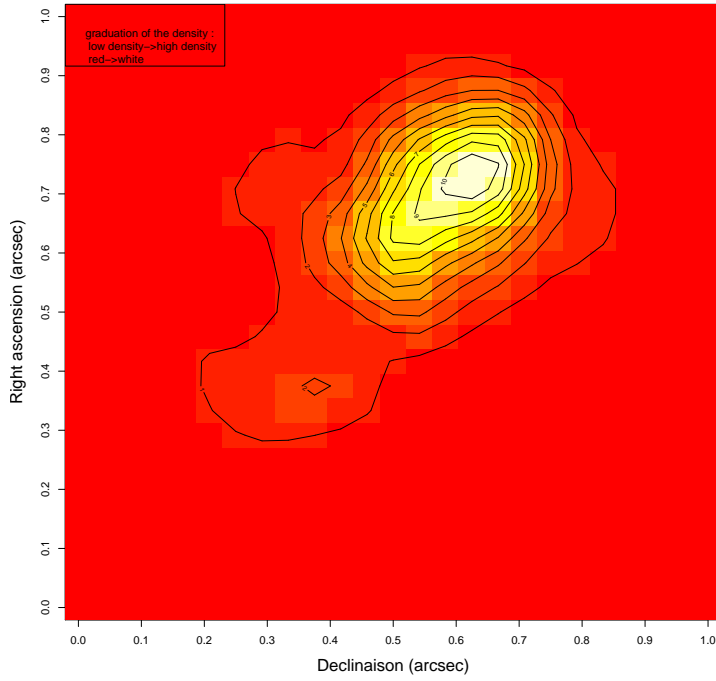
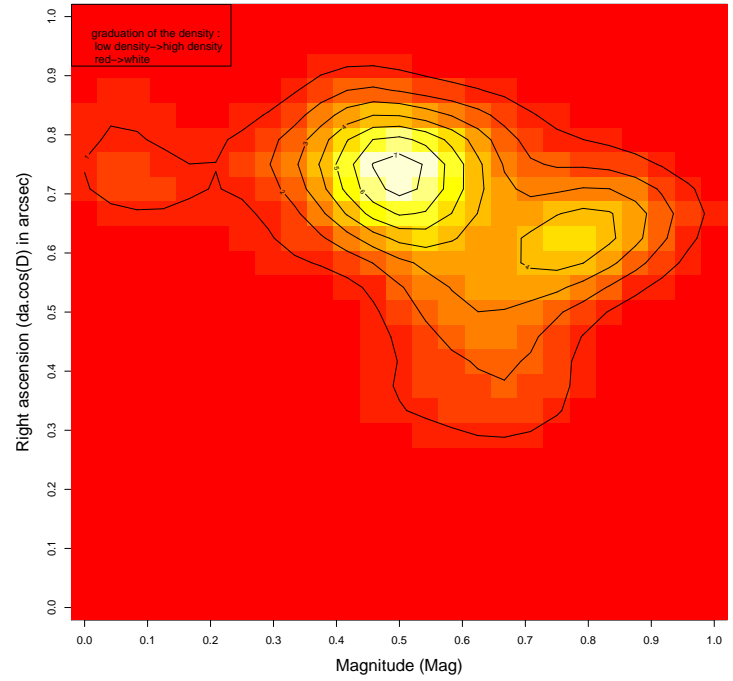


FIGURE 7.6 – Variations photométrique en VLBA et au méridien du quasar B06

Right ascension 's variation against the declinaison of 316+413



Right ascension 's variation against the magnitude of 316+413



Declinaison 's variation against the magnitude of 316+413

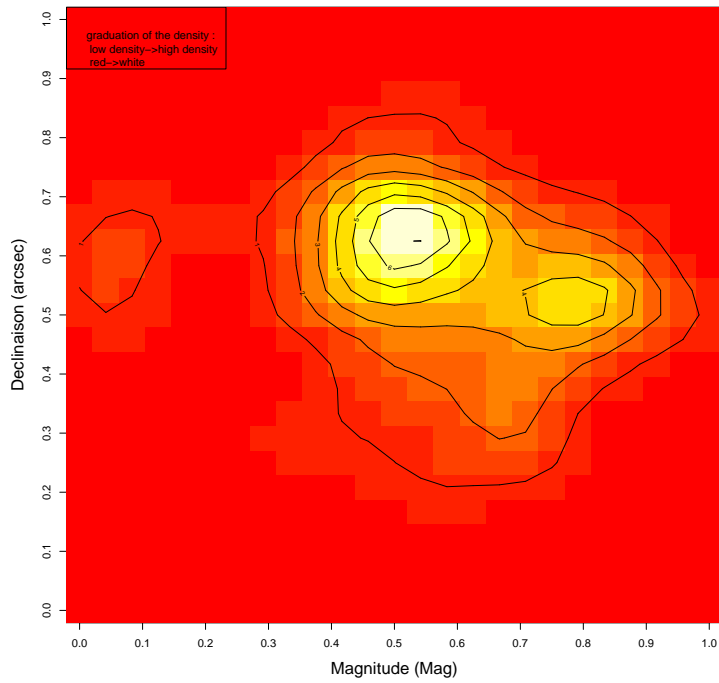


FIGURE 7.7 – Image de densité pour le quasar B06



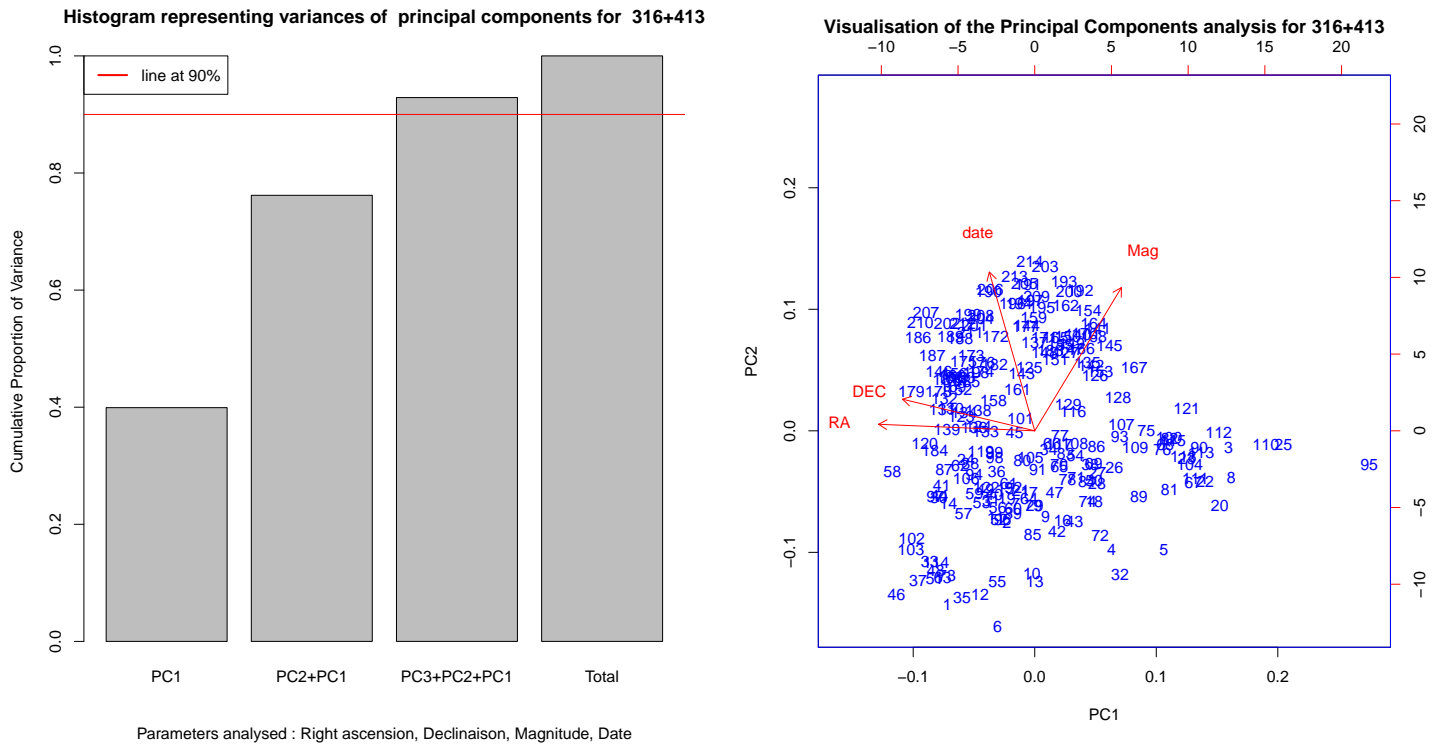


FIGURE 7.8 – Analyse en composantes principales des observations méridienne du B06

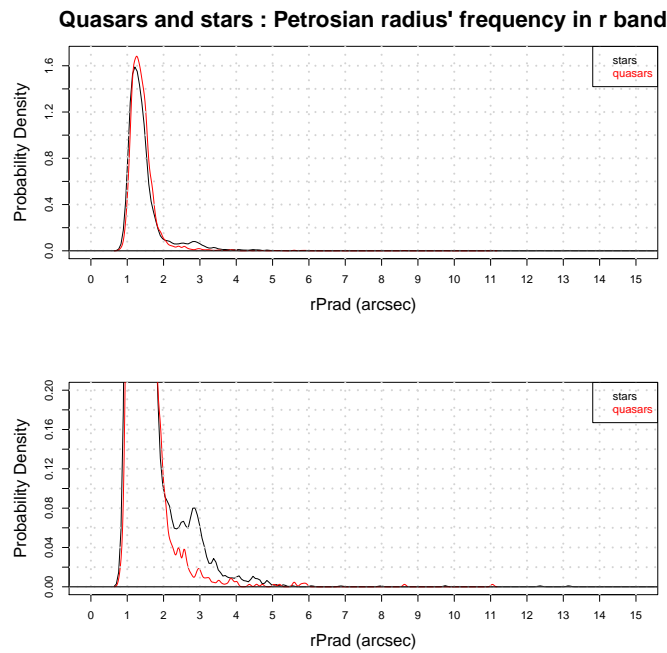


FIGURE 7.9 – Densité de probabilité du rayon petrosien dans la bande r

**Quasars and stars : Petrosian radius' frequency in i band**

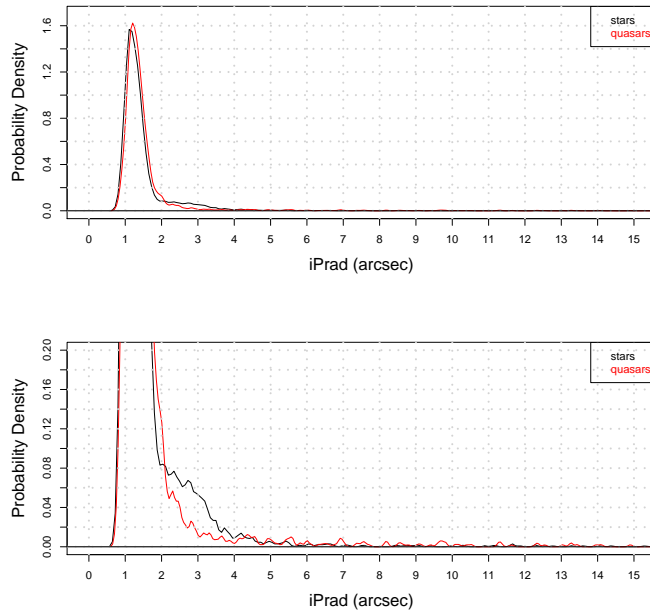
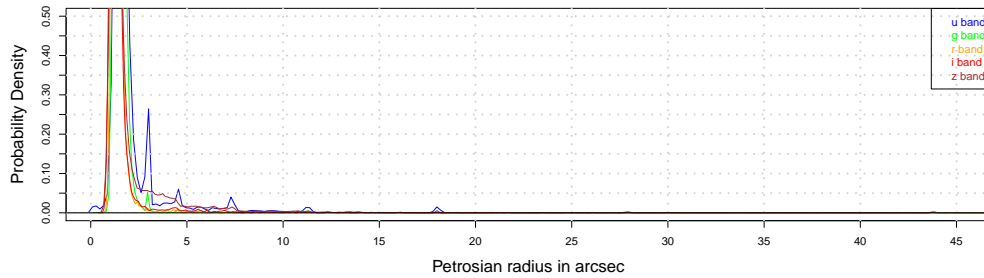


FIGURE 7.10 – Densité de probabilité du rayon petrosien dans la bande i

**Quasars : Petrosian radius's frequency zoom2**



**Stars : Petrosian radius's frequency zoom2**

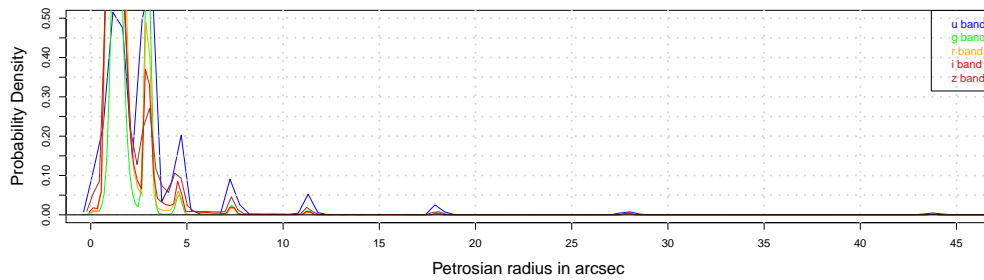


FIGURE 7.11 – Densité de probabilité du rayon petrosien pour toutes les bandes

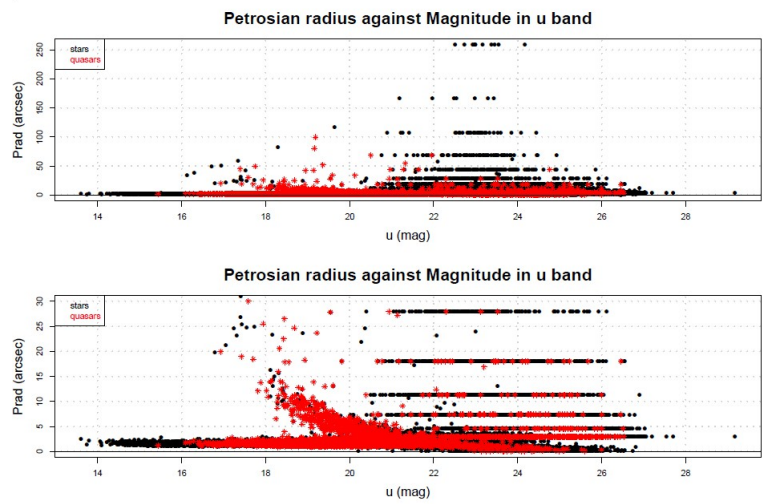


FIGURE 7.12 – Variation du rayon petrosien avec la magnitude pour la bande u (quasars en rouge, étoiles en noir)

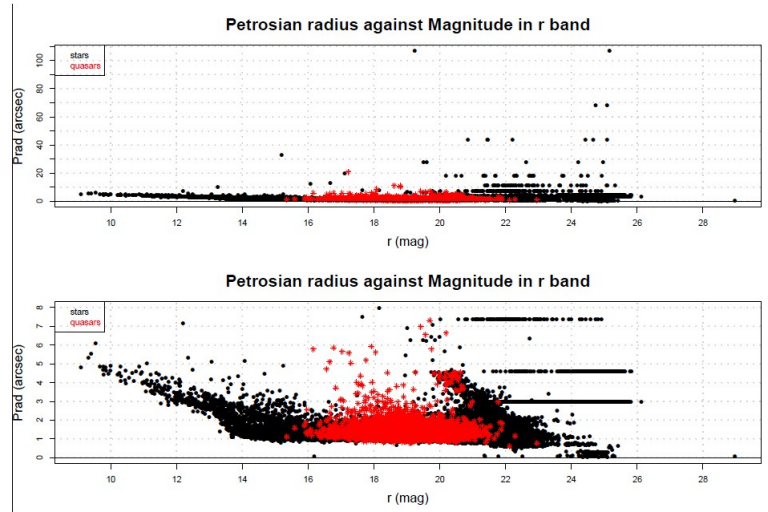


FIGURE 7.13 – Variation du rayon petrosien avec la magnitude pour la bande r (quasars en rouge, étoiles en noir)

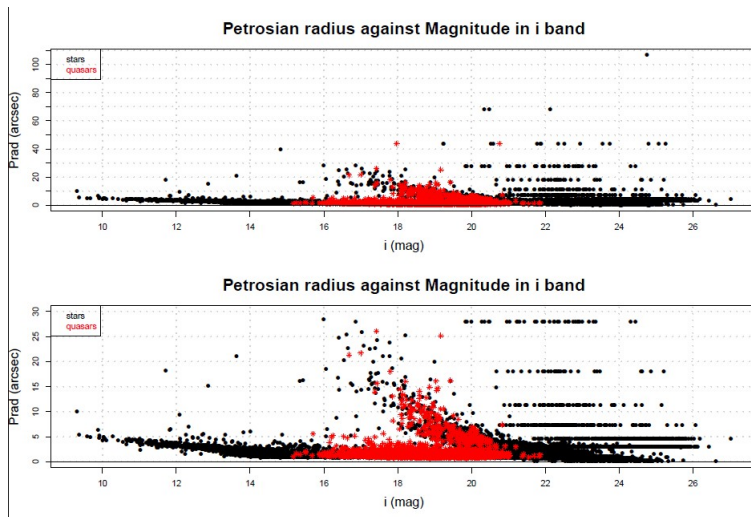


FIGURE 7.14 – Variation du rayon petrosien avec la magnitude pour la bande i (quasars en rouge, étoiles en noir)

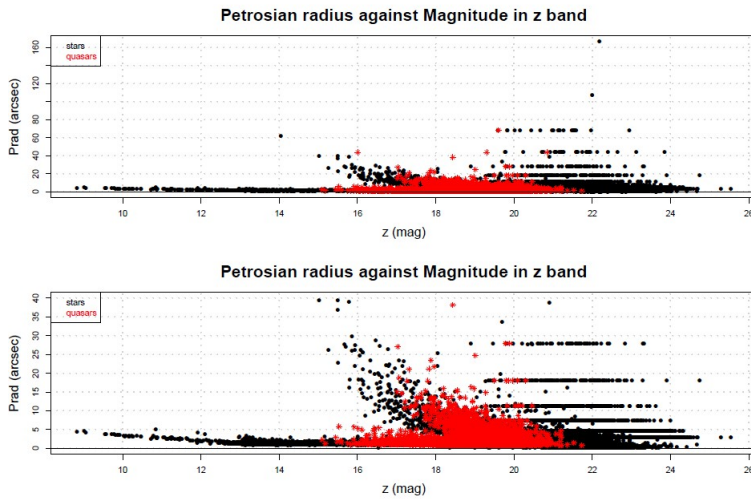


FIGURE 7.15 – Variation du rayon petrosien avec la magnitude pour la bande z (quasars en rouge, étoiles en noir)

Quasars and stars : major axis of ellipse' frequency in u band

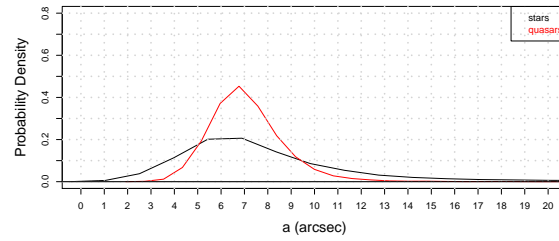
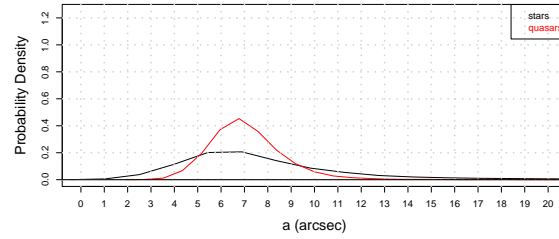


FIGURE 7.16 – Densité de probabilité du demi grand axe pour la bande u

Quasars and stars : major axis of ellipse' frequency in r band

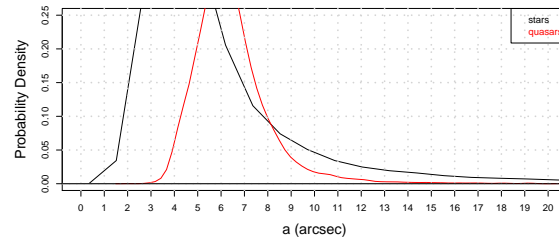
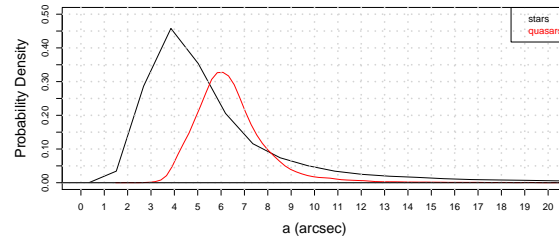


FIGURE 7.17 – Densité de probabilité du demi grand axe pour la bande r

Quasars and stars : major axis of ellipse' frequency in i band

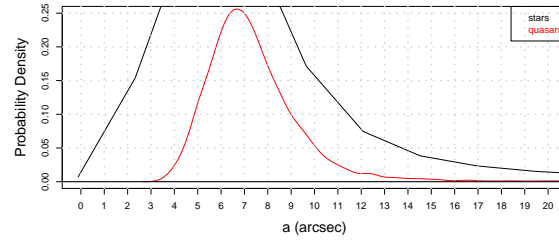
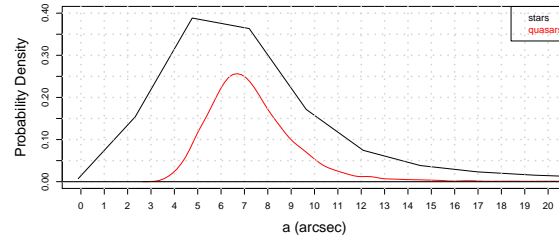


FIGURE 7.18 – Densité de probabilité du demi grand axe pour la bande i

Quasars and stars : major axis of ellipse' frequency in z band

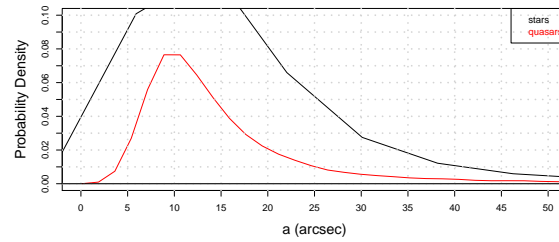
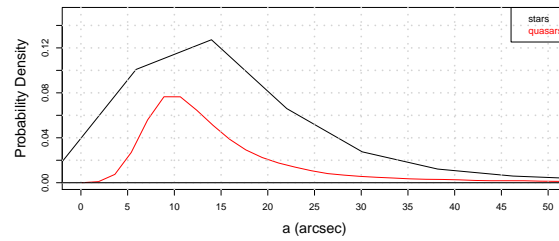


FIGURE 7.19 – Densité de probabilité du demi grand axe pour la bande z

Quasars and stars : minor axis of ellipse' frequency in u band

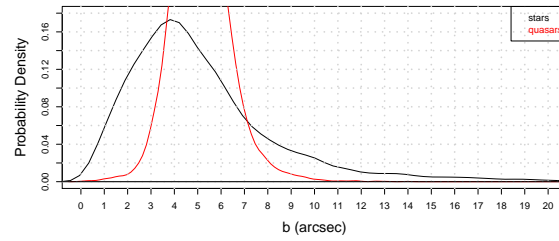
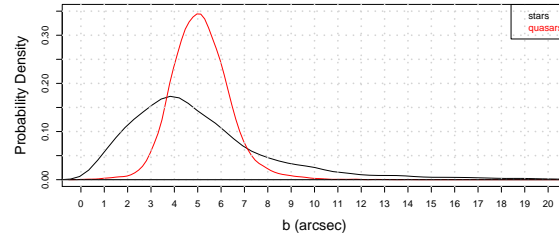


FIGURE 7.20 – Densité de probabilité du demi petit axe pour la bande u

Quasars and stars : minor axis of ellipse' frequency in r band

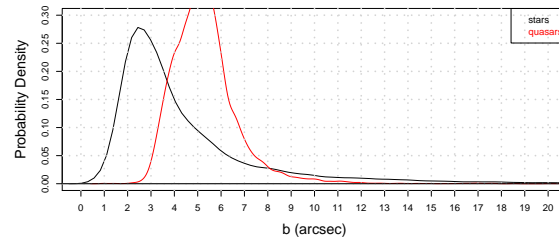
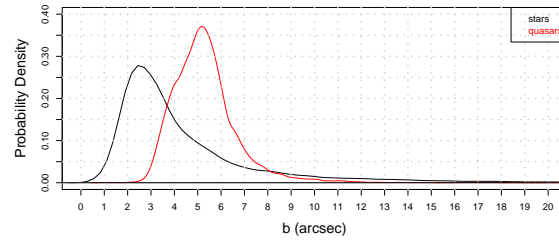


FIGURE 7.21 – Densité de probabilité du demi petit axe pour la bande r

Quasars and stars : minor axis of ellipse' frequency in i band

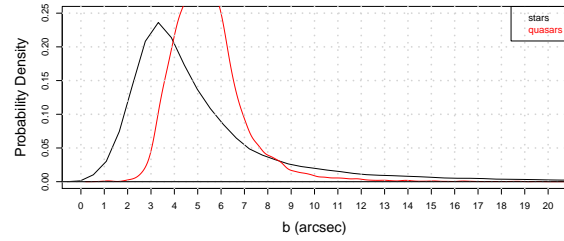
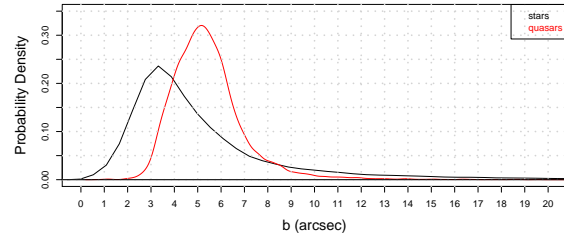


FIGURE 7.22 – Densité de probabilité du demi petit axe pour la bande i

Quasars and stars : minor axis of ellipse' frequency in z band

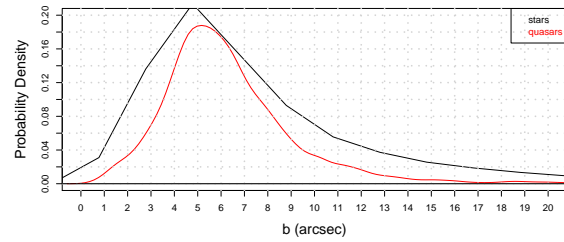
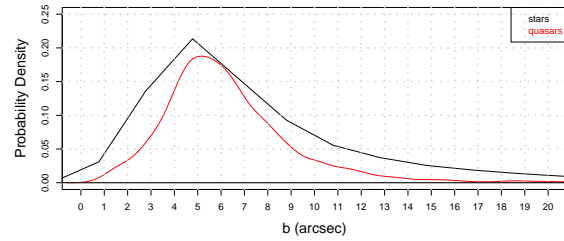


FIGURE 7.23 – Densité de probabilité du demi petit axe pour la bande z



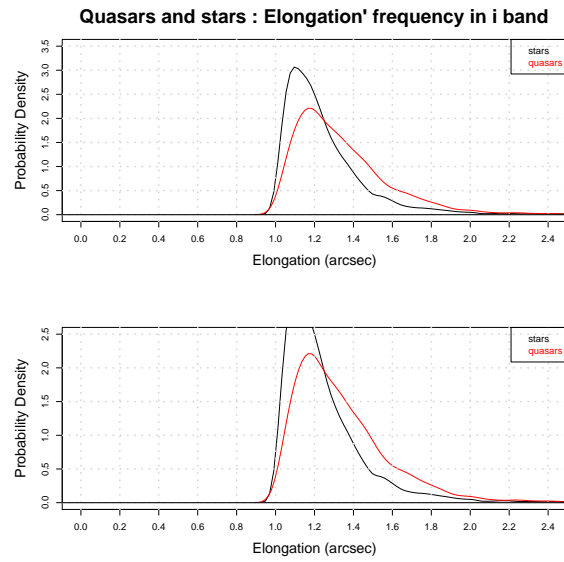


FIGURE 7.24 – Densité de probabilité de l'élongation pour la bande i (quasars en rouge, étoiles en noirs)

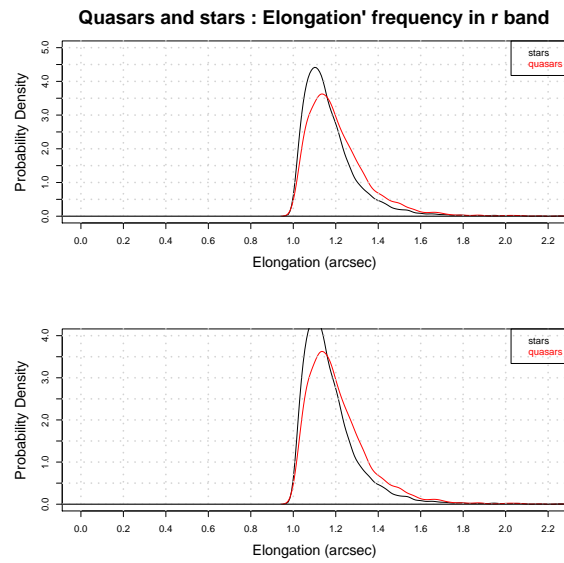


FIGURE 7.25 – Densité de probabilité de l'élongation pour la bande r (quasars en rouge, étoiles en noirs)

## 8 Tableaux : corrélation de Spearman

Quasars	RA-Dec	tobsRA-Dec	RA-Mag	tobsRA-Mag	Dec-Mag	tobsDec-Mag	deg-lib	risque d' erreur
3C273	-0.05738782	0.7818473	0.0927002	1.266312	-0.044883	0.6110907	185	<<<
B01	0.1732412	2.279937	-0.1164508	1.519715	-0.009258875	0.1200139	168	<<<
B04	-0.00473856	0.0676810	0.00613978	0.08769526	0.2170211	3.175359	204	<<1/1000
B06	0.4170749	6.68158	-0.4405528	7.145321	-0.2081185	3.098088	212	1/10000 1/10000 1/200
B07	-0.1493225	2.255144	-0.0449896	0.672519	0.1175552	1.767731	223	<<<
B08	0.09836988	1.472821	-0.08571826	1.281891	-0.03240367	0.4830575	222	<<<
B12	-0.0547345	0.6735985	0.04367541	0.537205	-0.004085312	0.05020157	151	<<<
B29	-0.00957777	0.1044859	-0.03823407	0.4173896	0.3604286	4.215123	119	<<1/10000
B30	0.1358708	0.9402023	-0.1811456	1.262762	-0.01413482	0.0969131	47	<<<
B31	0.00096413	0.017882	0.1385162	2.5941	-0.03153976	0.5852665	334	<<<
B32	0.1427444	2.210870	0.02192718	0.3362182	-0.1407734	2.179721	235	<<<
B33	-0.04003204	0.4085759	-0.06735776	0.6884807	0.0200527	0.2045394	104	<<<
B40	-0.02541026	0.4809401	0.08399886	1.59497	-0.1309029	2.498297	358	<<<
B41	0.00197673	0.02695905	0.04030367	0.5501157	-0.004899329	0.06681874	186	<<<
B42	0.05710144	1.222684	0.05363222	1.148178	0.4289972	10.15261	457	<< 1/10000
B43	0.0685411	1.084110	-0.04577879	0.7231352	0.02735648	0.4318396	249	<<<
B44	-0.1134079	1.906585	0.1052665	1.768121	-0.1878422	3.194446	279	<<<
Mk421	0.03276869	0.6272389	0.0537993	1.030734	0.05030086	0.9635319	366	<<<
B11	-0.1713201	2.883656	-0.09601903	1.599687	0.03735830	0.6199502	275	3.5/1000 <<
B23	0.1216591	1.392123	0.07477546	0.8516703	0.1172284	1.340702	129	<<<
B28	0.06725791	0.7566816	-0.0006852784	0.007692233	0.1452786	1.648234	126	<<<
B35	0.07489148	1.093507	-0.02131033	0.3103536	0.05388161	0.7856695	212	<<<
B39	-0.04585768	0.4901417	-0.2180608	2.385663	-0.04650957	0.4971243	114	< 1.5/100 <
B46	-0.04459670	0.6038939	-0.02949803	0.3992157	-0.2032289	2.807825	183	<< 7.5/1000

TABLE 8.1 – Corrélations entre les paramètres du méridien

Quasars	RA-Dec	tobs	RA-VLBIX	tobs	RA-VLBIS	tobs
B11	-0,0829119	5,199064	-0,1795928	0,966022	0,1008123	0,5361801
Mk421	-0,0044398	0,104313	-0,2821709	1,176491	-0,2953021	1,236344
B17	-0,019445	0,73333991	-0,6102941	2,983759	-0,3823529	1,602619
B21	-0,1774849	6,831839	-0,055932	0,2910869	-0,1199951	0,6280507
B25	-0,1176915	5,783004	0	0	-0,1590707	0,5809344
B27	-0,2693129	12,71693	-0,2343474	0,8691551	0,251429	0,9594032
B28	-0,097328	2,940281	0,1924703	0,5189311	0,08368274	0,222183
Dec-VLBIX	tobs	Dec-VLBIS	tobs	deglib	tstudent	
B11	-0,1123846	0,5984747	-0,3585179	2,032193	3905-28-28-28-28	1/1000-35/100-<-<-3,5/100
Mk421	0,1881139	0,7661333	0,08673207	0,3482406	552-16-16-16-16	<-35/100-35/100-35/100-<
B17	0,3946078	1,663286	0,04411765	0,1710334	1422-15-15-15-15	35/100-7,5/1000-15/100-15/100-<
B21	-0,0019712	0,01024253	0,000492793	0,002560628	1435-27-27-27-27	1/1000-<<<<<
B25	0,2535714	0,9451556	0,1251118	0,4546693	2381-13-13-13-13	1/1000-<-<-35/100-<
B27	0,4060829	1,602205	-0,2142857	0,790992	2068-13-13-13-13	1/1000-35/100-35/100-15/100-35/100
B28	-0,1087876	0,2895433	-0,04184137	0,1107989	904-7-7-7-7	3,5/1000-<-<-<-<

TABLE 8.2 – Corrélation astrométrie/photométrie pour les données du BVID

Quasars	VLBI-X	tobsX-S	VLBI-X-VLBAI	tobsX-I	VLBI-S-VLBAI	tobsS-I	deg-lib	teststudent	
B11	0,7607213		5,370787				21	1/1000	
B14	0,8335805		6,036086				16	1/1000	
B17	0,2907416		1,176877				15	35/100	
B21	0,3330439		1,367969				15	15/100	
B25	0,6413872		3,014211				13	1,5/100	
B27	0,003450633		0,01244151				13	<	
B28	0,8859844		5,731868	0,4666665	0,9139073	0,2442183	0,4362067	4-3-3	3,5/1000-35/100-<

TABLE 8.3 – Corrélation entre les flux VLBA, VLBI\_X, VLBI\_S

Quasars	VLBAI-Mag	tobsI-Mag	deg-lib	teststudent
B01	0,550818	1,866644	8	7,5/100
B04	0,404085	1,325129	9	35/100
B06	0,737393	4,501127	17	5/10000
B08	0,07363848	0,3218565	19	<
B20	-0,239714	0,855332	12	35/100
B28	-0,6277813	1,613026	4	15/100
B30	-0,1083761	0,3776503	12	<
B31	-0,223741	0,6492957	8	<
B32	-0,0571883	0,1811417	10	<
B33	0,08697567	0,1952233	5	<

TABLE 8.4 – Corrélation entre les magnitudes VLBA et du méridien

Quasars	VLBI-Mag	tobsX-Mag	VLBI-Mag	tobsS-Mag	deg-lib	teststudent
B11	0,4763035	2,482366	0,2648821	1,258806	21/21/21'	3,5/100-35/100
B14	-0,01236	0,04099664	0,2090746	0,7090932	16/11/11'	<-35/100
B28	-0,7903193	3,412771	-0,6638055	2,174052	4/7/9'	1,5/100-7,5/100

TABLE 8.5 – Corrélation entre les magnitudes issues du BVID et du méridien

Quasars	RA VLBI-Mer	tobs	Dec VLBI-Mer	tobs	deglib	tstudent
B11	0,2169231	1,065702	-0,2015385	0,986793	23-23	35/100-35/100
B28	0,4666667	1,396017	0,2166667	0,5871945	7-7	35/100-<
Mk421	0,01038961	0,04528971	-0,2194805	0,9806036	19-19	<-35/100-<-35/100

TABLE 8.6 – Corrélation entre les coordonnées astrométriques issues du BVID et du méridien

## Références

- [1] Cales, S. L. ; Brotherton, M. S. ; Shang, Zhaohui ; Bennert, Vardha Nicola ; Canalizo, G. ; Stoll, R. ; Ganguly, R. ; Vanden Berk, D. ; Paul, C. ; Diamond-Stanic, A. «Hubble Space Telescope Imaging of Post-starburst Quasars», The Astrophysical Journal. Volume 741, Issue 2, article id. 106 (2011).
- [2] Bertin, E. « SExtractor User's manual », Version 2.13, Institut Astrophysique et Observatoire de Paris. <http://www.astromatic.net/software/sextractor> [page consultée le 23 Mai 2012].
- [3] Editors : Bienaymé, O. ; Thuron, C. « GAIA : An European Space Project », EDP Sciences, Les Ulis. (EAS Publication Series, Vol.2). ISBN 2-86883-597-X
- [4] Adelman-McCarthy J.K. et al. . « The SDSS Photometric Catalog, Release 7 ».
- [5] <http://hubblesite.org>
- [6] <http://www.star.bris.ac.uk/~mbt/daophot/>
- [7] <http://cas.sdss.org>
- [8] <http://www.sciencedaily.com/releases/2011/06/110629132419.htm>
- [9] <http://cran.r-project.org/doc/manuals/R-intro.pdf>
- [10] [www.sites.univ-rennes2.fr/~laboratoire-statistique/PAC/doc/support\\_cours.pdf](http://www.sites.univ-rennes2.fr/~laboratoire-statistique/PAC/doc/support_cours.pdf)
- [11] [ebookbrowse.com/support-cours-pdf-d74364666](http://ebookbrowse.com/support-cours-pdf-d74364666)