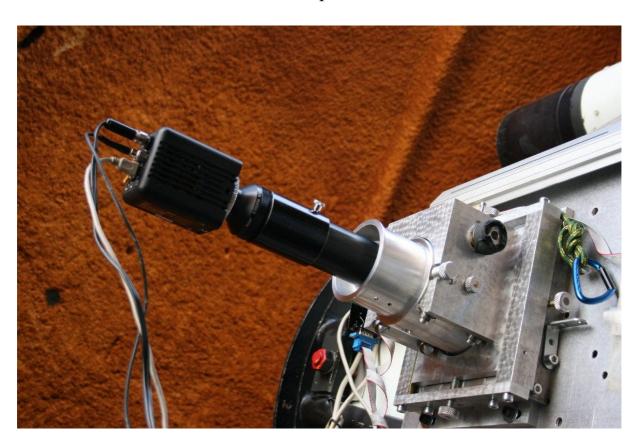




Occultation d'une étoile par un TNO
Test Optique de Roddier sur le T60
Lucky Imaging sur satellites Joviens
Interférométrie des tavelures sur étoiles doubles
Bilan Technique sur le T60



Missionnaires : B. Trégon, M. Castets, Invité : C. Cavadore

### Introduction

Pour déroger à la règle qui veut que le compte rendu retrace le déroulement de la chronologie de la mission, nous avons choisi ici de nous préoccuper séparément de chaque sujet techniques que nous avons abordé au cours de la mission.

En effet, beaucoup de sujets ont été abordés au cours de cette semaine, et la densité de résultat est telle que la chronologie réelle n'a en soi que peu d'importance.

Le but premier de cette mission était de poursuivre l'effort entreprit dans le domaine de l'interférométrie des tavelures au cours des 2 premières missions. La première originalité dans l'approche de cette mission fut le prêt d'une caméra EMCCD que nous a accordé la société Raptor Photonics. Cette caméra CCD étant, au vue de ses performances teheniques, bien au dela de ce qu'offre les caméras CCD standart pour l'amateur, des tests de manip un peu originales ont donc été envisagés, en plus des expériences de speckle interferometry.

Autre originalité de la mission, et pour faire suite à un certains nombre de discussions que nous avons eu ensemble, l'équipe a été renforcée par la présence extrêmement appréciable de Cyril Cavadore, qui au travers de sont implication technique, de son travail sur place et de ses conseils au cours de cette mission, a permis de dresser un bilan complet et de finaliser les réglages de l'autoguidage du T60.

Le compte rendu technique de Cyril est disponible à l'adresse suivante :

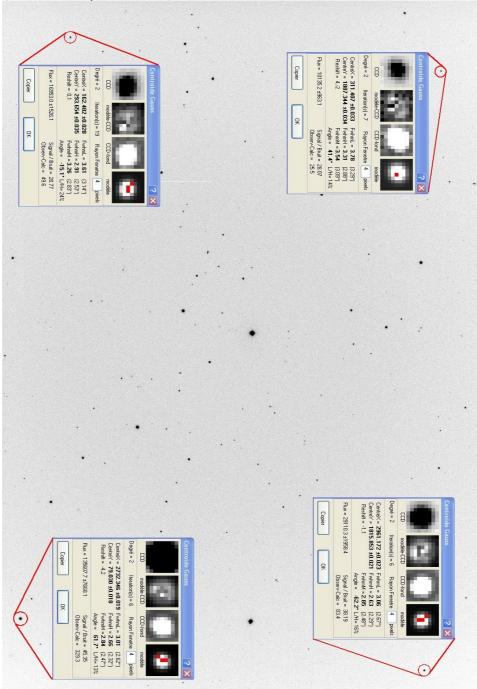
Les sujets abordés ont donc été :

- o Bilan collimation (Détail sur le Rapport de Cyril)
- Essais Camera EMCCD Merlin de chez Raptor Photonics
  - Occultation d'une étoile par un TNO
  - Test Optique de Roddier sur le T60
  - Lucky Imaging sur satellites Joviens
  - Interférométrie des tavelures sur étoiles doubles
- Bilan suivi en AD après remplacement du coupleur moteur et réglage autoguidage sous Prism (Détail sur le rapport de Cyril)

Pour ce qui est du premier et du dernier point de ce rapport, nous ne mensioneront que le résultat principal. Les détails pourront être trouvés sur le rapport de la page précitée.

## **Bilan collimation:**

Ayant à plusieurs reprises put constater que certain observateurs en mission posaient le problème d'un défaut de collimation du télescope, nous avons voulu tester le réglage de l'axe optique directement accessible via la nouvelle platine de translation XY que nous avons monté lors de la mission GST du mois de Mars 2009. Sans donc toucher au calages du secondaire, nous avons pu obtenir le résultat suivant :



L'homogénéité de la PSF sur ne pose d'une dizaine de seconde aux 4 coins d'une image faite avec la STL6303 ne laisse aucun doute (moins de 3.3" d'arc en binning 1x1), une collimation presque parfait peut être atteinte en utilisant uniquement la platine XY. La dérive du primaire (ou un problème sur le support de secondaire) lors du passage au méridien peut par contre expliquer la décollimation de l'ensemble en fonction de la direction de pointage. La correction de ce problème est prévu après la reprise optique du télescope prévue au printemps 2010.

# **Essais Camera EMCCD Merlin de chez Raptor Photonics**

Lors de la mission Speckle Pic III effectuée au T60 du 29 juin au 6 juillet, la société Raptor Photonics nous a très gentiment prêté une camera EMCCD afin de procéder à des tests de prise vidéo rapide sous conditions de faible luminosité.

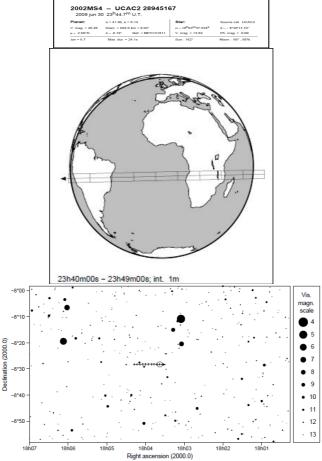


Nous avons procédé pour l'occasion à un certain nombre d'expérience simple mais aux limites de ce que l'on peut réaliser à l'aide d'une camera vidéo dans le domaine de l'astronomie amateur.



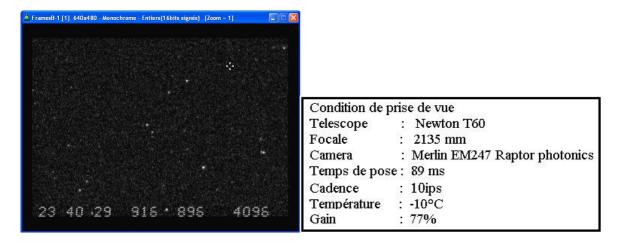
Manip 1 : Occultation d'une étoile par un astéroïde trans-neptunien (TNO : 2002MS4)

La première expérience consiste à observer en mode vidéo, une éclipse d'étoile par un astéroïde. L'intérêt de cette manip est de permettre, quand elle est réussie d'obtenir avec une précision extrême (de l'ordre de quelques km), la dimension de ces corps qui est actuellement encore mal connue. Le sujet de cette première expérience est un astéroïde de la classe des TNO (Trans neptunian orbiter). Il s'agit d'un astéroïde gravitant au-delà de l'orbite de Neptune, et appartenant à la classe des « petites planètes ». L'incertitude sur la dimension de ces corps est énorme, et seule une manip de type occultation est à même de permettre une détermination de leurs dimension avec la précision précitée. Les prédictions de passage de cet astéroïde (nommé 2002MS4) devant l'étoile UCAC28945167 sont les suivantes :

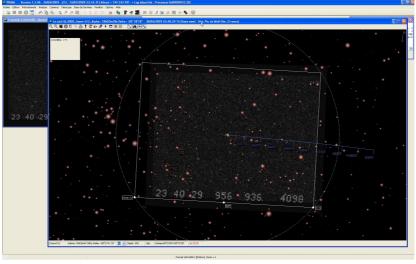


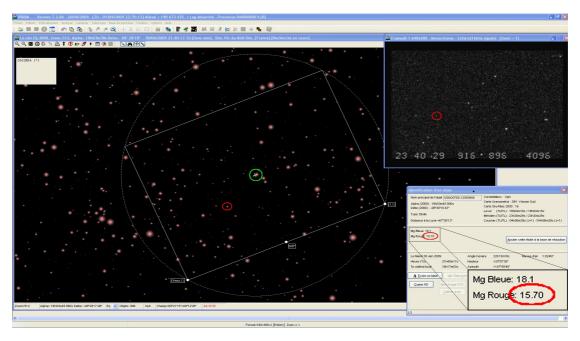
Nous étions loin de la zone d'éclipse, mais l'incertitude sur la position réelle de l'étoile, ainsi que sur la trajectoire de l'astéroïde nous ont incité à tenter l'expérience. A la demande des astronomes professionnels de l'IMCCE (Institut de mécanique céleste de l'observatoire de Paris), nous avons enregistré une séquence vidéo avec incrustation du temps reçue par signal GPS.

Extraction d'une pose brute :



L'étoile cible, de magnitude 13.82 est parfaitement visible sur la séquence video. Après incrustation de l'image sur une carte de champs, nous avons pu vérifier la sensibilité de cette caméra en scannant les étoiles présentes sur les poses de 89ms.

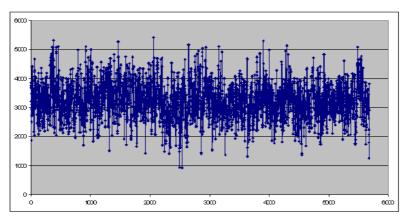




Le cliché précédent montre qu'une pose de 89ms suffit à obtenir des magnitudes de 15.7 sans difficulté. Nous verrons plus loin que la magnitude limite en mode video que nous pouvons obtenir avec une cadence suffisamment rapide pour ce genre d'événement peut atteindre la magnitude 16.2.

Résultat : La vidéo a été transmise à Jean Lecacheux, Astronome professionnel à l'observatoire de Paris Meudon, pour extraction de la courbe de variation de luminosité de l'étoile.

La courbe brute ne montre malheureusement pas l'éclipse tant attendue. Le résultat est malgré tout très probant en termes de sensibilité. La Camera Merlin permet une cadence intéressante pour avoir une bonne précision sur la datation relative des images, et une sensibilité permettant d'atteindre des occultations de faibles magnitudes.

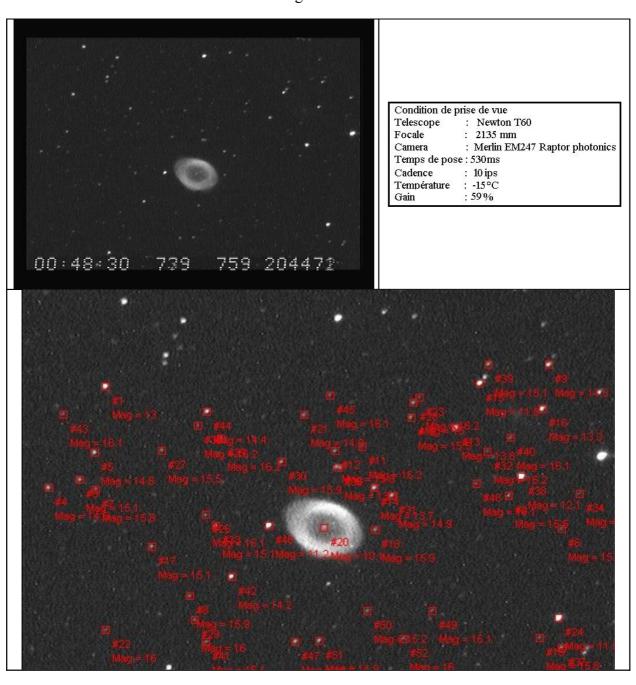


Il serait par contre intéressant de faire quelques tests complémentaires pour caractériser la précision temporelle absolue que l'on peut obtenir en incrustant la datation de l'image sur le signal vidéo et en jouant sur la cadence d'acquisition.

## Manip 2 : un peu de tourisme en ciel profond

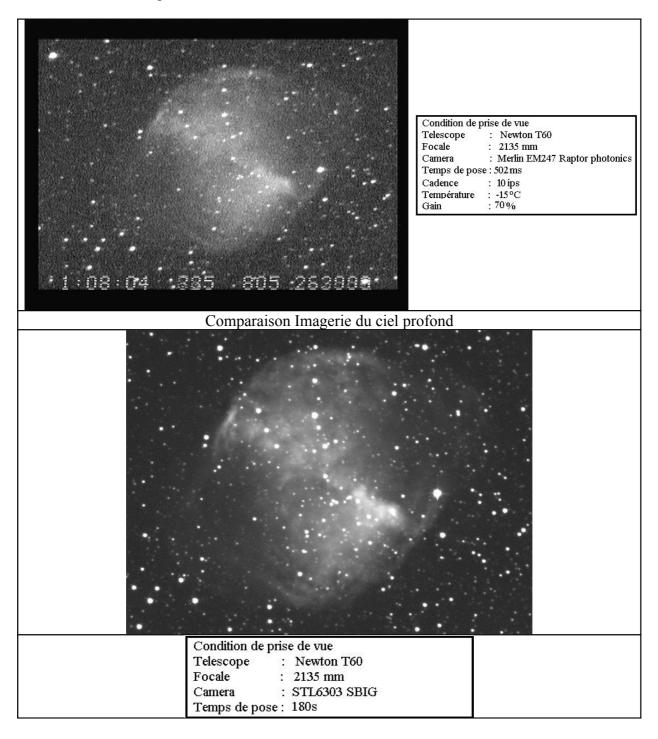
Afin de se donner une idée des performances de la camera Merlin sur des objets étendus, nous avons pendant une petite heure, tenté des acquisitions vidéos sur des objets du ciel profond.

Nous avons pris comme première cible la nébuleuse de la Lyre (Messier 57), nébuleuse planétaire. Le résultat est impressionnant. Un temps de pose de « seulement » 500ms avec un gain moyen de 59% permet de faire apparaître les extensions de la nébuleuse. Le gain sature aux environ de 77%. Il reste donc de la marge en termes de sensibilité.

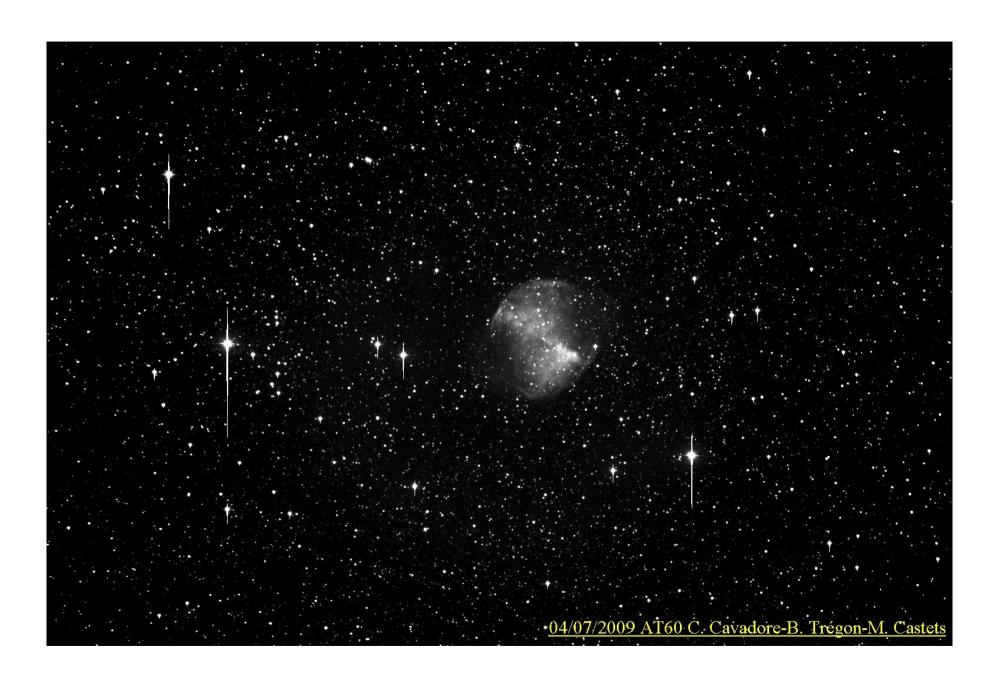


Une petite analyse photométrique des objets présents sur le cliché permet d'estimer la magnitude limite dans ces conditions de prise de vue. Le résultat est très intéressant : Magnitude limite  $16.2 \text{ Flux} = 2351.5 \pm 328.9 \text{ S/N} = 13.16$ 

La deuxième cible est aussi un objet très connu, la Nebuleuse Dummbell (Messier 27), la aussi une nébuleuse planétaire bien connue.



A titre de comparaison, nous présentons ici une image obtenue en pose longue a l'aide d'une caméra CCD classique. Le rapport signal/bruit est moins bon, ce qui est logique par rapport aux caractéristiques intrinsèque de la matrice. De plus l'image obtenue avec la camera SBIG est prétraitée, mais ce qui est étonnant est d'obtenir des résultats comparables en terme de magnitude limite. On commence, en mode vidéo à percevoir les extensions de la bulle de gaz en 500ms alors qu'elles commencent à se détacher clairement avec des poses de 180 secondes en imagerie classiques.

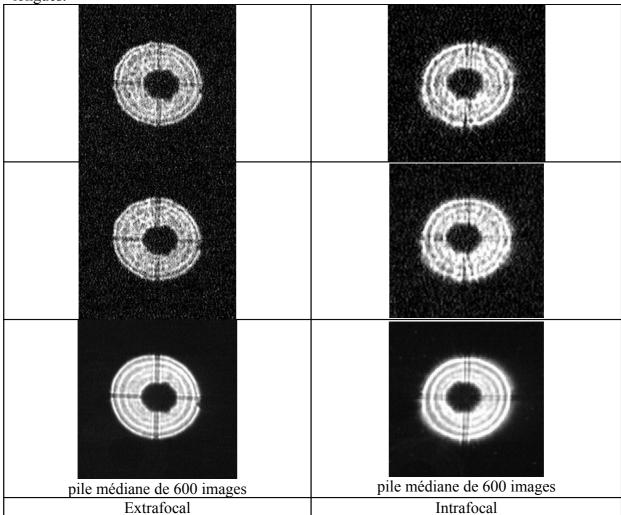


Manip 3 : Caractérisation optique du télescope (test de Roddier)

La troisième expérience a consisté à faire une analyse directe de la qualité optique du télescope.

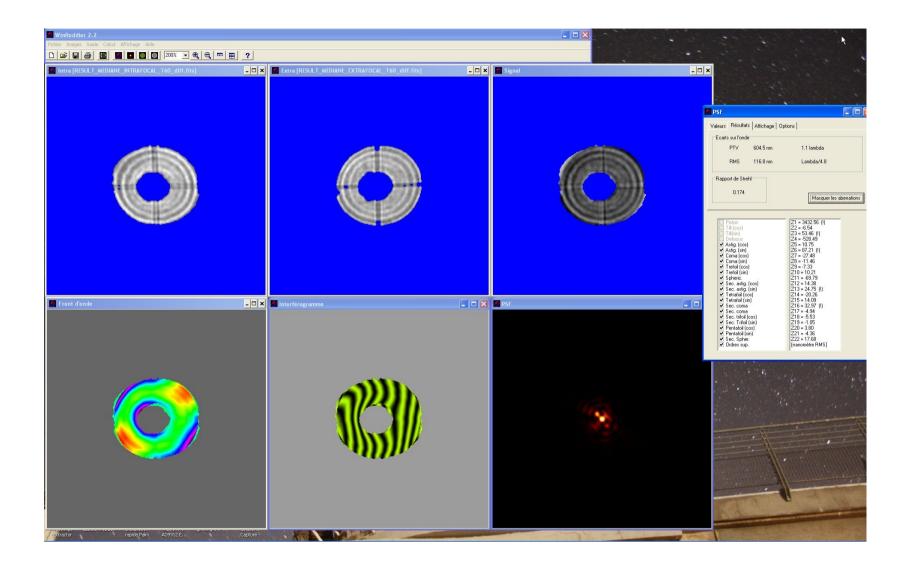
Nous avons pour cela utilisé le test de Roddier, qui consiste à calculer les aberrations optiques en imageant une étoile défocalisée intra et extra focale. En condition de prise de vue vidéo, (ici filtrée en halpha 13nm de bande passante) on obtient des images brutes « bosselées » par la turbulence (voir ci-dessous les deux premières lignes du tableau). La prise de vue en conditions vidéo, en appliquant un traitement statistique de cette dernière, permet de s'affranchir de ce bosselage, méthode plus aléatoire lorsque l'on travaille en poses plus

longues.



La dernière ligne du tableau présente la pile médiane obtenue sur la séquence vidéo intra et extra focale. C'est donc l'image débarrassée de la turbulence que nous avons utilisée pour le test. Le test optique de Roddier effectué pour l'occasion sur le T60 du pic du midi, est décrit à la page <a href="http://www.astrosurf.com/tests/roddier/roddier.htm">http://www.astrosurf.com/tests/roddier/roddier.htm</a>.

Pour effectuer la mesure, nous avons utilisé le logiciel WinRoddier disponible sur la page : http://www.astrosurf.com/tests/roddier/projet.html

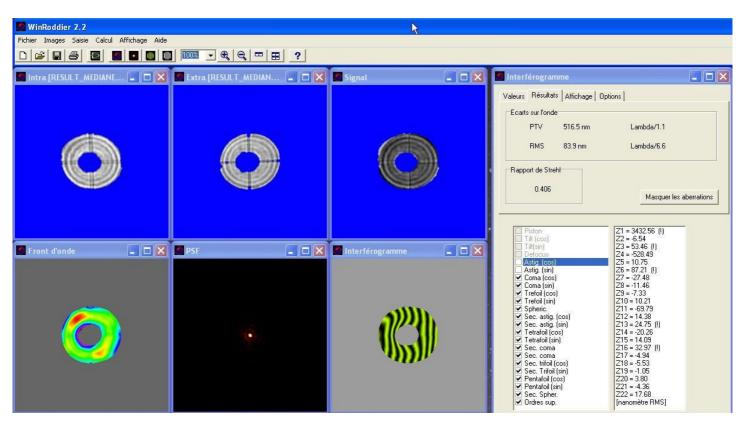


Le logiciel permet d'extraire le signal intra et extra focal, de faire la synthèse du signal au niveau de la pupille, puis de calculer le front d'onde, l'interférogramme, ainsi que la PSF.

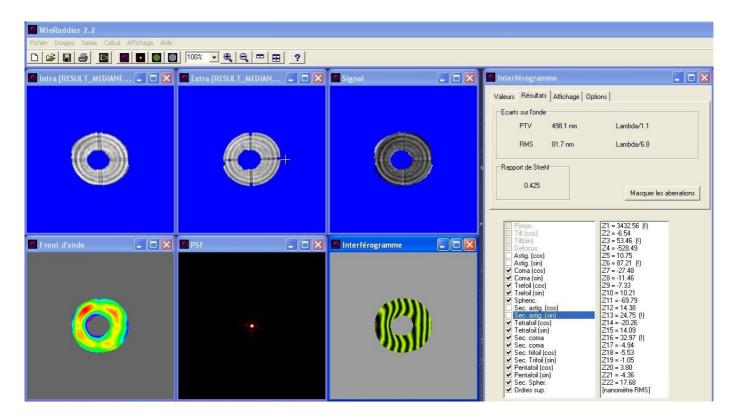
Il apparait que le calcul montre un écart sur l'onde à lambda/4.8 rms, et un rapport de strehl de 0.174. On voit parfaitement le "zonage" du miroir, ainsi qu'un certain astigmatisme.

Ce test me semble cohérent par rapport aux expériences que nous avons mené en lucky imaging planétaire, à savoir que l'on a pas pu obtenir de bon résultats à fort échantillonnage, malgré la qualité reconnue du site en terme de seeing. Par contre, l'optique n'étant pas mon domaine de prédilection, si l'un d'entre vous peut commenter ce résultat (ainsi que la méthode)...

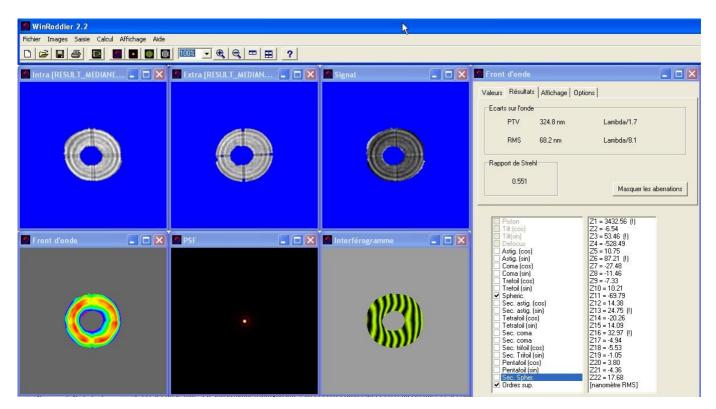
En complément, et pour faire suite aux commentaires de François Colas, Cyril Cavadore et Guillaume Blanchard, voici des captures d'écran montrant le front d'onde et la PSF en supprimant successivement l'astigmatisme (premier et second ordre), la coma (premier et second ordre) et les défauts asphériques.



Suppression Astigmatisme premier ordre



Suppression Astigmatisme second ordre



Suppression défauts de révolution

On retrouve donc l'ordre de grandeur des valeurs receuillies par Guillaume Blanchard lors de sa mission de 2003. L'utilisation de cette caméra permet donc de faire un test de Roddier rapidement directement sur une étoile brillante.

## Manip 4: Essais en « Lucky Imaging » sur les satellites de Jupiter

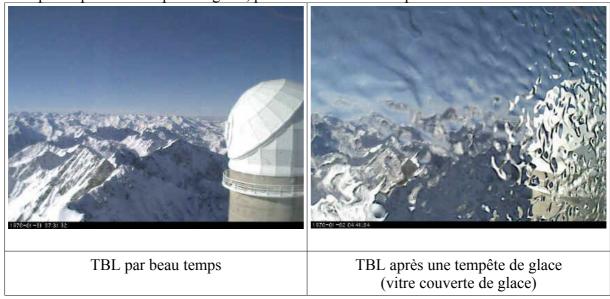
La sensibilité de la caméra Merlin est telle qu'il est possible pour un prix certes élevé (pas tant que cela au regard des performances) de mettre en application les techniques dites de "Lucky Imaging" autrement dit "imagerie chanceuse". Il s'agit de sélectionner les images pour lesquelles, avec un temps d'exposition suffisamment court pour "Figer la turbulence", la déformation de l'objets est minimale.

Une description exhaustive de la technique est donnée à l'adresse suivante :

http://www.ast.cam.ac.uk/~optics/Lucky\_Web\_Site/LI\_Amateur.htm

L'idée est a peu près équivalente à celle consistant à figer l'image d'un poisson vu au dessus de la surface d'une rivière. Tant que la surface est agitée, l'image est complètement déformée, mais si on réduit le temps d'exposition et que l'on augmente le nombre d'image, on peut obtenir avec une probabilité non négligeable, une image dont la déformation est faible (mais malgré tout non nulle).

Pour illustrer mon propos, 2 images des webcams de l'observatoire du pic du midi, dont l'une a été prise après une tempête de glace, permettent de bien comprendre l'idée :



La valeur de cette probabilité (Cf pages de Cyril Cavadore sur le sujet) dépend de la structure de la turbulence (taille du paramètre de Fried) par rapport au diamètre du télescope.

http://www.astrosurf.com/cavadore/optique/turbulence/index.html

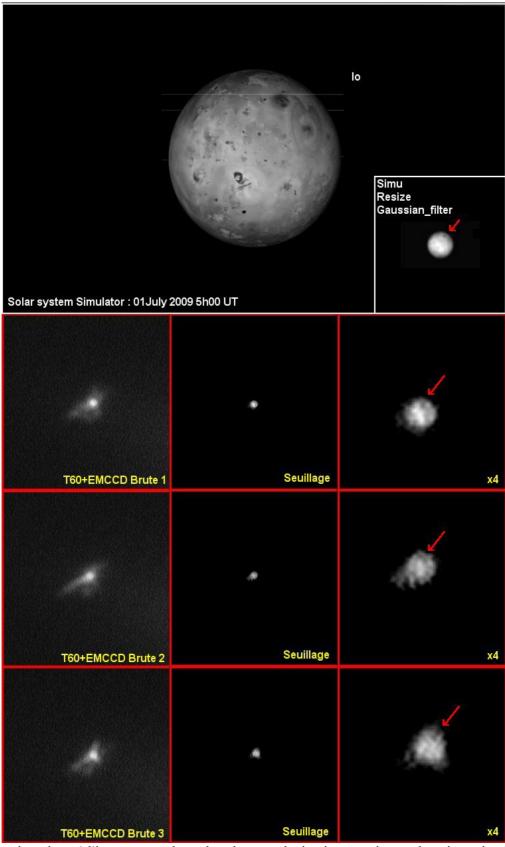
http://www.astrosurf.com/cavadore/optique/turbulence/Probability\_of\_getting\_a\_lucky\_.pdf Sachant que l'optique du T60 est perfectible (la remise a niveau du primaire et du secondaire est prévue pour le courant de l'année 2010), on imagine aisément le potentiel apporté par cette technique. La position des satellites de Jupiter au moment de l'observation est la suivante : Simulations éphémérides avec le logiciel « Jupiter2 » de Sylvain Rondi



Configuration des satellites de Jupiter au moment de l'observation Première cible envisagée : le satellite Galiléen Io.

Le système d'acquisition est identique à celui utilisé pour la manip de speckles (T60 pic du midi en tirage oculaire). Une innovation toutefois est l'utilisation avec cette camera, vu sa sensibilite, d'un filtre Halpha de 13nm de BP. Dans un premier temps, nous avons effectué

une simulation de l'aspect de Io à l'heure de l'observation à l'aide du logiciel Solar System Simulator.



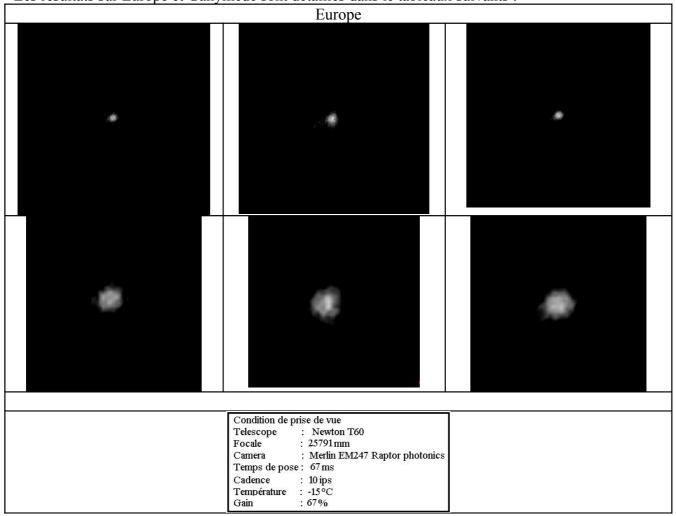
Après avoir redressé l'image avec le sud en haut, colorisation en niveau de gris, puis réduction à une taille comparable à celle des images de la vidéo (encart de droite). L'échantillonnage

équivalent est de 0.085"/pixels. Les images de Io à la date d'observation s'étalent donc sur une quinzaine de pixels de diamètre.

Les trois lignes en rouge représentent la sélection manuelle (en effet les algo de sélection de type bestof sous prism ou Iris ne fonctionnent pas sur ce type d'images) des 3 meilleures images de la séquence, en comportant au départ plus de 5000.

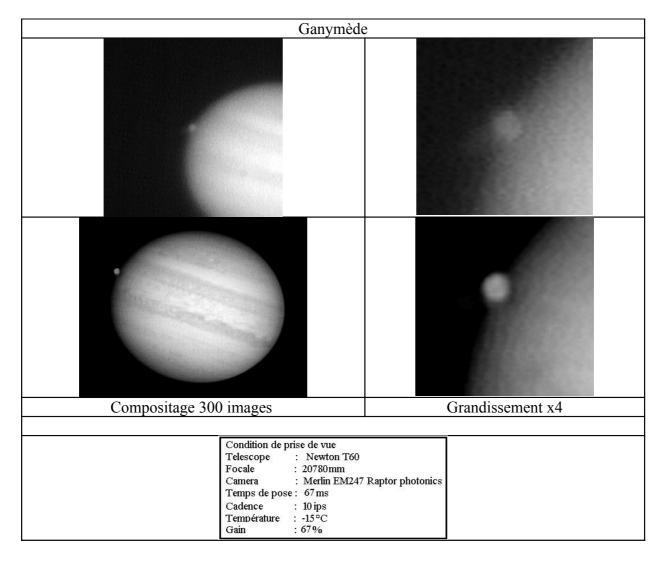
La seule image vraiment valable est celle de la première ligne (brute1). On note la présence d'une structure sombre sur le bord supérieur droit, correspondant à la position d'un volcan plutôt sombre près du pole nord du satellite. Ne connaissant pas cette structure, je serai bien en peine de retrouver son nom. Ce qu'il y a par contre de remarquable, est par contre que cette tache sombre est présente sur les 3 meilleures images de la séquence. Dans la mesure ou ces images n'ont subi aucun traitement, il est vraisemblable de considérer que ces détails sont bien des détails de surface du satellite Io.

Les résultats sur Europe et Ganymède sont détaillés dans le tableaux suivants :



Les tableaux d'éphémérides (obtenues sur le site de l'IMCCE-Observatoire de Paris) nous donnent pour les trois satellites observés, les données de rayon apparent suivants : Io : 0.5857'' d'arc, Europe : 0.5013'' d'arc et Ganymède : 0.8444''.

L'obtention du diamètre apparent des satellites ne pose aucun problème. Les disques planétaires s'étalent sur une dizaine de pixels. Les images sélectionnées sont rares, et souvent déformées. Il est donc très difficile d'estimer si les détails de surface sont réels ou pas.



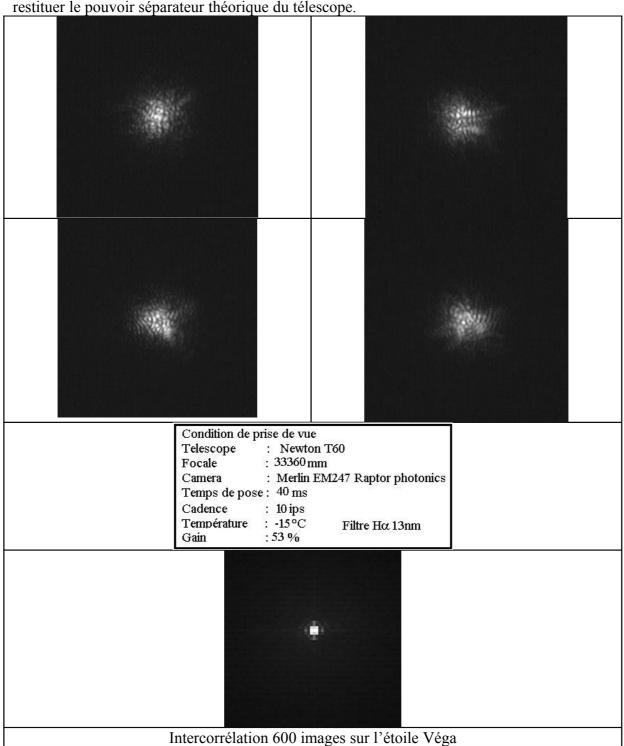
Les clichés de la deuxième ligne du tableau précédent montrent par comparaison la technique du « shift and add » sur Ganymède, ou l'on voit parfaitement sortir les détails de la surface du satellite.

# Manip 5 : Interférométrie des tavelures

L'objectif principal de la mission restait la mise en application de la camera Merlin dans la méthode de détermination des positions d'étoiles doubles serrées en interférométrie des tavelures (Speckles interferometry).

Le principe de la méthode est la prise de vue en vidéo rapide d'image à court temps de pose afin de geler la turbulence. On obtient alors des « grappes de raisin » au sein desquelles sont présents les fréquences spatiales les plus élevées (les détails les plus fins) accessibles à l'aide du télescope utilisé. Une reconstruction par un algorithme d'intercorrelation permet alors de

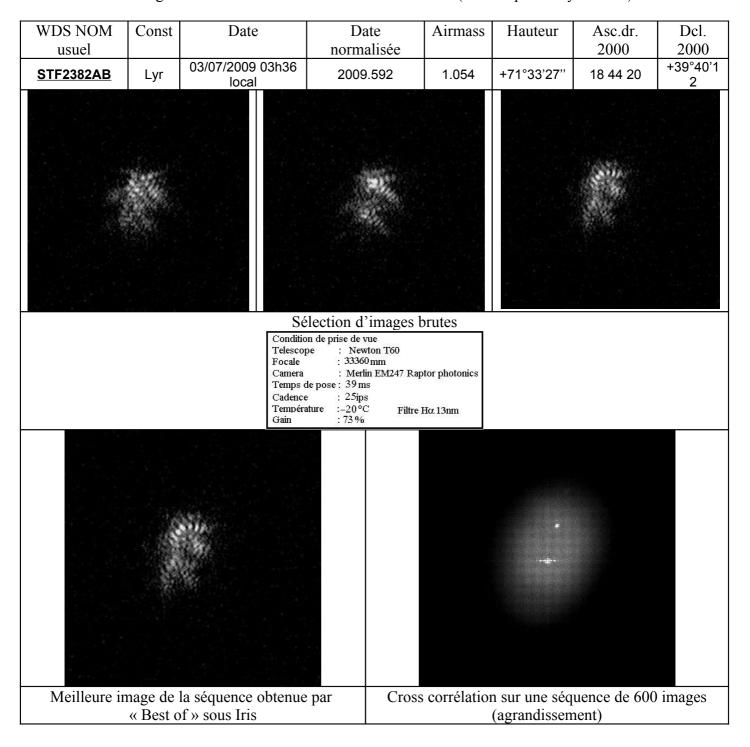
restituer le pouvoir séparateur théorique du télescope.

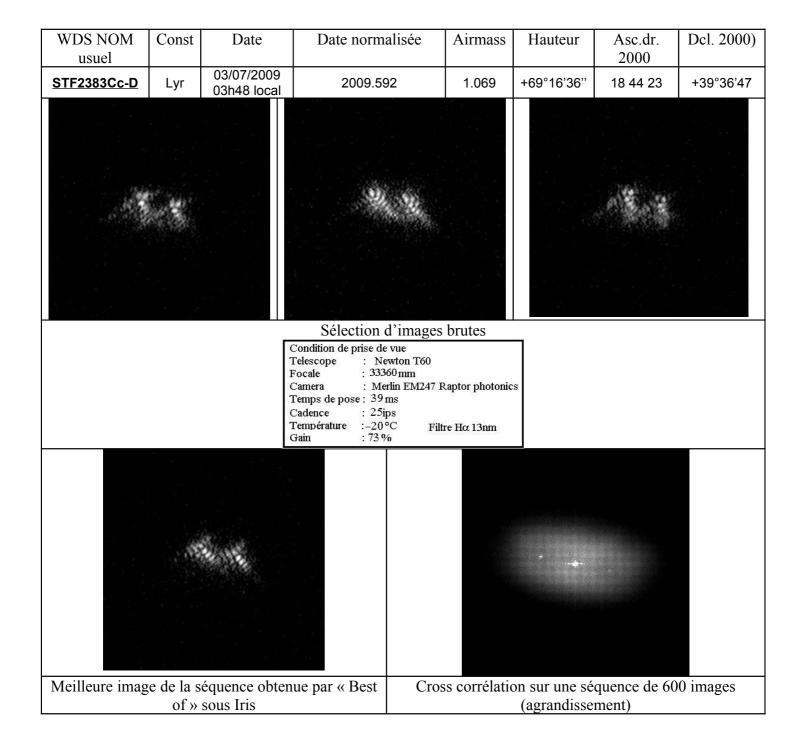


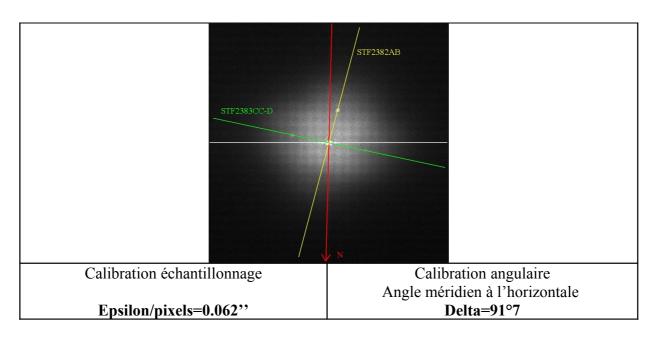
La difficulté principale est d'obtenir des images de tavelures très contrastées et sous des temps de poses les plus courtes possibles. L'augmentation du contraste passe par un filtrage chromatique étroit.

Dans le montage que nous utilisons, nous employons un filtre interférentiel à bande étroite (13nm de bande passante), absorbant énormément de lumière. La Merlin permet d'obtenir sous faible flux, et avec filtrage, des tavelures extrêmement bien séparées (voir tableau précédent).

Fort de ce constat, nous avons procédé à l'étalonnage de position de la camera en angle et en échantillonnage en utilisant des étoiles doubles de référence (ici les Epsilon Lyre 1 et 2)

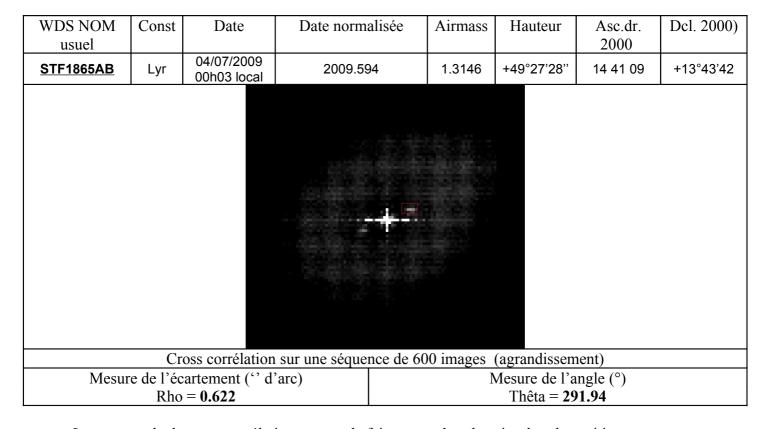






Une fois la calibration effectuée, ne restait plus qu'à faire des mesures de doubles serrées. Une vingtaine d'étoiles ont été étudiées pendant la mission, nous présentons ici l'exemple de traitement appliqué sur l'une d'entre elles.

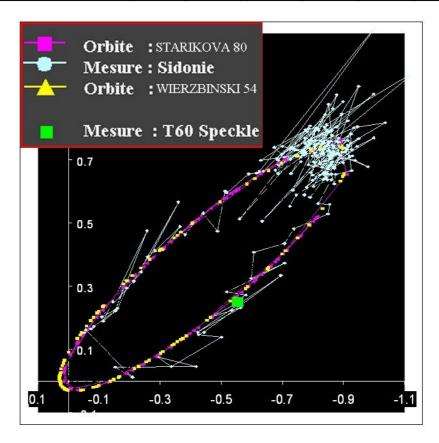
Mesure sur une orbite serrée l'étoile STF1865AB



La commande de cross-corrélation permet de faire apparaître des pics dont la position et l'écartement au centre du cliché correspondent à la position et à l'écartement des composantes du couple d'étoiles doubles. La mesure est alors triviale.

Pour confirmer la position de l'étoile par rapport à son orbite déterminée par les professionnels, nous avons récupéré les données orbitales théoriques et les points de mesures connus sur cette étoile. La position mesurée est marquée par le petit carré vert. On voit que la corrélation en position est parfaitement cohérente avec le modèle théorique.

Auteur	Р	n	T	а	е	i	О	W
WIERZBINSKI 1954	123.44	2.9164	1897.59	0.595	0.957	142	129.99	1.47
STARIKOVA 1980	127.7	2.8191	1897.92	0.638	0.971	147.43	161.55	37.40



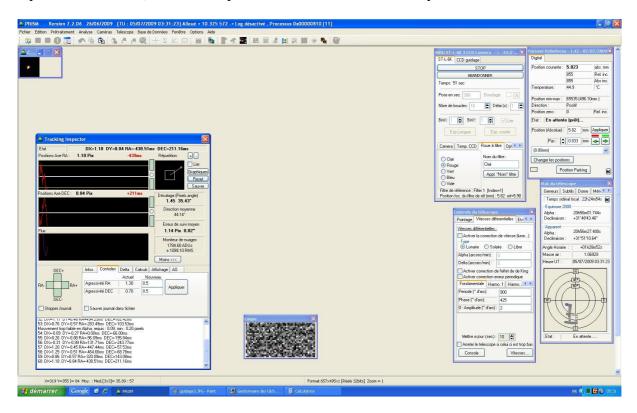
A l'issue de ces expériences en imagerie exotique, nous sommes revenu sur de l'imagerie "classique", avec ici les dentelles du cygne. Au foyer du T60, Camera STL6303, Reducteur de Focale.



Etude du suivi après remplacement du coupleur AD

Au cours de la mission, le coupleur mécanique assurant liaison entre le moteur alpha et la vis sans fin à cassé. L'équipe technique de l'OMP a pu assurer rapidement en changement de pièce, avec l'aide des techniciens du TBL. Nous avons pu ainsi mener notre mission à terme. Il est a noter que le type de coupleur nécessaire au télescope est un coupleur homocinétique.

Après réinstallation, nous avons pu mesurer l'erreur de suivi moyen a environ 0.82".



### **Conclusion:**

Nous avons montré que la caméra EMCCD modèle Merlin EC247 de la société Raptor Photonics au vue de sa sensibilité et de sa cadence vidéo, est parfaitement adaptée aux expériences suivantes :

- Occultations d'étoiles par des astéroïdes mag limite 15.7
- Lucky imaging de surfaces satellitaires joviennes
- Contrôles optiques à faible flux (caractérisation de télescope sur site, test de Roddier)
- Interférométrie des tavelures sur étoiles doubles serrées et filtrage étroit.

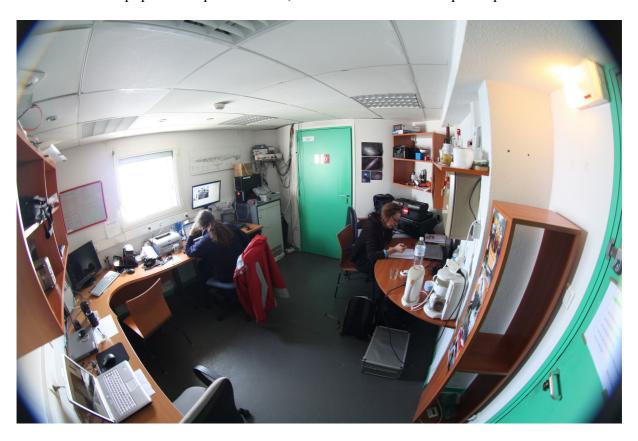
Pour définir les limites d'utilisation de cette camera, il serait utile de poursuivre des tests plus poussés en terme de caractéristiques propre (poses ultra courtes, bruit de lecture, cadence vidéo réelle, etc.). La seule critique restant toutefois sur la partie logicielle, sur laquelle des améliorations seraient fortement souhaitables

Les résultats sur une vingtaine d'étoiles doubles sont données en annexe de ce rapport.

Ce fut donc une mission extrêment riche d'enseignements, et de résultats.

Nous avons eu le plaisir d'acceuillir au sein de cette mission Cyril Cavadore, que je tiens a remercier tout particulièrement pour son aide, ses conseils avisés, sa participation au maintient de notre cher T60, ainsi que pour les bons moment que nous avons partagé au cours de cette mission.

Merci aussi à l'équipe technique de l'OMP, dont le dévoument n'est plus à prouver.



B. TREGON - M. CASTETS - C. CAVADORE