

La photométrie des astéroïdes



Luberon Sud astro
Patrick Sogorb
14 Juin 2019



Photométrie?

La photométrie est une mesure de la luminosité des astéroïdes. Cette méthode permet de lever le voile sur une bonne partie des caractéristiques physiques des corps.

En premier lieu, une mesure photométrique à travers des filtres photométriques calibrés (UBVRI) donne une indication de la composition de surface, et donc de l'albédo. Si l'on connaît l'albédo, la distance (via le calcul orbital) et la luminosité, il est possible de calculer la taille du corps.



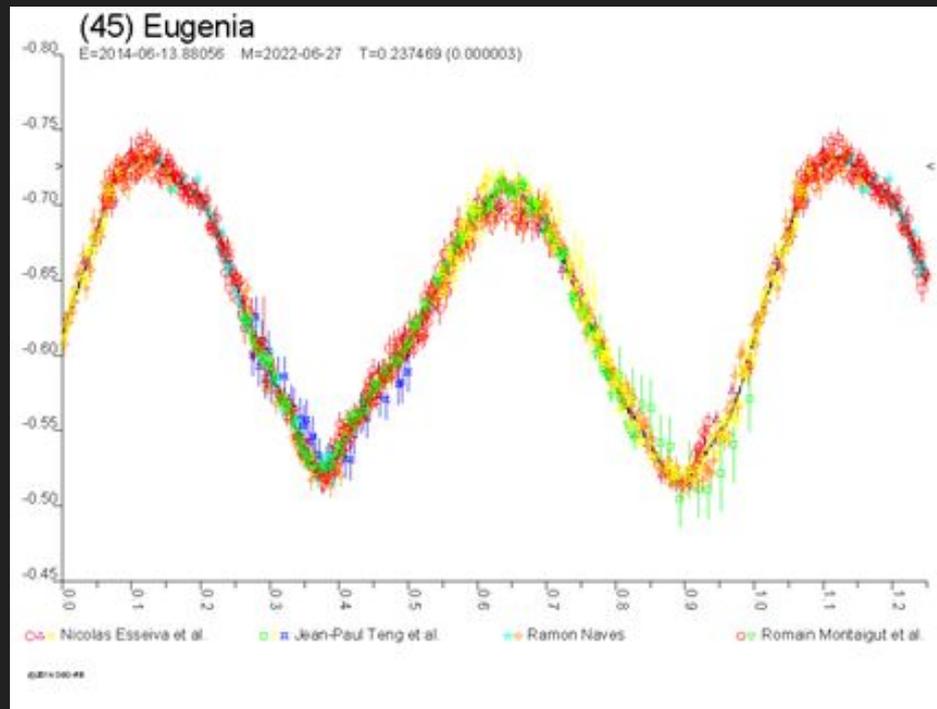
Principales classes d'astéroïdes

	Signification	Portion	Caractéristiques
Type C	Carboné	75%	Ces astéroïdes sont très sombres (coefficient d'albédo autour de 0,03) et similaires aux météorites chondrites carbonées. Leur composition chimique est proche de celle du Système solaire primitif, sans les éléments légers et volatils comme les glaces. Leur spectre est plutôt bleu et plat.
Type S	Silice	17%	Ils sont assez brillants (albédo 0,10-0,22). Ils sont riches en métal : (fer, nickel et magnésium principalement). Leur spectre se situe vers le rouge, similaire à celui des météorites sidérolithes.
Type M	Métallique	le reste	Ils sont faits d'alliage fer-nickel et brillants (albédo 0,10-0,18).

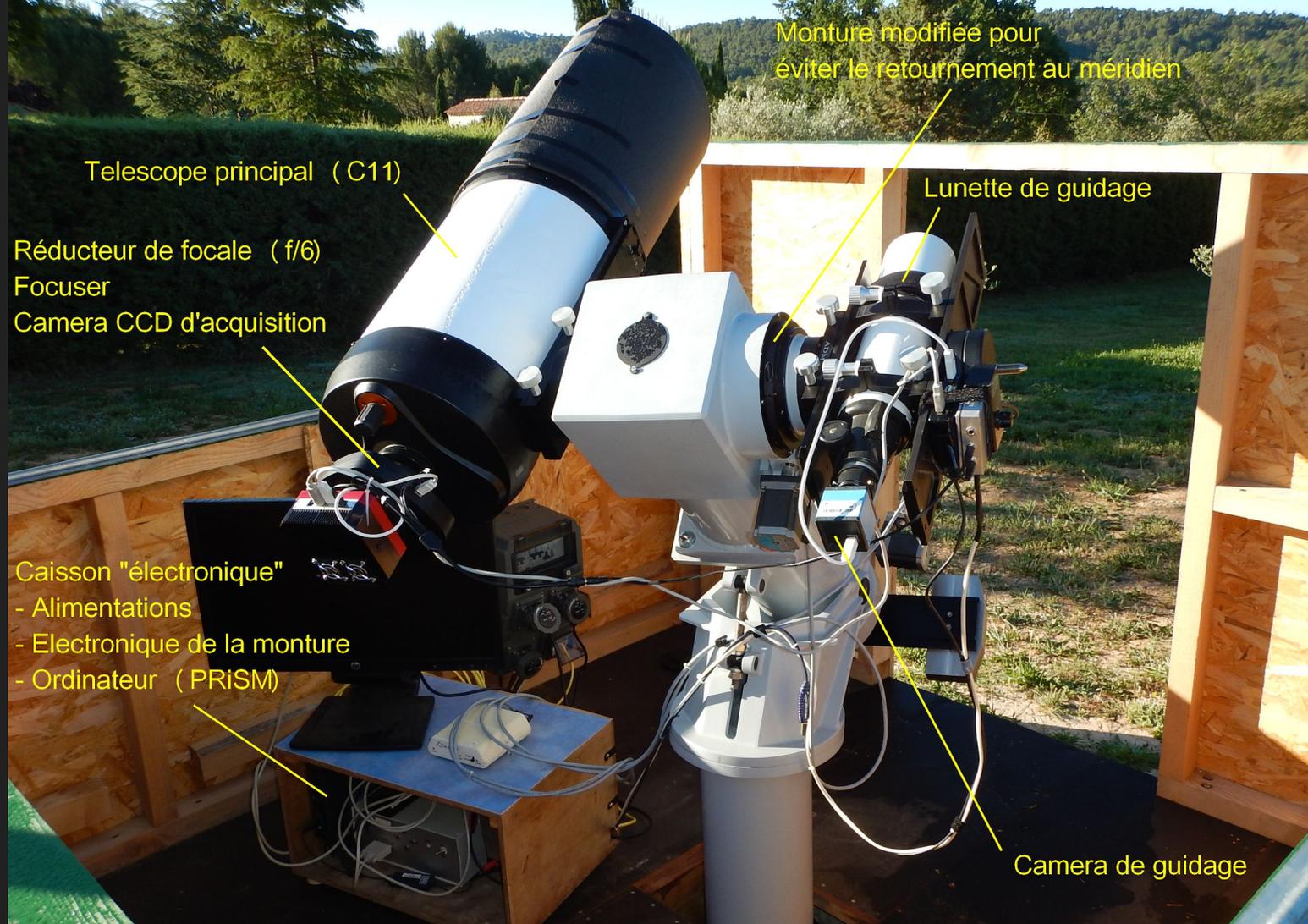
CDR

Les Courbes De Rotation désigne une mesure photométrique de précision et de longue durée sur un astéroïde. Le corps, n'étant pas de forme parfaitement sphérique, ni d'albédo parfaitement uniforme, on peut voir la luminosité d'un astéroïde varier lorsqu'il tourne sur lui-même.

Cette méthode permet de mesurer la période de rotation d'un astéroïde, mais aussi l'orientation de l'axe de rotation, la présence de satellites éventuels et même de concevoir un modèle 3D de la forme de l'astéroïde. Ce type d'observation se déroule nécessairement de façon collaborative, car un grand nombre de mesures, sur des durées longues sont nécessaires.



Le matériel



Telescope principal (C11)

Réducteur de focale (f/6)

Focuser

Camera CCD d'acquisition

Caisson "électronique"

- Alimentations
- Electronique de la monture
- Ordinateur (PRISM)

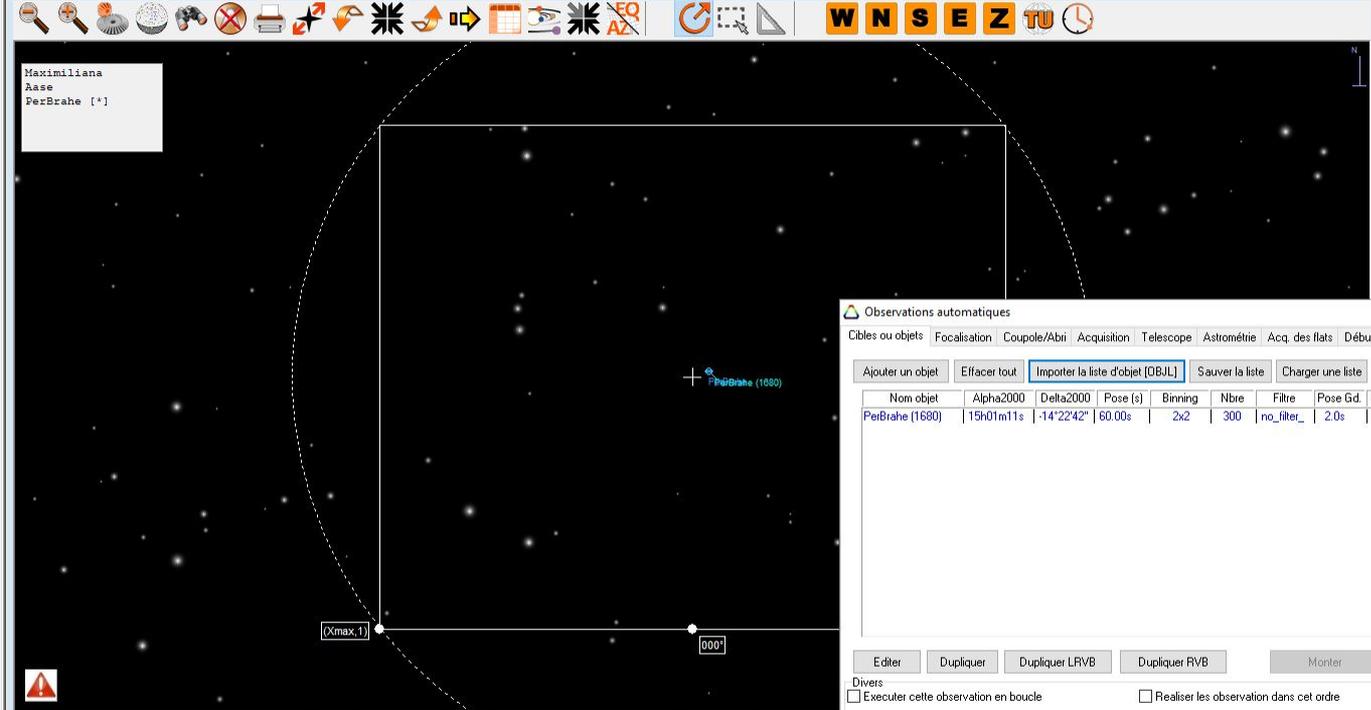
Monture modifiée pour éviter le retournement au méridien

Lunette de guidage

Camera de guidage



Le ciel EQ.2000-1-1, Zoom=256, Alpha= 15h01m13s Delta= -14°22'57" 12/06/2019 21:59:28 TU [Window I.mapsky] La Bastide des Jourdans [France] [Aucun mouvement de telescope autorisé]



Zoom=256 Azimuth=192°39'38" Hauteur=+30°47'53" Az Objets: 112 Lib Champ=55' x 1.0° Mode carte Equatorial, sideral, C

Contrôle du télescope

Etat du télescope

Focuser (n°1) : FLI.Focuser

Roue à Filtres interne CCD (n°1)

TIS_IC Camera

ARTEMIS CCD ATIK-One60 -> 19.1°C [...]

ARTEMIS CCD ATIK-One60

DEPARTIR ABANDONNER

Temps:

Exp (sec) 60 Bouclage Bouclage infini

Nbre de boucles 10 Délat (s) 1

Rel. inc. Abs inc. 180

mm Appliquer

mm

Minimiser

Observations automatiques

Cibles ou objets Focalisation Coupole/Abri Acquisition Telescope Astrométrie Acq. des flats Début des observations Fin des observations Gest. Erreur Execution

Ajouter un objet Effacer tout Importer la liste d'objet [OBJ.L] Sauver la liste Charger une liste Effacer un Fusionne liste

Nom objet	Alpha2000	Delta2000	Pose (s)	Binning	Nbre	Filtre	Pose Gd.	Guidage	Focus	Rotateur
PerBrahe (1680)	15h01m11s	-14°22'42"	60.00s	2x2	300	no_filter_	2.0s	Oui	Non	Non 0.0°

Editer Dupliquer Dupliquer LRVB Dupliquer RVB Monter Descendre

Divers

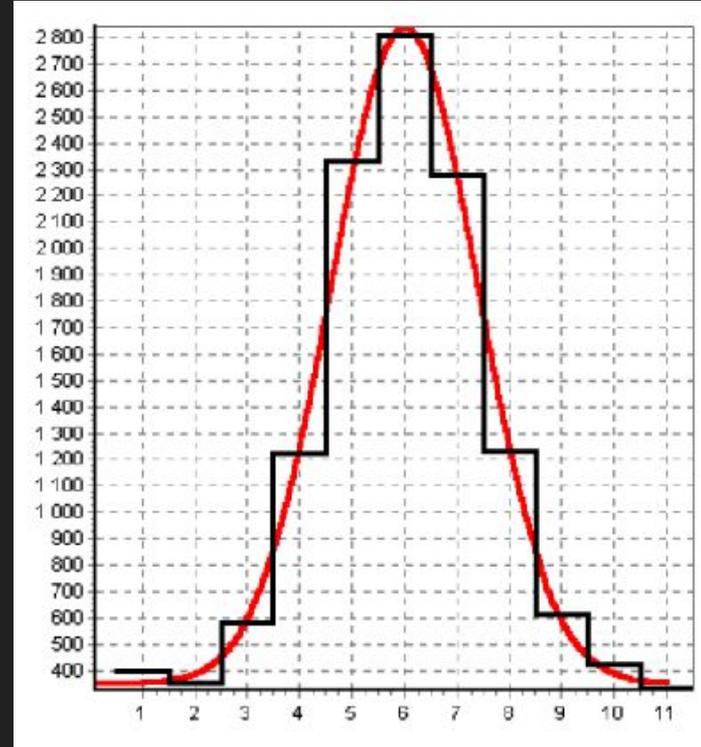
Executer cette observation en boucle Realiser les observation dans cet ordre Estimation durée 05h 00m 00s

Nb Boucles 2

Charger Config Sauver Config Memoriser Params Fermer

Acquisitions

PRiSM servant de chef d'orchestre, les acquisitions se font en automatiques durant toute la nuit. Au début de la nuit, on veillera à choisir un temps de pose en fonction de la luminosité de l'astéroïde. L'idéal est que les pixels du centre de l'étoile occupe une bonne partie de la dynamique du capteur (au moins la moitié), en évitant à tout prix de saturer.



Pré-traitements

Nous allons faire des mesures le plus précises possibles, il faut donc faire des images de calibration (dark, flat, offset) et faire les pré-traitements dans les règles de l'art, avec beaucoup de rigueur.

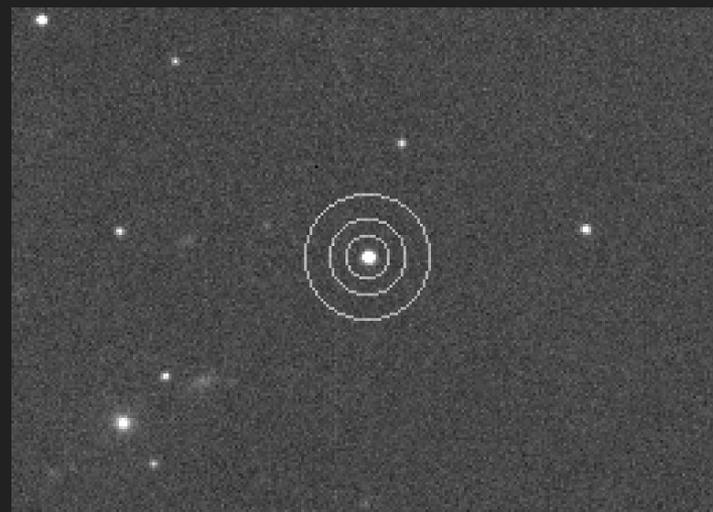
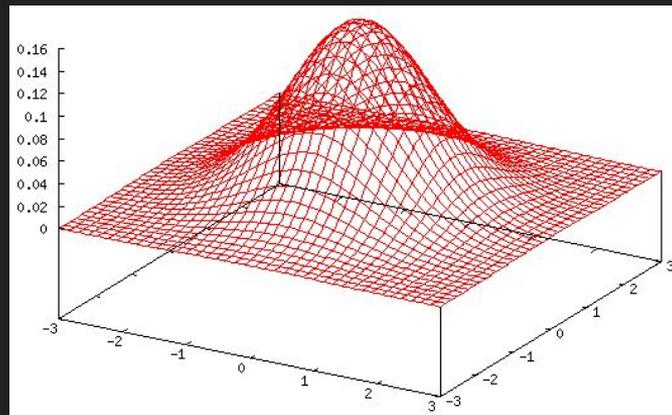
On se retrouve donc avec plusieurs dizaines d'images, pré-traitées, qu'il va falloir maintenant mesurer.

Mesure photométrique

Il existe deux méthodes pour mesurer le flux d'une étoile sur une image.

- Modélisation par la PSF (Gauss/Moffat...). Cette méthode offre l'avantage de pouvoir marcher même dans des zones très denses en étoiles, mais est peu adaptée dans le cas de PSF atypiques (défocalisation, guidage...)
- Photométrie d'ouverture. On définit 3 cercles. Dans le premier, on compte le flux de l'astéroïde. Entre le second et le troisième, on mesure le fond de ciel, qui sera retranché au flux de l'étoile.

Nous utiliserons ici la photométrie d'ouverture, mais de façon différentielle. Nous mesurerons le flux de l'astéroïde et le comparerons au flux d'étoiles du même champ, supposées être non variables.



Analyse et mesures

- Analyse de la qualité des images: la fonction de PRiSM “Analyse / Qualité d’une série d’images (stellaire)” permet d’analyser le lots d’images. On portera notamment attention au seeing (turbulences ou mise au point), l’élargissement des étoiles (vent, ou pb de guidage), et le fond de ciel (passage de nuages). Les images les plus mauvaises sont éliminées.
- Un script PRiSM, permet de faire un étalonnage astrométrique précis du lot d’images.
- La fonction PRiSM “Analyse / Photométrie / Photométrie d’une série d’images” permet de faire une analyse de toutes les images.

Photométrie sur série d'images

Paramètres

Type de photométrie
Objet fixe, Transit exoplanète
Photometrie astéroïde

Fichiers d'entrée

Rayon de photométrie étoile (pixels)

Rayon de phot. ciel interne (pixels)

Rayon de phot. ciel externe (pixels)

Nombre d'étoiles de référence

Seuil de saturation (ADU)

Image de référence (recalage géométrique)

Images déjà recalées

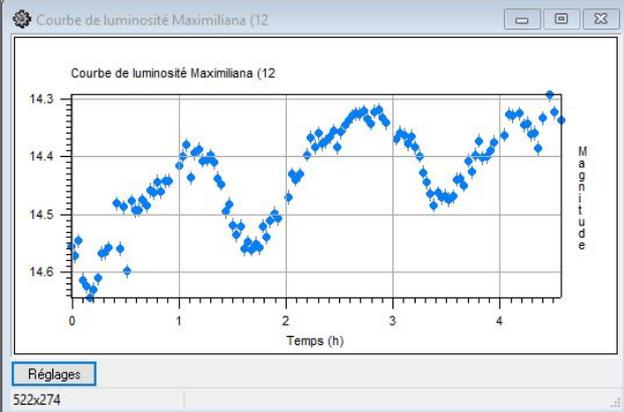
Utiliser FIT 3D Gauss au lieu d'une photométrie d'ouverture

Distance max de recherche (pixels)

Nom d'astéroïde (Pallas, 9811)

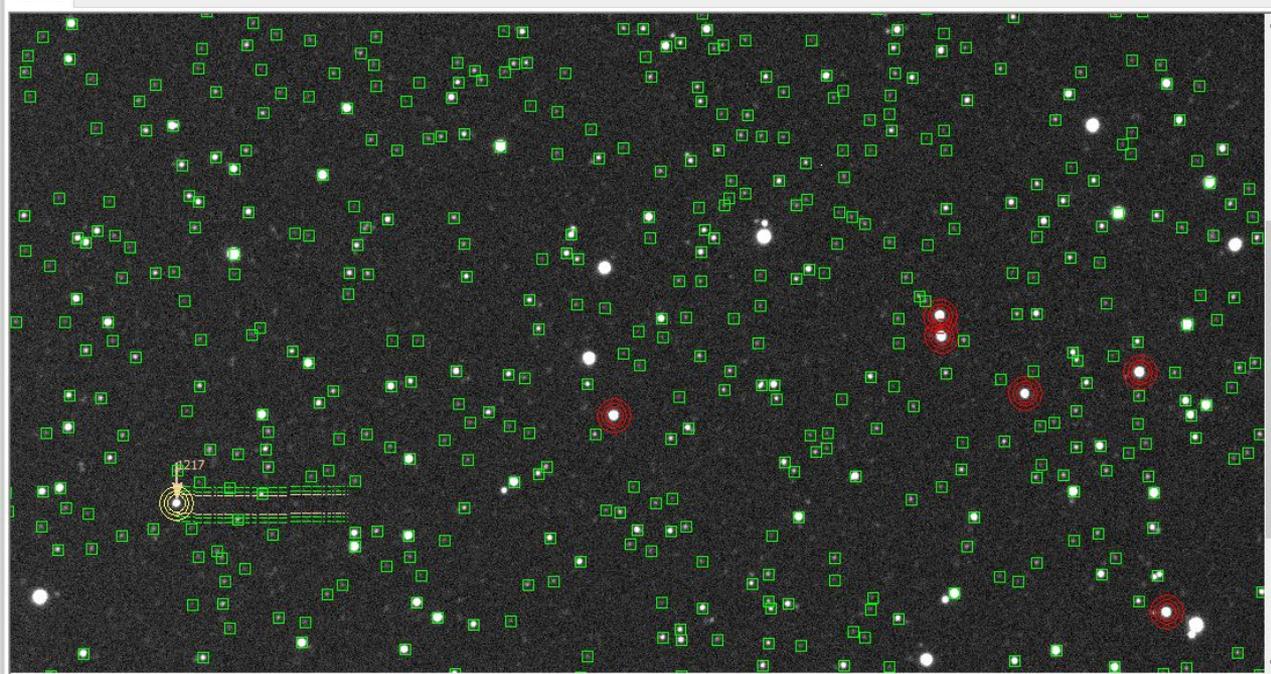
Liste de fichiers à traiter (selection multiple)

Astrométrie / Photométrie



Photométrie sur série d'images

Résultats



Affichage Sauver JPG RMS Sauver Charger Sauver (Texte) Aller Coord.

X=844 Y=558 Alpha=17h00m39.881s Delta=-12°42'24.15"

Afficher étoiles extraites

Information CDS Information SIMBAD

Mesuré 800/997 (80%)

Mesuré 850/997 (85%)

Etoile éliminée, trop peu de mesures à X=1129.9 Y=389.6 (Alpha=17h00m18.185s Delta=-12°45'32.84'') !

Mesuré 900/997 (90%)

Mesuré 950/997 (95%)

Gagner encore en précision

La fonction automatique de PRiSM est très performante et très pratique à utiliser. Elle souffre cependant de quelques défauts, au premier lieu de ne pas faire de distinction sur la couleur des étoiles. Et d'autre part, la tailles des cercles photométrique est fixe. Or il est possible d'utiliser des cercles photométriques variables, s'ajustant à la taille de l'étoile sur chaque image individuelle.

Nous utiliserons un script PRiSM développé par L. Bernasconi et amélioré par R. Montaigu et M. Deldem.

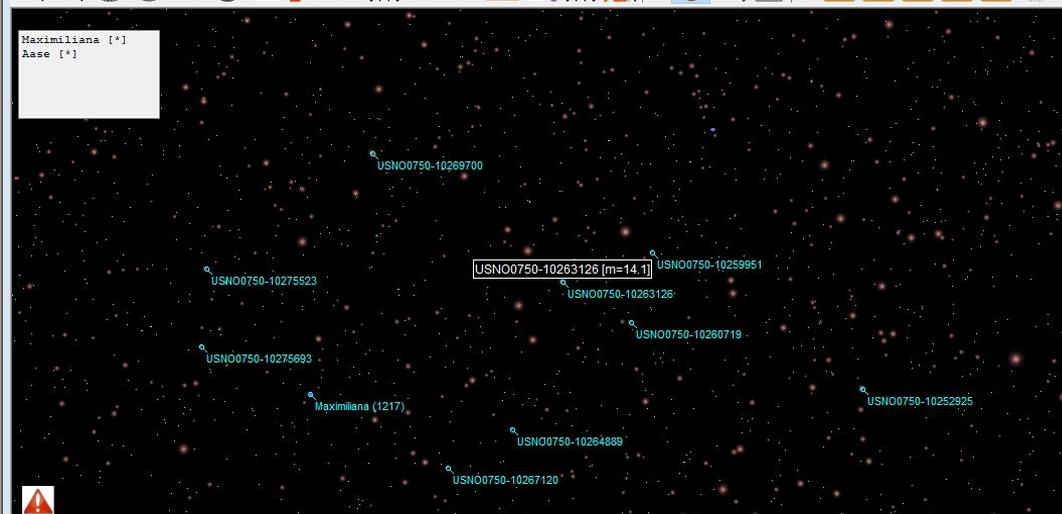
Or, comme nous faisons les acquisitions sur de longues période de temps, la hauteur de l'objet varie beaucoup. Or l'atmosphère se comporte différemment en fonction des couleurs (plus diffusante en bleue, et plus transparente en rouge). Donc, si on veut s'affranchir de cela, il va falloir utiliser des étoiles de comparaison ayant une couleur proche des astéroïdes. Les astéroïdes sont globalement neutres et renvoient la lumière du soleil. Nous choisirons des étoiles de comparaison ayant donc la couleur du soleil. Certains catalogues d'étoiles donne les magnitudes des étoiles en plusieurs couleurs. Nous choisirons des étoiles dans cette fourchette:

$$0.5 < B-R < 1.5$$

Il faut alors réaliser sous PRiSM, une liste dans laquelle on va alors trouver successivement, l'astéroïde que l'on veut mesurer, une étoile de test, et les étoiles étalons.



Le ciel EQ.2000-1-1, Zoom=512, Alpha= 17h00m50s Delta= -12°43'00" 07/06/2019 23:25:19 TU [Window1.mapsky] La Bastide des Jourdans [France] [Aucun mouvement de tel...



Liste d'objets/champs [OBJL] > D:\astro\acquisitions\2...s\liste_etalons_v04.lst

Fichier Effacer Tri Cacher

Objet	ALPHA 2000	DELTA 2000	Magnitude	Observé ?	Hauteur	Angle horaire	Commentaire	Distance	N° liste
1	Maximiliana (17h01m15.239s)	-12°46'15.91"	14.51	Non	-58.7°	-11h41m	Prix par identification	?	1
2	USNO0750-1025 (17h00m15.700s)	-12°46'08.40"	13.1	Non	-58.7°	-11h40m	14.4	?	1
3	USNO0750-1026 (17h00m40.620s)	-12°44'23.80"	14.4	Non	-58.7°	-11h40m	15.8	?	1
4	USNO0750-1026 (17h00m47.950s)	-12°43'20.60"	14.1	Non	-58.6°	-11h40m	15.6	?	1
5	USNO0750-1025 (17h00m38.310s)	-12°42'34.10"	15.1	Non	-58.6°	-11h40m	15.8	?	1
6	USNO0750-1026 (17h01m00.380s)	-12°48'12.00"	15	Non	-58.7°	-11h40m	16.1	?	1
7	USNO0750-1026 (17h00m53.420s)	-12°47'11.90"	15.1	Non	-58.7°	-11h40m	16.2	?	1
8	USNO0750-1027 (17h01m26.850s)	-12°45'02.40"	14.7	Non	-58.7°	-11h41m	15.7	?	1
9	USNO0750-1027 (17h01m26.330s)	-12°42'59.60"	14.5	Non	-58.7°	-11h41m	15.8	?	1
10	USNO0750-1026 (17h01m08.510s)	-12°39'59.20"	13.3	Non	-58.6°	-11h40m	14.6	?	1

Enlever Monter Editer Descendre Ajouter Carte sur Pointer

Afficher ces objets dans les cartes du ciel Afficher le numéro de la liste à côté de l'objet Enlever le nom de l'objet à l'affichage sur la carte du ciel

Objets: 10 Temps sidéral local : 05h20m41s Temps TU: 14/06/2019 11:28:16

Format 1374x1099x1 [Réels 32bits] Zoom = 1/2

t_GSC5651-1734_no_filter_1_12019_06_07-01-0671 1374x1099 - Monochrome - Réels(32bits) [Zoom = 1/2]



Identification d'un objet

Nom principal de l'objet:	USNO0750-10263126	Constellation:	Oph
Alpha (2000):	17h00m47.954s	Carte Uranometria:	232 - Volume Sud
Delta (2000):	-12°43'20.61"	Carte SkyAtlas 2000:	15
Alpha (App.):	17h01m51.503s	Lever (TU/TL):	18h30m58s / 18h30m58s
Delta (App.):	-12°43'30.56"	Méridien (TU/TL):	23h38m53s / 23h38m53s
Type:	Etoile	Coucher (TU/TL):	04h46m48s (U+) / 04h46m48s (U+)
Distance à la Lune:	118°29'12"	Jamais à 45° la 30' dans 1.6 h à 15° dans 3.8 h	

Mg Bleu: 15.6
Mg Rouge: 14.10

Le Vendredi 7 Juin 2019 Angle horaire -00h09m45.470s Masse d'air 1.80367
Heure (TU) 23h25m19s Hauteur +33°26'25" Angle Paral. 2.110°
Tp sidéral local 16h52m06s Azimuth +177°08'53"

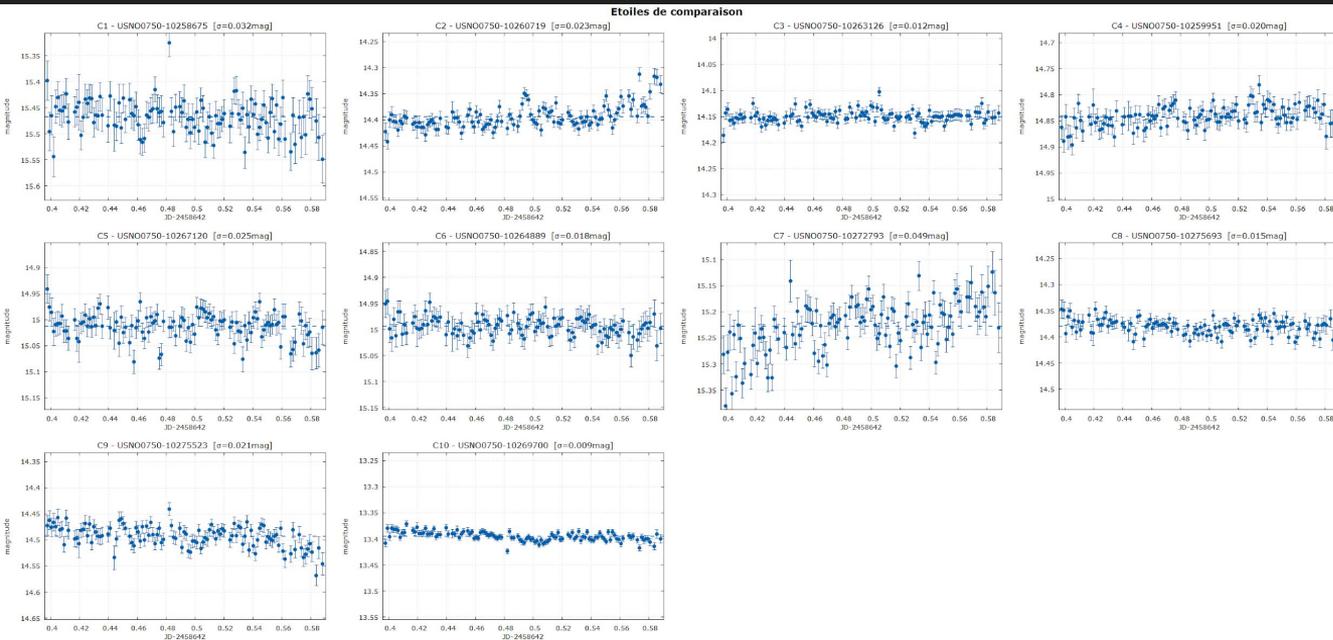
<=> Objet précédent <=> Objet suivant

Fermer Plus

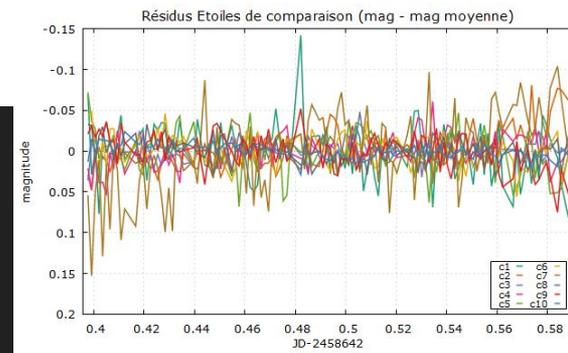
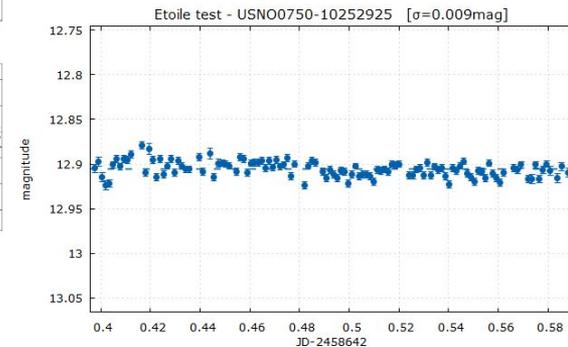
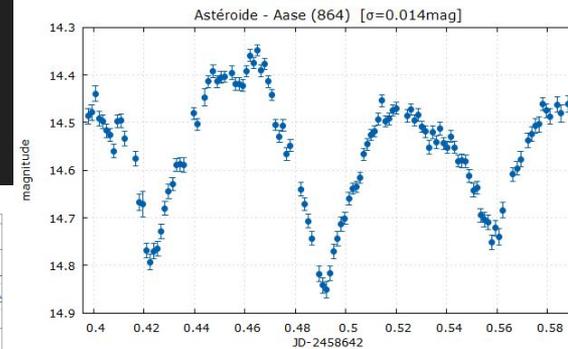
1/1

Résultats

On lance ensuite le script de mesure, qui demande la liste d'objets et les images à analyser. Après pas mal de calculs, les résultats sont donnés sous différentes formes. Les graphiques seront très utiles pour l'analyse critique des mesures.



On vérifie ensuite que les étoiles étalons soient bien stables (il est tout à fait possible de tomber sur une variable), et que la courbe de l'étoile ne montre pas d'anomalie (passage près d'une étoile). Au besoin, on élimine des étoiles étalon, ou quelques images, puis on relance le calcul.



Communiquer ses résultats

Une fois que l'on est satisfait des mesures, il va falloir communiquer ses résultats, sous forme d'un fichier texte, dont l'entête contient quelques informations, et dans lequel on retrouve au minimum, la date (exprimée en jour Julien), la magnitude et l'incertitude.

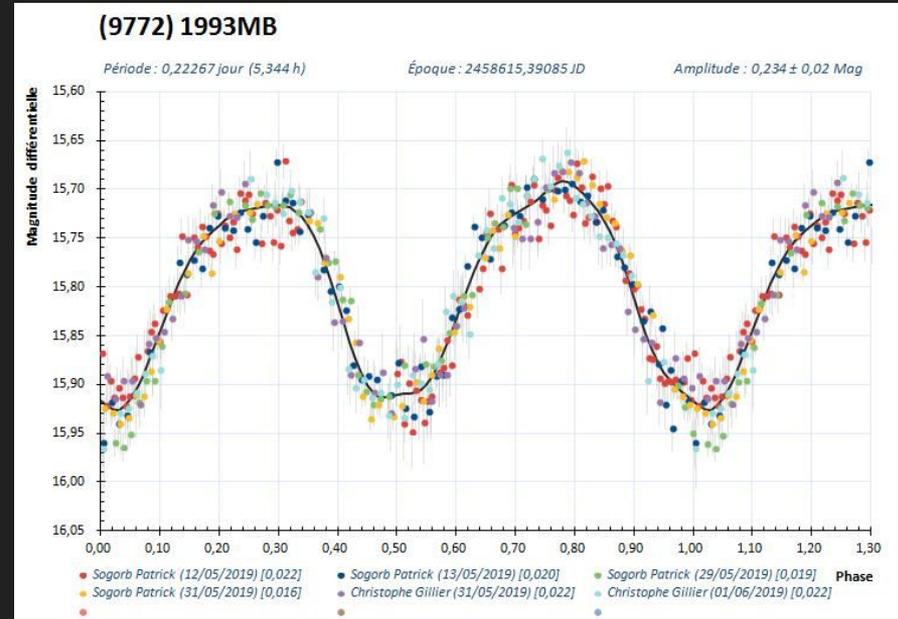
Mes mesures sont envoyées à Raoul Behrend (site CDR-CDL de l'université de Genève) et sont aussi partagées dans un petit groupe constitué autour de Romain Montaignu.

```
FMT xDVvx
NOM Aase (864)
MES Sogorb Patrick @La Bastide des Jourdans
POS 0 120.00
FIL no_filter_1
CAT USNO-A2.0 R
TEL 0.279 1.685 SC
CAP ICX694
; Nombre d'étoiles étalons : 10
; Photométrie d'ouverture circulaire [1.7|4|8]
001 2458642.39769 14.486 0.016 12.905
002 2458642.39914 14.479 0.016 12.897
003 2458642.40062 14.439 0.016 12.915
004 2458642.40208 14.492 0.015 12.924
005 2458642.40354 14.498 0.015 12.922
006 2458642.40500 14.517 0.014 12.901
007 2458642.40645 14.526 0.014 12.894
008 2458642.40791 14.560 0.014 12.903
009 2458642.40937 14.497 0.014 12.894
010 2458642.41083 14.496 0.014 12.895
011 2458642.41229 14.534 0.015 12.889
013 2458642.41665 14.576 0.015 12.879
014 2458642.41811 14.667 0.017 12.910
015 2458642.41957 14.672 0.027 12.883
016 2458642.42103 14.769 0.016 12.895
017 2458642.42249 14.793 0.016 12.915
018 2458642.42394 14.770 0.017 12.894
019 2458642.42540 14.765 0.015 12.912
020 2458642.42686 14.729 0.015 12.902
021 2458642.42832 14.680 0.014 12.894
022 2458642.42978 14.645 0.015 12.910
023 2458642.43124 14.629 0.014 12.896
024 2458642.43269 14.589 0.014 12.902
025 2458642.43415 14.588 0.014 12.906
```

Analyser les résultat

Dans le cadre du programme cdr-cdl, c'est Raoul Berhend qui compile les mesures et les exploite. Comme ce programme s'attaque à tous les astéroïdes, les principales informations recherchées sont: période de rotation, et après beaucoup de mesures, formes 3D

Dans le cadre du groupe d'observateurs, on vise plus particulièrement les astéroïdes à rotation rapide, afin de chercher des astéroïdes possédant des lunes. Un outil (macro excel) développé par Romain Montaigu, permet d'analyser les courbes et de sortir facilement la période. L'outil d'analyse et les mesures de chacun sont mises en commun. Une fois la période extraite, on analyse le résiduel, et on peut réussir à retrouver des périodes secondaires qui sont les périodes de rotation et/ou de révolution de la Lune éventuelle.



Fin