

## Mesures de positions astrométriques issues d'images CCD (avec Astrometrica)

Marc SERRAU. UAI B24 - Cesson

Depuis que j'utilise une caméra CCD, je me suis familiarisé avec quelques techniques – ou plutôt procédures – comme celle permettant d'obtenir la mesure de la magnitude d'une étoile. Je ne m'étais jamais attaqué au problème de la mesure de position d'un objet capturé dans une prise de vue, et donc encore moins d'en faire un compte-rendu « utile ».

Il faut dire que je observais assez peu d'objets mobiles. Depuis l'installation d'une nouvelle monture avec motorisation et pointage « GOTO », ces observations me sont devenus très faciles. Après quelques succès rapides, je me suis décidé à maîtriser une technique d'extraction de position d'astéroïdes. L'objectif était de pouvoir fournir ces mesures au Minor Planet Center (MPC<sup>1</sup>).

Voici ma démarche de réduction astrométrique. Elle passe par l'utilisation de plusieurs outils, et décrit notamment l'utilisation sommaire d'Astrometrica<sup>2</sup>, un « shareware » de l'astronome amateur autrichien Herbert RAAB, avec lequel s'effectuera la réduction astrométrique.

Cet outil très puissant permet :

- l'analyse d'images CCD (format SBIG ou FITS)
- la reconnaissance de champ d'étoiles à l'aide de catalogues astrométriques comme l'UCAC2 ou l'USNO B1 entre autres.
- une assistance à la reconnaissance des objets connus du MPC par l'accès à la base de données MPCORB.dat et sa mise à jour automatique.
- La mesure proprement dite de la position des objets présents sur le cliché.

Voici le processus de réduction astrométrique :

D'abord, il faut **régler l'horloge du PC** le plus précisément possible : divers outils et méthodes permettent de faire une mise à l'heure (récepteur GPS, NTP, récepteur DCF, l'horloge parlante...). Pour ma part, la machine est mise à jour par NTP.

Ensuite il faut **obtenir des images**. Peu importe la caméra ou l'appareil photo utilisé. L'essentiel est d'avoir des images « plates », c'est à dire pas trop distordues par l'optique utilisée. Prenez soin de l'orienter à peu près convenablement, c'est à dire avec la grande direction du capteur parallèle à l'axe Est-Ouest, le Nord en haut, par exemple. Cela facilitera le travail plus tard. Essayez de ne pas toucher à cette orientation en cours de nuit. Mes images sont stockées dans des fichiers FITS<sup>3</sup>. Veiller à avoir au moins 3 étoiles dans le champ, un minimum de 7 est préférables. Si votre focale est courte, ceci n'est pas un problème. Essayer de centrer à peu près l'objet mobile.

Essayez d'avoir du signal, tout du moins un rapport signal sur bruit pas trop faible, ou faites plusieurs images du même objet. Après avoir faits plusieurs champs, revenez sur vos objets afin d'avoir plusieurs positions dans la même nuit. Trois positions est un minimum.

N'oubliez pas de faire des Noirs (**Darks**), **Offset** et **PLU** (Flats) pour calibrer photométriquement les images.

Lorsque vous observez, notez la position approximative du centre de votre image. Si vous utilisez un outil comme PRISM<sup>4</sup> pour l'acquisition, cela peut se faire automatiquement si la carte du ciel est correctement réglée. Normalement, l'information est transmise au travers du format FITS, mais Astrometrica ne sait pas lire ces informations venant de Prism. Précédemment, j'utilisais GIOTTO<sup>5</sup> pour obtenir mes images car la caméra HISIS23 n'était pas reconnue par PRISM en version récente. Malheureusement GIOTTO ne codait pas les coordonnées du centre de l'image. Remarquez que si vous êtes sûr que votre image contient un objet connu (un astéroïde numéroté par exemple, une étoile cataloguée), vous pourrez très facilement en retrouver les coordonnées du centre ultérieurement, à l'aide d'un outil de carte du ciel ou qui effectuera un calcul d'éphémérides. Notez donc au moins le nom de l'objet dans votre compte-rendu d'observation. C'est le minimum.

Prétraitez vos images avec les Noirs, Offset et PLU : non seulement vous pourrez faire de la photométrie avec, mais en ayant retiré les points chauds qu'elles contiennent, les algorithmes d'extractions des étoiles dans les images fonctionneront correctement, de même que ceux effectuant la recherche d'objets mobiles...

Si les objets observés sont faibles, sommez des images prises à des instants rapprochés, tout du moins l'addition devra se faire avec le recalage nécessaire à compenser le défaut de positionnement inévitable entre image. Pour cela, la plupart des outils d'imageries (comme PRISM) possède une fonction simple d'emploi et puissante (Addition et recalage en série), que j'utilise assez souvent. Astrometrica dispose aussi d'une fonction d'ajout avec recalage automatique sur l'astéroïde observé. Celle-ci est utile si l'objet se déplace rapidement et qu'il est de faible intensité.

Vous disposez désormais de fichiers FITS (ou SBIG) prétraités.

Lancez Astrometrica. Quelques réglages initiaux sont nécessaires au travers du panneau 'Settings'. Voir l'annexe 2. Si vous vous préoccupez des objets très récemment découverts, pensez également à mettre à jour la base d'éléments orbitaux MPCORB (Menu Internet/MPCOrb).

Ouvrez les images d'un même objet avec Astrometrica. L'outil reconnaît la date de la prise de vue et la position du centre de l'image (**ceci est à vérifier avec les images au format SBIG**). **Attention ! Astrometrica ne reconnaît pas la mise à jour FITS faite par PRISM à ce sujet**. Il permet également de charger des image de Noirs et de PLU (Flats) qui seront appliqués automatiquement aux images chargées ultérieurement. Ce traitement a déjà été fait avec PRISM. Il n'est donc pas refait ici. De toute façon, Astrometrica ne fait pas de correction cosmétique autre que la soustraction du noir et la division par la PLU.

En cliquant sur le bouton 'Astrometric Data Reduction', on passe à la phase de définition du centre de l'image. Si celle-ci est approximativement centrée sur un astéroïde, il suffira d'en donner le numéro. L'outil effectue alors un calcul d'éphémérides et complète automatiquement les champs des coordonnées.

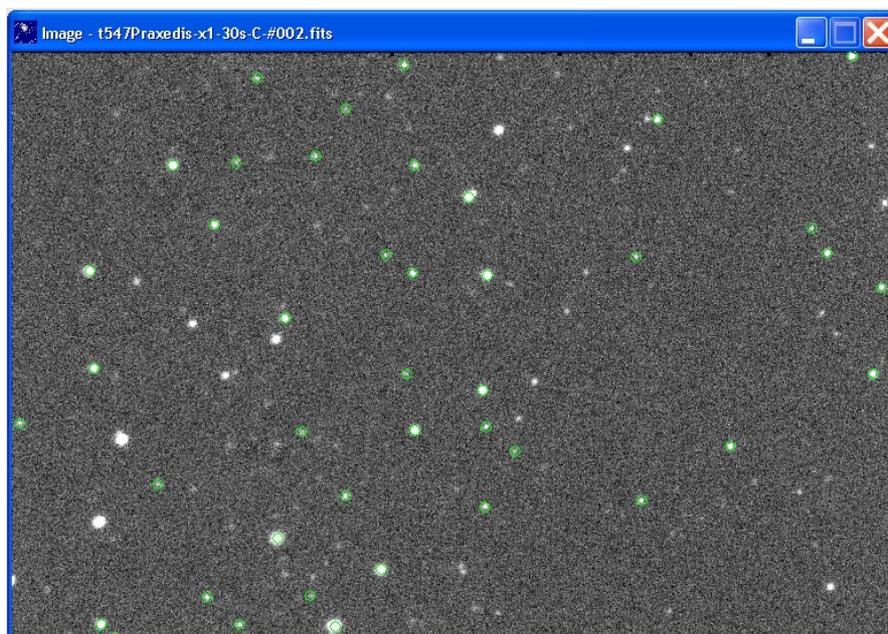
Astrometrica passe alors à la phase d'extraction des étoiles et à leur reconnaissance à l'aide d'un catalogue astrométrique. Ceux qui sont reconnus sont :

- L'UCAC2 (catalogue sur 3 CD couvrant les déclinaisons de -90° à +45° environ)
- L'USNO SA2 (catalogue sur 1 CD)
- L'USNO A2 (catalogue sur 11 CD)
- L'USNO B1 (via l'accès internet VizieR) qui remplace les catalogues SA2 et A2

Pour ce dernier catalogue très complet, une connexion internet est nécessaire. Mais par

l'expérience que j'en ai, le temps de réponse fut assez rapide. Parfois, il y a des problèmes. Je me suis alors rabattu sur le catalogue UCAC2 présent sur mon disque dur. Ce dernier convient très bien pour les déclinaisons inférieures à 60°.

Une fois les étoiles reconnues (étoiles de « Référence »), celles-ci sont entourées en vert (la couleur peut être réglée) dans la vue de l'image FITS. L'image suivante montre un exemple de champ stellaire reconnu avec le catalogue UCAC2, une focale d'environ 2,2 m et un KAF400 :



Le bilan de la reconnaissance est fourni pour chaque image dans le panneau suivant :

Data Reduction Results								
Image	Detections	Ref. Stars	Ref./Ast.	Fit Order	dRA	dDe	Ref./Phot.	dmag
t547Praxedis-x1-30s-C-#002.fits	143	42	42	2	0.24"	0.17"	41	0.28mag

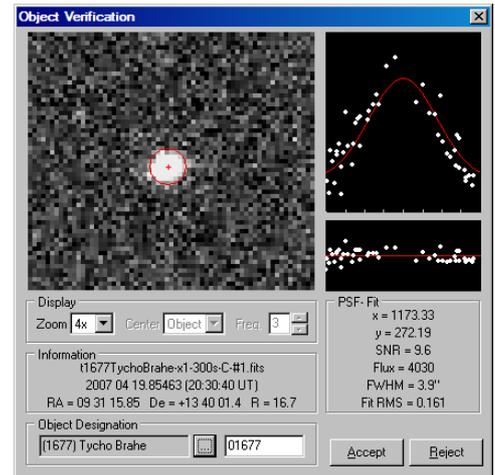
Lorsque le champ d'étoiles n'est pas automatiquement reconnu, Astrometrica propose une reconnaissance manuelle : il faut alors régler soi-même l'orientation (Position et Angle), la focale de l'optique qui a projeté l'image ainsi que le centrage du champ stellaire. En général, cela se produit quand l'orientation et la focale sont trop mal définies dans les pré-réglages de l'outil ou que l'on se trompe... d'objet : l'outil est alors perdu. Si le champ contient suffisamment d'étoiles et que l'outil est correctement paramétré – ce qui est pratiquement toujours le cas – la reconnaissance est automatique. Des mésaventures similaires peuvent également survenir si l'image est très distordue ou bien que plusieurs images très décalées les unes des autres sont réduites simultanément.

Si vous avez chargé plusieurs images du même objet, les étoiles sont reconnues sur toute les images.

On peut passer ensuite à la phase de mesure de position de votre objet proprement dite.

La méthode la plus simple consiste alors à faire reconnaître les astéroïdes connus par l'outil. Ceci se fait par l'appui sur le bouton 'Known Object Overlay'. Selon la magnitude limite spécifiée par ailleurs, on voit alors apparaître des repères entourant les objets connus du MPC. La loupe permet de pointer le centre de brillance de l'astéroïde.

La figure ci-contre montre pour une position pointée sur l'image la position calculée par l'algorithme du logiciel. La désignation et le numéro de l'objet sont obtenus automatiquement si celui-ci est connu de la base MPC. (Bouton '...')



Une fois la mesure acceptée (Bouton 'Accept'), Astrometrica l'enregistre et affiche un libellé sur l'image pour indiquer qu'une mesure a été faite à un endroit précis.

Les mesures stockées en mémoire sont lisibles sous la forme d'un message codé à destination du MPC ou bien dans un fichier qui contient toute la trace des opérations ayant mené à cette mesure. On y retrouvera notamment les valeurs de focale et d'échelle calculées à partir des étoiles reconnues.

Voilà, nous sommes parvenus au bout de nos efforts. L'ultime action consistera à envoyer un petit message électronique au MPC pour faire enregistrer les mesures.

D'autres fonctions d'Astrometrica sont utilisables. N'ayant volontairement pas voulu être exhaustif dans le descriptif qui précède, je les signale simplement :

- Prétraitement des images en fournissant une image de noir et de flat. Intéressant mais on ne peut pas faire de correction cosmétique pour effacer les cosmiques ou points chauds résiduels.
- Addition d'images et décalages selon le mouvement de l'objet recherché. On additionne le signal de l'objet qui reste normalement ponctuel malgré son mouvement propre. Très puissant sur les objets rapides.
- Détection automatique d'objets mobiles. Cette fonction très puissante nécessite trois images d'un même champ stellaire. Astrometrica détecte alors automatiquement les objets mobiles et propose de mesurer leurs positions.
- Une fonction de blink peut aussi aider à la recherche de nouveaux objets, mais c'est alors beaucoup fastidieux. Son avantage est qu'elle ne nécessite que deux images du même champ.

Pour conclure, choisir un outil est toujours difficile. Astrometrica m'a séduit par son faible coût et ses capacités à traiter facilement et de façon très performante le problème de la réduction astrométrique. Ses possibilités de reconnaissance automatique des objets et de réduction très puissantes ne laisseront pas indifférents les observateurs d'objets mobiles.

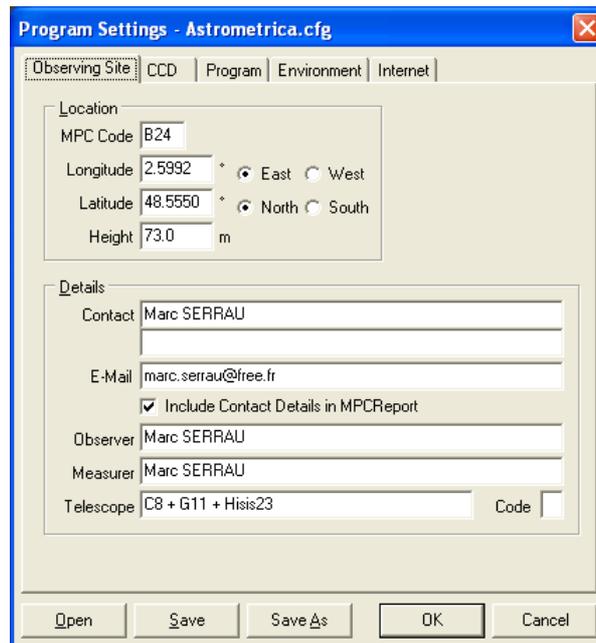
A essayer donc...

## Annexe 1 : Exemple d'entete FITS mise à jour par Astrometrica

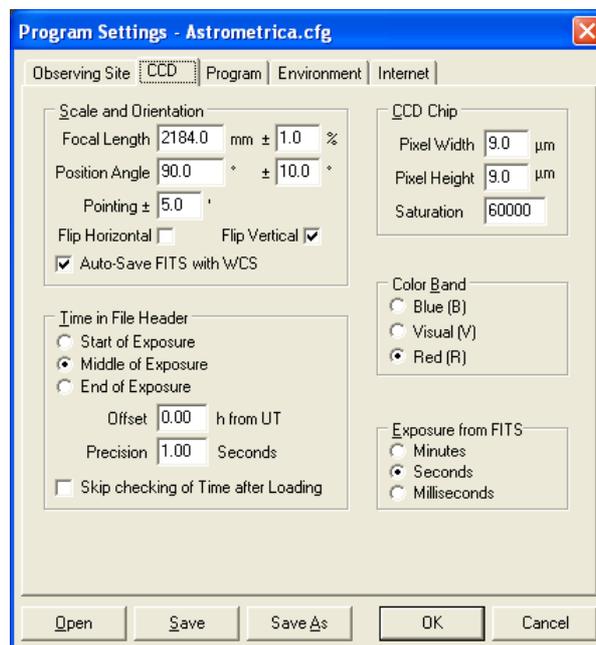
```
SIMPLE = T / Conforms to FITS standard (NOST 100-2.0)
BITPIX = 16 / Number of bits per pixel
NAXIS = 2 / Number of axes
NAXIS1 = 768 / Width of image
NAXIS2 = 512 / Height of image
CREATOR = 'Astrometrica 4.4.1.364' /
DATE = '2006-12-26' / File creation date
BZERO = +3.2768000000000E+04 / Offset to unsigned integer
BSCALE = +1.0000000000000E+00 / Scaling factor
DATE-OBS= '2006-12-22T21:59:57' / Middle of exposure
TIMESYS = 'UTC' / Time Scale
EXPTIME = 240.00 / Exposure time (seconds)
OBJCTRA = '03 17 53.367' / RA of center of the image
OBJCTDEC= '+00 59 51.523' / DEC of center of the image
EQUINOX = 2000.0 / Equinox for coordinates
CTYPE1 = 'RA---TAN' / Coordinate type
CRPIX1 = +3.8400000000000E+02 / Pixel coordinate of x-reference
CRVAL1 = +4.9472600527673E+01 / Coordinate at x-reference
CDELTA1 = -2.3786299803326E-04 / Image scale on x-axis, deg per pixel
CROTA1 = -4.0918986674724E+00 / Rotation of coordinate
CUNIT1 = 'deg' / Unit of coordinate
CTYPE2 = 'DEC--TAN' / Coordinate type
CRPIX2 = +2.5700000000000E+02 / Pixel coordinate of y-reference
CRVAL2 = +9.9762838059789E-01 / Coordinate at y-reference
CDELTA2 = +2.3786299803326E-04 / Image scale on y-axis, deg per pixel
CROTA2 = -4.0918986674724E+00 / Rotation of coordinate
CUNIT2 = 'deg' / Unit of coordinate
ORIGIN = 'CESSON' / Origin place of FITS image
JDAY = 2.45409241663763E+006 /julian day of observation
CCD-TEMP= -25.2 / Actual CCD temperature (Degres C)
INSTRUME= 'Hisis 23' /System which created data
TELESCOP= 'C8 F/10' /Telescop
OBSERVER= 'SERRAU Marc' /Observer name
SITELAT = '-00:00:00:00' /Latitude observatory
SITELONG= '-00:00:00:00' /Longitude observatory
BINX = 1 /X binning
BINY = 1 /Y binning
RA = 0.0 /Telescope RA
DEC = 0.0 /Telescope DEC
MIRORX = F /X mirror applied to image
MIRORY = F /Y mirror applied to image
X1 = 3 /X1 image windowing
Y1 = 3 /X2 image windowing
X2 = 1 /Y1 image windowing
Y2 = 1 /Y2 image windowing
COMPRESS= 0 /number of compression
DATAMAX = 499 /Maximum data value
DATAMIN = 434 /Minimum data value
COMPRESS= 0 /number of compression
HISTORY C2,C6,U3
END
```

## Annexe 2. Réglages dans Astrométrie

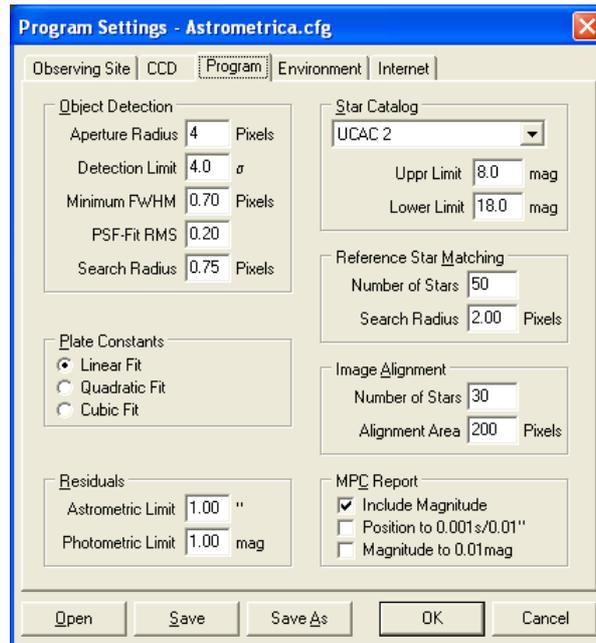
La fonction File/Settings permet de pré-régler l'outil Astrométrie. Le premier onglet concerne le Lieu et les détails de l'observateur et ses moyens :



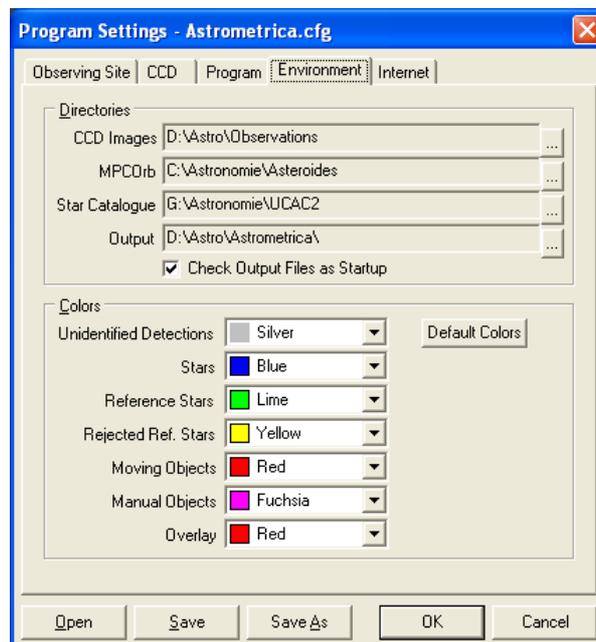
Le second onglet concerne surtout le moyen d'observation, le CCD et l'optique utilisée, différentes informations codées dans l'image :



Dans l'onglet Program, je n'ai touché qu'à la définition du catalogue (Star Catalog) :



L'onglet 'Environment' permet la définition des répertoires où seront recherchés les images, les éléments orbitaux ainsi que le catalogue d'étoile utilisé. Vous pourrez y régler également les couleurs des différents éléments ajoutés aux images lors de la réduction :



Le dernier onglet permet de régler les accès à internet via un serveur Proxy et l'accès à un serveur de messagerie pour envoyer directement, au final, les mesures de positions effectuées.

## Bibliographie :

- 1 MPC : Minor Planet Center (voir à <http://cfa-www.harvard.edu/iau/mpc.html>). Une page décrivant comment faire de l'astrométrie est disponible à <http://cfa-www.harvard.edu/iau/info/Astrometry.html> .
- 2 FITS : pseudo-norme de codage d'images astronomiques. Le format est relativement fixé mais le codage de l'information dans l'entête des images est très variable d'un logiciel à l'autre. Le NOST a publié un document qui résume FITS : <http://www.cv.nrao.edu/fits/aah2901.pdf> . D'autres informations sont présentées ici : <http://fits.gsfc.nasa.gov/>
- 3 Astrometrica : de Herber RAAB, shareware que l'on peut tester pleinement pendant 100 jours. Le coût de la licence est de 25€ . Le site internet se trouve à <http://www.astrometrica.at>
- 4 Prism : de Cyril CAVADORE et Boris GAILLARD, dont le site internet est <http://www.astroccd.com/prism>
- 5 Giotto : logiciel de pilotage des caméra HiSIS de Filippo RICCIO (Europixel) que vous pouvez apercevoir à <http://www.europixel.it/europixelweb/software.htm> .