

Science participative – Astrométrie sur (433) Eros
Mesure de la parallaxe d'un astéroïde avec un matériel d'amateur et des logiciels professionnels

Initiative et perspectives

L'astronome Pascal Descamps (OBSPM) a ouvert une campagne de science participative au début du mois de janvier 2019 à l'occasion du passage de l'astéroïde EROS à faible distance de la Terre (par rapport à la distance Terre-Soleil). Il a encouragé la participation d'amateurs disposant d'un matériel très modeste d'astrophotographie. Les résultats très encourageants obtenus (en particulier concernant la précision des résultats de mesure de la parallaxe de la cible) montrent que l'on peut en déduire une valeur de la parallaxe du Soleil, et par suite une valeur de l'unité astronomique, tout à fait honorables.

Site d'observation et matériel d'astrophotographie d'amateur

À proximité du village de Nerville-la-Forêt (95590), il est possible de s'installer sur un chemin au cœur de la campagne, avec un horizon dégagé tous azimuts. La pollution lumineuse est importante au-dessus de l'horizon sud, à cause de la proximité de Paris et de sa banlieue nord. L'horizon nord présente aussi un halo jaunâtre (photo ci-contre).

La campagne de prise de vues s'est déroulée lors de l'épisode météorologique très favorable de cet hiver, en début de nuit, les 24, 25 et 26 février. Elle a permis de prendre des séries de clichés à intervalles réguliers, sur des durées allant d'une demi-heure à trois heures.

Le capteur est celui d'un APN Pentax K-3, utilisé avec des pixels carrés de $3,9 \mu\text{m}$ de côté. Le boîtier est installé au foyer d'une lunette Sky Watcher « Esprit » (objectif de diamètre $D = 100 \text{ mm}$, distance focale $f = 555 \text{ mm}$). L'échantillonnage est donc de $1,45 \text{ arcsec}$ par pixel. L'alimentation de la monture (NEQ6 de Sky Watcher) est un booster de Norauto ($12 \text{ V} / 17 \text{ Ah}$) possédant une autonomie très largement suffisante.



La raquette de commande permet, pour chaque soir, de mémoriser les coordonnées célestes de l'astéroïde, et de cadrer efficacement la région du ciel intéressante (limite entre la constellation d'Orion et celle de la Licorne). Le logiciel « Stellarium » apporte une aide appréciable pour la préparation de chaque séance.

Problématique – astrométrie de position

La magnitude de l'astéroïde fin février est proche de 10. Avec une mise au point soignée, les taches images (d'Eros) obtenues ont des diamètres de l'ordre de 7 pixels, ou un peu plus. Cette étendue sur le capteur correspond à une parcelle de la voûte céleste d'au moins 10 arcsec de diamètre.

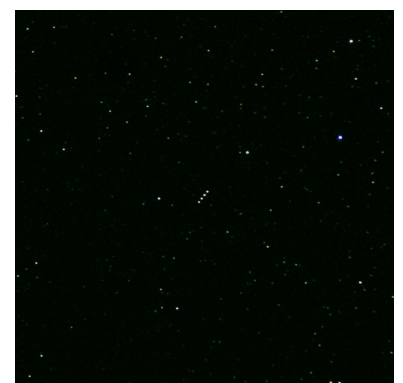
La parallaxe horizontale (d'Eros) à mesurer est de l'ordre de 30 arcsec (fin février).

Dans ces conditions, est-il envisageable de faire des mesures de parallaxe avec une erreur relative inférieure à 0,1 ? La réponse est positive !

Exploitation des clichés avec trois logiciels spécialisés
(« Deep Sky Stacker », « Astrometry.net » et « Aladin »)

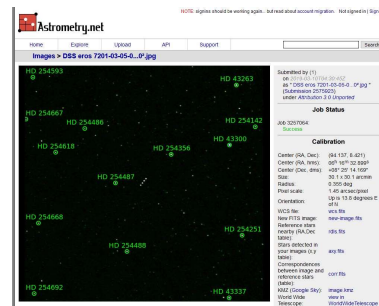
Identification du point image d'Eros (première étape) :

Il est délicat d'identifier l'astéroïde sur un seul cliché. Une méthode efficace consiste à superposer (ou « empiler ») plusieurs clichés (au moins trois) afin d'obtenir, sur une image unique, la trace des positions de l'astéroïde comme un pointillé rectiligne, dans le champ des étoiles fixes. Cette opération d'empilement est faite automatiquement avec le logiciel « Deep Sky Stacker ». Ci-contre, l'extrait de $1250 \text{ sur } 1250 \text{ pixels}$ (environ $(0,5^\circ)^2$ sur le ciel) montre 4 positions de l'astéroïde le 24 février.



Calibration du cliché avec « Astrometry.net » (en ligne) :

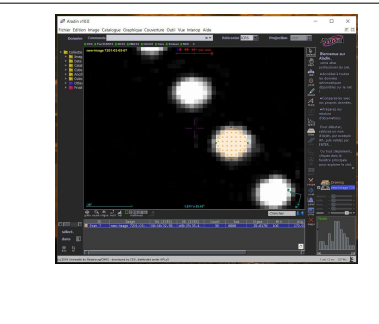
Le fichier ci-dessus est soumis au logiciel de calibration, qui détermine les coordonnées expérimentales du centre du champ du cliché, ainsi que son orientation sur la carte du ciel (copie d'écran ci-contre). Ce logiciel permet aussi de télécharger un fichier « new-image.fits » destiné à la troisième étape du traitement (par « Aladin »).



Mesure des coordonnées expérimentales des images avec « Aladin » :

Il faut installer le logiciel sur son ordinateur. Les coordonnées des 4 taches images sont rassemblées dans le tableau ci-dessous (heures UTC). On peut en déduire la vitesse apparente de l'astéroïde : 2,136 arcsec par minute, soit environ 0,5 pixel pour une pose de 20 s (flou de « bougé »).

images	heure (24/02/19)	ascension droite	déclinaison
7201	21h43m42s	06h 16m 31,43s	08° 25' 47,7''
7203	21h53m42s	06h 16m 32,59s	08° 25' 35,4''
7205	22h03m42s	06h 16m 33,74s	08° 25' 22,4''
7207	22h13m42s	06h 16m 34,88s	08° 25' 09,5''
colonne 5 : mesure des coordonnées du photocentre Eros7203 par la méthode du cercle enveloppe de la tache image.			



Calcul des parallaxes avec le logiciel de l'IMCCE

Calcul des coordonnées théoriques d'Eros et calcul des parallaxes avec le calculateur de l'IMCCE :

Le calculateur se trouve sur le site « EROS2019 » (<https://eros2019.imcce.fr/formulaire.html>). Il faut fournir les coordonnées précises du site d'observation (latitude et longitude), ainsi que l'heure précise du cliché (... à la seconde près pour un temps de pose de 20 s ...?). Puis il faut fournir les coordonnées expérimentales d'Eros. Les résultats des colonnes 2 et 3 sont calculés avec la coordonnée AD d'Eros (ascension droite) et ceux des colonnes 4 et 5 avec sa coordonnée DEC (déclinaison).

images	Π (Eros)	Π (Soleil)	Π (Eros)	Π (Soleil)
7201	31,49''	8,87''	30,09''	8,47''
7203	30,24''	8,52''	29,15''	8,21''
7205	29,63''	8,34''	29,27''	8,24''
7207	29,52''	8,31''	29,24''	8,23''
moyennes	30,22''	8,51''	29,44''	8,29''

La valeur de référence de la parallaxe horizontale du Soleil (Π (Soleil)) est 8,794''.

En comparant les valeurs moyennes et la valeur de référence, les erreurs sur la mesure de cette parallaxe sont respectivement de - 3,2 % (colonne 3) et de - 5,7 % (colonne 5).

Le même type d'analyse a été reconduit après les deux autres soirées d'astrophotographie (le 25 et le 26 février) avec des séries de clichés empilés étalés sur une heure (5 clichés) et sur trois heures (6 clichés).

Les moyennes des valeurs de Π (Soleil) sur les 15 mesures sont : 9,25'' (AD) et 8,62'' (DEC).

Détermination de la distance Terre-Soleil

De la parallaxe horizontale du Soleil (de son expression en radian), on déduit la distance Terre-Soleil (d_{TS}) en utilisant la valeur $R = 6378$ km pour le rayon équatorial terrestre : $d_{TS} = R / (\Pi$ (Soleil)). 9,25 arcsec donnent $d_{TS} = 142$ Mkm (millions de km) ; 8,62 arcsec donnent $d_{TS} = 153$ Mkm ; (valeur de référence pour le 25/02/2019 : $d_{TS} = 148$ Mkm).