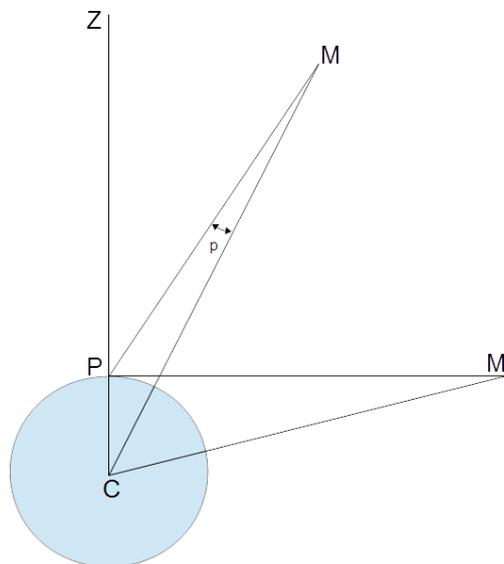


Mesure de la parallaxe d'un astéroïde

Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides

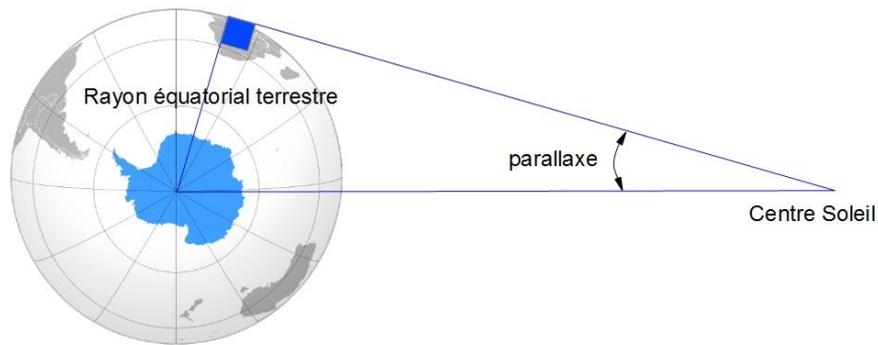
Lors du passage d'un petit corps du système solaire attendu à son périhélie à une distance inférieure à ~ 0.8 au il est possible de profiter de cette opportunité pour tenter de mesurer sa parallaxe – c'est-à-dire sa distance à la Terre – et par voie de conséquence la parallaxe solaire, soit la distance Terre-Soleil exprimée en kilomètres.

1. Définition de la parallaxe

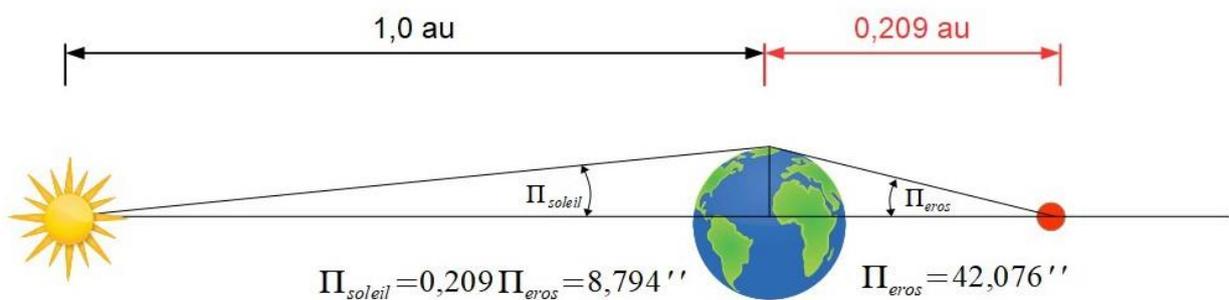


La parallaxe de hauteur p d'un corps céleste est la différence entre la direction d'un corps céleste M vu depuis le centre de la Terre C et celle où il est vu par un observateur P situé à la surface de la Terre. Si le corps se trouve au zénith Z du lieu, la parallaxe sera

nulle. S'il se trouve à l'horizon au point M', sa parallaxe sera maximale et prendra la dénomination de *parallaxe horizontale*.



La parallaxe solaire est la parallaxe horizontale du Soleil. C'est un petit angle d'un grand triangle rectangle céleste ayant le rayon de la Terre comme côté opposé et la distance entre les centres de la Terre et du Soleil comme hypoténuse. La connaissance de cet angle fixe donc la distance au Soleil – pourvu que l'on connaisse le rayon terrestre. Cette distance est baptisée *unité astronomique* et représentée par le seul symbole *au*.



Par exemple, en observant Eros lors de son rapprochement du 15 janvier 2019, sa parallaxe était maximale. Connaissant sa distance (0,209 au) exprimée relativement à la distance Terre-Soleil (unité astronomique), on en déduit par une simple règle de trois la parallaxe solaire selon la figure ci-dessus.

2. Principe de la méthode

Les coordonnées équatoriales astrométriques J2000 du petit corps sont données par α, δ . Dans un repère parallèle au précédent mais centré sur l'observateur, ses coordonnées observées seront α', δ' . Les formules donnant les parallaxes en ascension droite et déclinaison sont alors les suivantes :

$$\begin{aligned}
 p_\alpha &= \alpha - \alpha' = \frac{\rho \pi \cos \varphi' \sin H}{\cos \delta} \\
 \tan \gamma &= \frac{\tan \varphi'}{\cos H} \\
 p_\delta &= \delta - \delta' = \frac{\rho \pi \sin \varphi' \sin(\gamma - \delta)}{\sin \gamma}
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

Où $H = T - \alpha$ est l'angle horaire et T le temps sidéral qui est également l'ascension droite du méridien de l'observateur à l'instant de l'observation. **Le formulaire (1.1) est général puisqu'il prend en compte l'aplatissement terrestre ainsi que l'angle horaire d'Eros au moment de l'observation.**

Où ρ est la valeur du rayon terrestre à la **latitude géographique** φ du lieu d'observation, et φ' est la **latitude géocentrique** ou géodétique, $\varphi - \varphi'$ est alors appelé la *réduction de la latitude*. Dans le repère équatorial terrestre où la longitude λ est comptée positivement vers l'est à partir du méridien de Greenwich, la relation qui existe entre φ et φ' est :

$$\tan \varphi' = (1 - e^2) \tan \varphi \tag{1.2}$$

Où e est l'ellipticité du sphéroïde terrestre représenté par un ellipsoïde de demi-grand axe équatorial a et de demi-grand axe polaire b . L'aplatissement terrestre f est défini et relié à l'ellipticité du sphéroïde par

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{a - b}{a} \\
 1 - e^2 &= (1 - f)^2
 \end{aligned} \tag{1.3}$$

Quant à la distance ρ entre le centre de la Terre et la position de l'observateur situé à une altitude h sur l'ellipsoïde terrestre, exprimée en unité de rayon équatorial terrestre a , elle est donnée par les formules suivantes

$$\begin{aligned}\rho \sin \varphi' &= \frac{(1-e^2) \sin \varphi}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}} + \frac{h}{a} \sin \varphi \\ \rho \cos \varphi' &= \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}} + \frac{h}{a} \cos \varphi\end{aligned}\tag{1.4}$$

Les valeurs de référence adoptées pour e , f et a sont $e^2 = 0,00669438$, $f = 1/298,257$ et $a = 6378,140\text{km}$.

La méthode simplifiée permet de déterminer la parallaxe horizontale d'Eros à partir d'une seule observation donnée par le couple (α', δ') . Il faut alors déterminer les parallaxes en ascension droite et déclinaison p_α et p_δ à partir de la connaissance de la position géocentrique du petit corps donnée par l'éphéméride. Cette position a pour coordonnées équatoriales (astrométriques J2000 : α, δ). Le formulaire (1.5) donne deux façons de déterminer la parallaxe horizontale π , ce qui pourra être utile pour un contrôle des calculs :

$$\begin{aligned}\pi &= \frac{\cos \delta}{\rho \cos \varphi' \sin H} p_\alpha \\ \tan \gamma &= \frac{\tan \varphi'}{\cos H} \\ \pi &= \frac{\sin \gamma}{\rho \sin \varphi' \sin(\gamma - \delta)} p_\delta\end{aligned}\tag{1.5}$$

La méthode proposée revient implicitement à prendre comme lieu de référence un lieu situé sur le même méridien que l'observateur et à une latitude sensiblement égale à la déclinaison du petit corps. Un observateur qui serait situé en ce lieu aurait l'astéroïde au zénith lors de son passage au méridien.

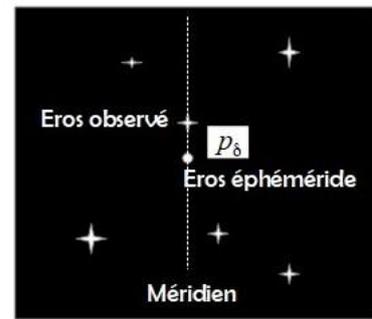
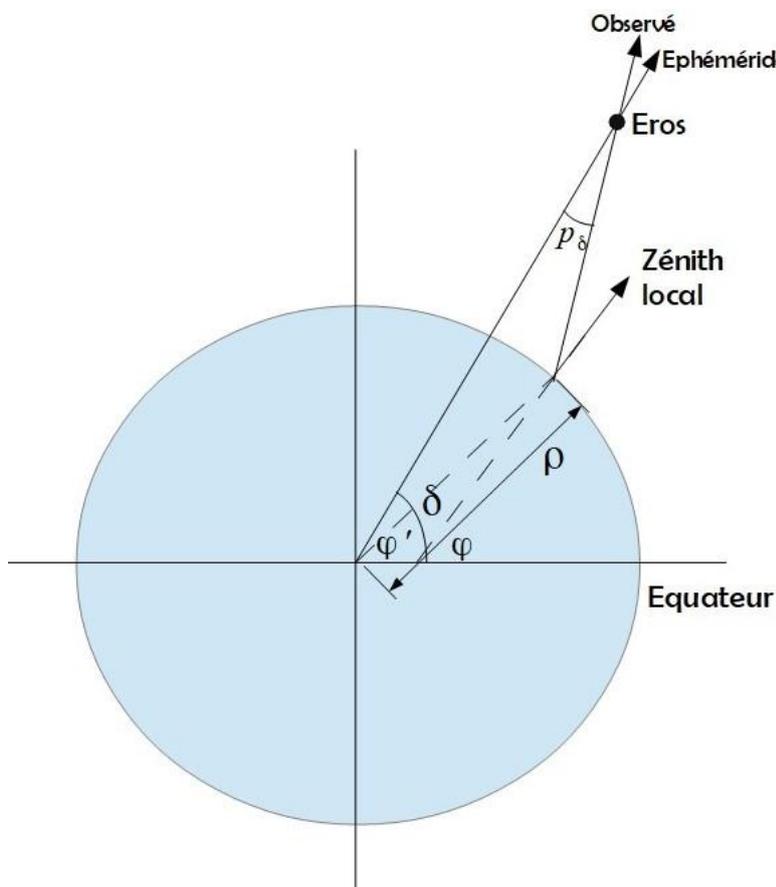
Considérons deux cas particuliers :

- si $H=0$ –cas d'une observation méridienne :

$$\gamma = \varphi'$$

$$\pi = \frac{1}{\rho \sin(\varphi' - \delta)} p_\delta \quad (1.6)$$

Dans ce cas, il n'y a pas de parallaxe en ascension droite, seule existe une parallaxe en déclinaison qui est égale à la parallaxe de hauteur. La figure ci-dessous illustre ce cas.



φ : latitude géographique
 φ' : latitude géocentrique
 ρ : déclinaison
 p_δ : parallaxe en déclinaison
 π : parallaxe horizontale

$$p_\delta = \rho \pi \sin(\varphi' - \delta)$$

- Si $H = -6h$, cas d'une observation à l'horizon au lever de l'astre :

$$\begin{aligned}\pi &= \frac{\cos \delta}{\rho \cos \varphi'} p_{\alpha} \\ \gamma &= \pi/2 \\ \pi &= \frac{1}{\rho \sin \varphi' \cos \delta} p_{\delta}\end{aligned}\tag{1.7}$$

Dans ce cas les parallaxes en ascension droite et déclinaison sont maximales. On remarque également que la parallaxe en ascension droite est nettement plus élevée que celle en déclinaison. Il est donc préférable d'observer le plus loin possible du méridien pour obtenir une très bonne précision sur la détermination de la parallaxe horizontale d'Eros.

3. Observation du petit corps

Les petits corps en rapprochement peuvent être relativement brillants. Ils se trouvent alors près de leur opposition et sont visibles toute la nuit puisqu'ils se lèvent au moment où le Soleil se couche. Ils sont alors accessibles à de petits télescopes. Il faut procéder à des temps de pose qui peuvent varier selon la brillance, entre 10s et 20s pour les plus brillants d'entre eux (MagV = 9) jusqu'à 120s pour les plus faibles. Si vous disposez de filtres, il est préférable de se servir d'un filtre R.

Il est recommandé d'effectuer des images dès la tombée de la nuit, bien avant son passage au méridien, ainsi que des images aussi proches que possible du méridien.

Il est important de bien dater les images (précision de 0,1s sur la datation UTC) et de connaître parfaitement sa position géographique (GPS).

4. Calibration astrométrique des images

La calibration astrométrique d'une image CCD revient à déterminer les coordonnées astrométriques J2000 du centre du champ, l'échelle sur le ciel du pixel ainsi que l'orientation des images (position du Nord et de l'Est).

Elle peut se faire à l'aide du site <http://nova.astrometry.net/upload>

Il suffit de télécharger son image pour récupérer au format FITS (Flexible Image Transport System) une nouvelle image dont l'entête contiendra les paramètres de

calibration astrométrique en coordonnées astrométriques J2000. Cette nouvelle image se nomme `new_image.fits`.

Astrometry.net logo NOTE: signins should be working again... but read about account migration. Not signed in | Sign In

Home Explore Upload API Support

Images > eros2-20.corr.fits



Submitted by (1)
on 2018-12-13T08:48:51Z
as "eros2-20.corr.fits" (Submission 2415083)
under Attribution 3.0 Unported

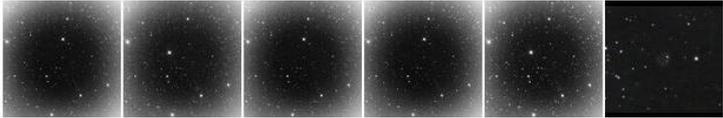
Job Status

Job 3094423:
Success

Calibration

Center (RA, Dec): (64.301, 60.847)
Center (RA, hms): 04^h 17^m 12.242^s
Center (Dec, dms): +60° 50' 47.776"
Size: 23.6 x 23.6 arcmin
Radius: 0.279 deg
Pixel scale: 0.693 arcsec/pixel
Orientation: Up is -12.9 degrees E of N
WCS file: [wcs.fits](#)
New FITS image: [new-image.fits](#)
Reference stars nearby (RA,Dec table): [rdls.fits](#)
Stars detected in your images (x,y table): [axy.fits](#)
Correspondences between image and reference stars (table): [corr.fits](#)
KMZ (Google Sky): [image.kmz](#)
World Wide Telescope: [view in WorldWideTelescope](#)

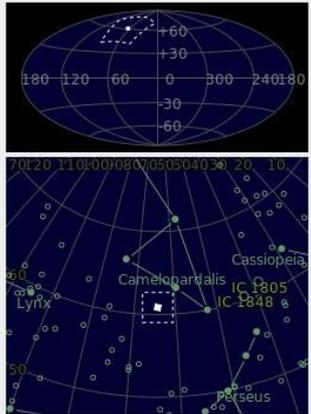
Nearby Images ([View All](#))



Comments

No comments.

Please Sign In to post comments.

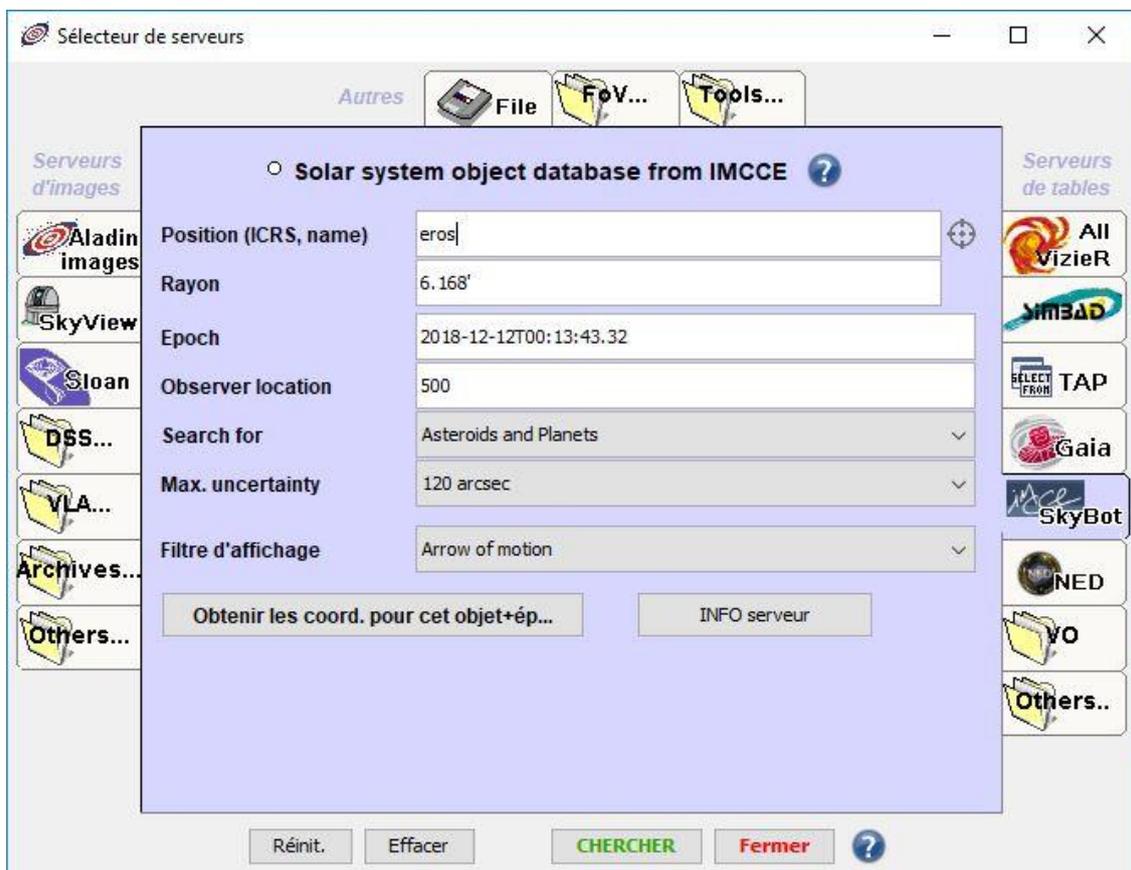


Dans l'exemple ci-dessous, il s'agit d'une image du champ d'Eros faite le 12 décembre 2018 à 00:13:43 UTC sur le télescope de 60cm du Centre astronomique de Saint-Michel l'Observatoire (long=05°43'54" ; lat=43°52'36"). Les paramètres de calibration sont donnés dans le cartouche droit.

5. Mesure de la position astrométrique

Une fois la calibration astrométrique effectuée, il est ensuite nécessaire de mesurer la position du petit corps dans le champ. Elle peut se faire à l'aide du logiciel *Aladin* développé par l'Observatoire de Strasbourg disponible sur toute plateforme (<https://aladin.u-strasbg.fr/>).

Pour cela, l'image calibrée doit être ouverte sous Aladin via le menu **Fichier>Charger un fichier local**. L'entête FITS de l'image est disponible dans le menu **Edition>Entête Fits**. La position théorique d'Eros donnée par son éphéméride peut être superposée à partir de l'outil se trouvant dans le menu **Fichier>Ouvrir le sélecteur de serveurs**. Il faut alors sélectionner l'outil *Skybot* développé par l'IMCCE et entrer la date UTC de l'observation au format ISO comme ci-dessous.



Après avoir entré le nom de l'astéroïde (Eros), cliquez sur « Obtenir les coord. Pour cet objet » puis sur le bouton « CHERCHER ». La position théorique d'Eros s'affiche alors sur votre image. En pointant la position d'Eros, vous pouvez récupérer ses coordonnées équatoriales astrométriques J2000 qui s'affichent en bas de l'écran.

Commande 04:17:17.03 +60:47:02.9 Référentiel ICRS Projection AutoFit

DSS SDSS 2MASS WISE GALEX PLANCK AKARI XMM Fermi Gaia Simbad NED +

new-eros2-20

Phot.: 04 17 17.01507 +60 47 02.6155
unknown by Starbad

1.143" x 55.46"

15"

Chercher

Num	Name	RA	DEC	Class	Mv	ErrPos	d	dRAcosDec	d0
433	Eros	04 17 17.0304	+60 47 2.907	NEAs-Amor	9.7	0.019	0	-19.0371	
Phot 2	new-eros...	04:17:15.63...	+60:47:12.3...		1057.04	712.45	6	5.69	57 57119.21

23.66' x 23.63'

La position reportée présente un écart en déclinaison et en ascension droite avec la tache lumineuse qui correspond à la position observée d'Eros. La mesure de la position observée se fait en pointant l'image d'Eros. La mesure du centroïde (photocentre) se fait en activant le bouton *phot* du menu se trouvant sur la droite de l'image, ou par l'onglet "Image -> Photometry measurement -> circle". Les caractéristiques de l'objet pointé sont alors données dans la fenêtre du bas.

Ces écarts sont les parallaxes en déclinaison et en ascension droite données par les équations (1.1). Pour cette observation, l'angle horaire est de 1h42, la parallaxe en ascension droite est de 21.725" et celle en déclinaison est de -8.807". La mesure de la parallaxe en ascension droite donne une parallaxe horizontale d'Eros de 33,999".

On en déduit la parallaxe solaire en multipliant la parallaxe d'Eros par sa distance géocentrique donnée par l'éphéméride et exprimée en unités astronomiques. Dans le cas présent elle vaut 0,25893 au. Ce qui donne une parallaxe solaire mesurée de 8,803" qui peut être comparée à la valeur exacte de 8,794".

La mesure de la parallaxe en déclinaison donne une parallaxe horizontale de 38.004" et une parallaxe solaire de 9,840". On constate que les valeurs des parallaxes d'Eros et du Soleil sont nettement moins bonnes à partir de la parallaxe en déclinaison car celle-ci est près de 3 fois inférieure à la parallaxe en ascension droite. C'est la raison pour laquelle il est recommandé d'observer Eros dès la tombée de la nuit, très en amont de son passage au méridien.

6. Interface de calcul de la parallaxe



Un site spécialement dédié la mesure de la parallaxe d'un astéroïde en passage proche. Il est accessible à l'adresse : <http://asteroides-petits-corps-et-cie.imcce.fr>

Il offre en outre la possibilité de déterminer la parallaxe du petit corps considéré et la parallaxe solaire au moyen d'un formulaire unique. L'observateur n'a qu'à renseigner les champs pour immédiatement obtenir les valeurs des différentes parallaxes considérées. Chaque année une liste d'objets en passage proche sera actualisée sur le site.

OBSERVATION

Date UTC

2018-12-12T00:14:06.01

Longitude

05 43 54 Est

Latitude

43 52 36 Nord

MESURE ASTROMÉTRIQUE

Ascension droite

04 17 15.63846

Déclinaison

60 47 12.3000

Position théorique d'Eros

$$\alpha = 4:17:17.09$$

$$\delta = 60^{\circ}47'3.49''$$

Angle horaire

$$H = 1:42:22.26$$

Position observée d'Eros

$$\alpha = 4:17:15.64$$

$$\delta = 60^{\circ}47'12.30''$$

Distance géocentrique

$$d = 0.25893 \text{ au}$$

Parallaxe en ascension droite d'Eros

$$p_{\alpha} = 21.725''$$

Parallaxe horizontale d'Eros

$$\Pi_{\text{EROS}} = 33.999''$$

Parallaxe horizontale du Soleil

$$\Pi_{\text{SOLEIL}} = 8.803''$$

Parallaxe en déclinaison d'Eros

$$p_{\delta} = -8.807''$$

Parallaxe horizontale d'Eros

$$\Pi_{\text{EROS}} = 38.004''$$

Parallaxe horizontale du Soleil

$$\Pi_{\text{SOLEIL}} = 9.840''$$