

AVEC NOS ÉLÈVES

Quel est cet indésirable ?

Olivier Gayrard, Olivier.Gayrard@ac-toulouse.fr

Un exemple de démarche d'investigation : à partir de l'étude de deux clichés d'une même portion de ciel nocturne une énigme apparaît. Avec un peu de réflexion et quelques calculs on peut en déduire un résultat intéressant.

Voici deux photographies prises consécutivement. La première réalisée avec une monture équatoriale avec les moteurs de suivi enclenchés à la

vitesse sidérale. La seconde avec le suivi mis en pose. Que pouvons-nous déduire de ces deux clichés ?



Fig.1.a.b. Dimanche 7 août 2016 01 h 15, 2 poses de 30 s consécutives avec un Canon EOS 60 Da au foyer d'un newton 8", f/3,9, iso 800. Haut, suivi sidéral, bas, suivi arrêté.

Où l'on cherchera la nature de l'objet, et par rapport à quoi il est en mouvement

Sur la première photographie, nous voyons la trace laissée par un objet non identifié. Il ne s'agit pas d'un avion, la marque étant continue, ni d'une étoile filante, la traînée étant trop petite pour le temps de pose. Nous pouvons faire l'hypothèse que cette empreinte est le témoignage du passage d'un satellite. Sur la seconde photographie, nous ne sommes pas surpris de voir les étoiles filer puisque le suivi de la monture est coupé. Deux informations apparaissent immédiatement : les sillons lumineux sont parallèles et de longueurs comparables pour un même temps de pose. Nous pouvons en déduire d'une part que le mouvement du supposé satellite par rapport aux étoiles est de même nature que le mouvement des étoiles par rapport à l'observateur (que l'on confondra avec la Terre) ; d'autre part que la vitesse angulaire de l'objet mystérieux par rapport aux étoiles a même valeur que la vitesse angulaire des étoiles par rapport à la Terre. Un examen plus attentif nous permet enfin d'extraire un dernier renseignement : les traces laissées ont des sens opposés. Nous en déduisons que l'objet est fixe par rapport à la Terre ; nous le retrouvons en effet sur la seconde photo sous une forme ponctuelle. L'énigme est désormais éclaircie, l'objet en question est bien un satellite, de plus il présente la propriété d'être géostationnaire.

Où l'on cherchera à retrouver les sens de déplacement

La Terre accomplit un tour sur elle-même d'ouest en est (sens direct), par rapport au référentiel céleste. L'observateur, lui, assujéti au référentiel terrestre voit donc les étoiles se déplacer d'est en ouest. Comparons de nouveau les deux photographies. Recherchons sur le premier cliché une étoile brillante, puis son « itinéraire » sur le suivant. Nous obtenons ainsi le sens d'est vers l'ouest, soit sur la deuxième image la diagonale d'en haut à gauche vers le bas à droite. Remarquons aussi que sur le premier cliché le satellite géostationnaire a bien un mouvement identique à celui de la Terre par rapport aux étoiles, d'ouest en est.

Renseignons notre photographie

À l'aide du logiciel Aladin¹, réalisons une calibration astrométrique en pointant les mêmes étoiles sur le cliché du DSS (Digitized Sky Survey) et sur la photo 1.a. Cela nous permettra de connaître les coordonnées en ascension droite et déclinaison des étoiles et de tout objet paraissant dans la vue, d'orienter la photographie telle que celle proposée par le DSS, d'uniformiser l'échelle, de rajouter une grille de coordonnées..., sur l'original 1.a.

¹ <http://aladin.u-strasbg.fr/aladin-f.gml>



Fig.2.a. : Image du DSS permettant la calibration astrométrique.



Fig.2.b. Photographie 1.a. orientée.

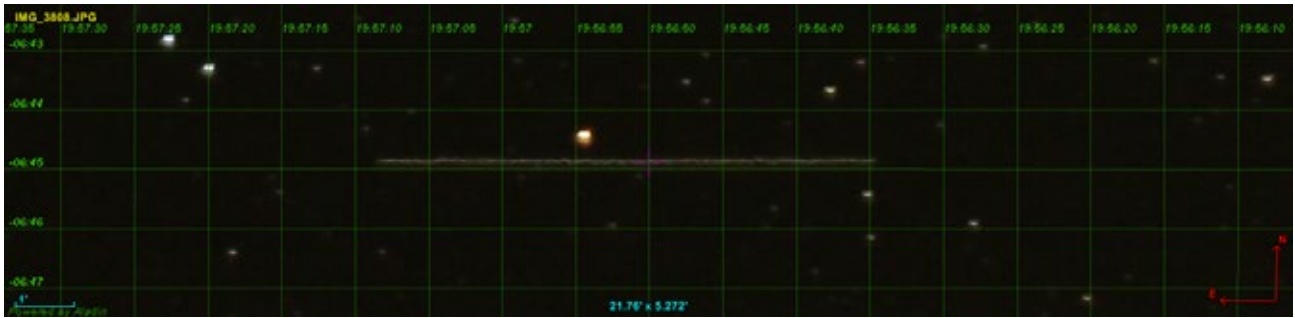
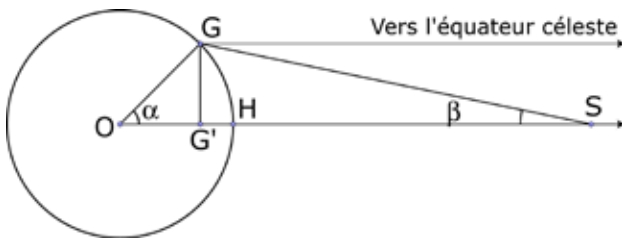


Fig.2.c. Zoom sur le filé du satellite géostationnaire avec grille des positions.

Où l'on cherchera à retrouver la distance du satellite géostationnaire à la Terre

Cherchons à schématiser la situation. Depuis l'hémisphère nord, un satellite géostationnaire est vu sous l'équateur céleste, et ce d'autant plus que l'observateur est dans les hautes latitudes. En revanche, un observateur placé sur l'équateur terrestre verrait l'anneau des satellites géostationnaires confondu avec l'équateur céleste. Seul le premier cas nous permet, en usant d'un peu de géométrie, de faire une mesure de la distance h du satellite géostationnaire à la Terre.



O : centre de la Terre.

R_T : rayon terrestre.

G : position de l'observateur.

S : le satellite géostationnaire.

α : latitude du lieu d'observation : Saint Benoît de Carmaux 44,05°

β : l'angle fait entre la position apparente du satellite depuis le lieu d'observation et l'équateur céleste. Environ 6° 45', mesuré sur la figure 2.c.

D'après la figure ci-dessus, il vient que :

$$G'S = \frac{GG'}{\tan \beta}$$

$$\text{Avec } GG' = OG \sin \alpha = R_T \sin \alpha$$

$$\text{Et } OG' = R_T \cos \alpha$$

$$\text{D'où } h = HS = OS - R_T = OG' + G'S - R_T$$

Donc :

$$h = R_T \cos \alpha + \frac{R_T \sin \alpha}{\tan \beta} - R_T = R_T \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\tan \beta} - 1 \right)$$

Soit après calcul avec les valeurs données $h = 35\,634$ km. Avec une valeur théorique de $h = 35\,786$ km, cela fait une erreur relative de 0,4 % imputable à la précision de la calibration et de la mesure de l'angle β .

Comment photographier un satellite géostationnaire ?

La magnitude des satellites géostationnaires est d'environ 11 à 14. Aussi, faudra-t-il user d'un télescope de diamètre suffisamment grand, au risque de chercher un objet... invisible. Pour cela on peut utiliser la formule suivante donnant la magnitude limite.

Magnitude limite = $2 + 5,1 \times \log(\text{diamètre en mm})$.
 Pour le travail qui nous préoccupe, allons sur le site Calsky², puis suivons les liens « satellite » puis « geostationary ». Choisissons dans la liste un satellite dont l'azimut est proche de 180° (sud) ; il sera ainsi plus haut dans ciel et donc plus facilement visible. Trois liens sont disponibles. En cliquant sur le nom du satellite, nous trouvons son statut de visibilité ainsi que son inclinaison, magnitude, coordonnées équatoriales et azimutales, éléments orbitaux... En cliquant sur ground track, nous obtenons une carte avec notre position, celle du satellite, sa zone de visibilité... Et enfin, en suivant star chart, les positions du satellite minute après minute devant les étoiles qui apparaissent. Il est alors possible pour le retrouver d'utiliser soit la raquette de la monture et l'un des deux systèmes de coordonnées, soit de suivre une étoile de même déclinaison que le satellite jusqu'à leur rapprochement.

Sitographie

Deux sites d'intérêt permettant de simuler la trace au sol d'un satellite en orbite circulaire lors de son parcours. L'altitude et l'inclinaison sont ajustables. Pour voir la projection à la surface de la Terre d'un satellite géostationnaire, choisir une période de 86 ks (23 h 56 min 4 s), et une inclinaison $i = 0^\circ$. Il est intéressant d'observer la courbe en huit pour des valeurs d'inclinaison non nulle. Les orbites ne pouvant être que circulaires, ces courbes sont symétriques, ce qui ne serait pas le cas avec des orbites elliptiques.

<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/divers/satelstat.html>

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Meca/Planetes/geosat_F.php

² <http://www.calsky.com/>