

XVIII^e OLYMPIADE DE PHYSIQUE

"Herculina est en forme ..."

Pasquier Corentin, Coislier Titouan, Livet Florian,
Lycée Léonard de Vinci de Montaigu

Lorsque nous regardons un astéroïde à travers un télescope, nous ne pouvons pas distinguer sa forme. Une des seules informations pouvant être récupérée est sa luminosité, et plus précisément sa variation de luminosité en fonction du temps. La démarche consiste à trouver un lien entre forme et courbe de luminosité d'un astéroïde. Ce projet fut présenté aux Olympiades de Physique 2011 au Palais de la Découverte à Paris et a remporté un premier prix ainsi qu'une qualification pour le concours international Intel ISEF à Los Angeles en mai 2011.

Quelques généralités sur les astéroïdes

La découverte des astéroïdes remonte au début du XIX^e siècle, mais leur étude ne prit un grand essor que lors de l'arrivée de l'informatique dans l'astronomie.

Il existe trois grands types d'astéroïdes : les carbonés "C", les silicatés "S" et les métalliques "M" (respectivement 75%, 17% et 5% de présence dans le système solaire). Ils peuvent mesurer de 10 à 1 000 000 de mètres. Ils ont une période de rotation autour du Soleil, ainsi qu'une période de rotation sur eux-mêmes, faisant varier leur luminosité.

On trouve environ 200 000 astéroïdes dans le système solaire (500 000 connus et 400 000 inconnus), principalement dans la ceinture principale et dans la ceinture de Kuiper.

L'étude d'astéroïdes centimétriques

Étant donné qu'un des seuls moyens d'étudier la forme d'un astéroïde est d'étudier sa courbe de luminosité, on peut la comparer avec celles de modèles de petites tailles. Le principe était de créer un montage pour essayer de représenter au mieux la réalité. On y trouve donc une lampe (le Soleil), un modèle (un astéroïde), un tournebroche faisant tourner le modèle et une webcam (l'observateur sur la Terre).

Le montage

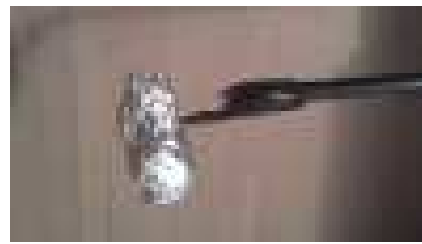
La webcam filme la rotation du modèle dans une pièce sombre pour éviter toute perturbation. On obtient une petite vidéo (5 minutes avec 5 images par seconde) et avec le logiciel IRIS, nous permet de récupérer une courbe de luminosité. Le principe est simple, on indique la position du modèle et le logiciel va traiter les images pour récupérer la variation de luminosité du petit astéroïde. Il ne reste plus qu'à faire apparaître la courbe de luminosité grâce à un tableur, avec en abscisse le temps et en ordonnée la variation de luminosité.



Montage réalisé dans une maison.

Les modèles

Le point clé de ce montage est sans doute le modèle d'astéroïde. En effet, comme c'est le seul paramètre que l'on change entre toutes les mesures, ce sont uniquement les modèles qui peuvent modifier l'allure des courbes. Ainsi, les modèles sont classés en deux catégories : les formes géométriques et les formes de "pomme de terre". L'avantage des formes géométriques se trouve dans le fait que les modèles ont un aspect accentué (comme un cône dont une extrémité est allongée) Comparer les courbes entre elles et trouver le lien entre les courbes et les formes devient donc plus facile. Cependant, il est peu probable de trouver un astéroïde de forme cubique dans l'espace, c'est pourquoi on a aussi utilisé des pommes de terre, car leur forme aléatoire rappelle celle des astéroïdes. En ce qui concerne le matériau utilisé pour réaliser les modèles, la première solution retenue fut le polystyrène, car c'est un matériau solide et facile à conserver. Cependant, on ne peut ni modifier, ni réparer ces modèles. C'est pour cela que, sur les conseils d'un astronome travaillant à l'observatoire de l'université de Genève, M. Behrend, la solution finale utilisée fut la pâte à modeler. Comme son nom l'indique, elle permet plus facilement de modeler, mais aussi de modifier ou de réparer les modèles. Pour ce qui est de la texture, on a recouvert les modèles d'aluminium. En effet, on veut récupérer la lumière réfléchiée par les modèles, or l'aluminium réfléchit très bien la lumière, donc c'est un bon point. De plus, l'aspect rugueux du papier aluminium froissé est semblable aux cratères présents à la surface des astéroïdes.



Exemple de modèle (huit).

L'étude de vrais astéroïdes

Après avoir terminé les expériences sur les modèles, place aux expériences réelles. Il faut récupérer les images d'un astéroïde pour pouvoir comparer sa courbe de luminosité à celles de nos modèles. Le principe est simple, on prend des photos de l'astéroïde pendant une nuit à l'aide d'une caméra CCD branchée sur un télescope Celestron (Schmidt-Cassegrain de 2 m de focale avec un réducteur 3,3). Ensuite, le logiciel Iris va permettre de faire le prétraitement et le traitement des images pour ainsi obtenir la courbe de luminosité de l'astéroïde observé.

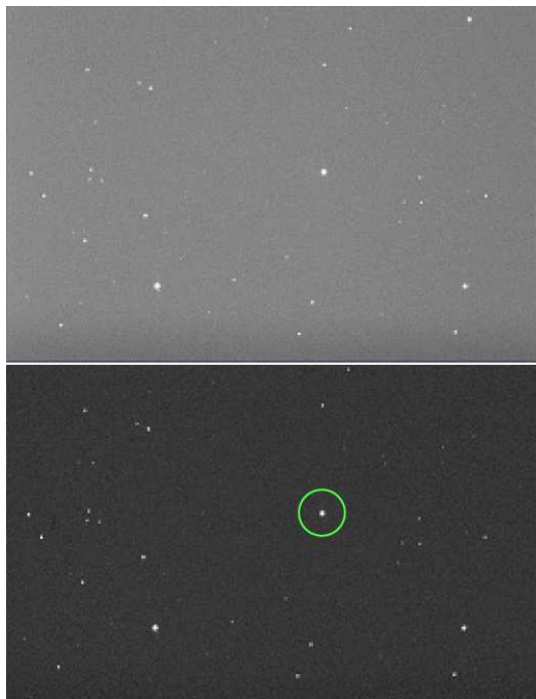


Télescope et caméra CCD utilisés.

Le prétraitement et le traitement des photos

Il y a deux étapes pour obtenir la courbe de luminosité : le prétraitement et le traitement. Le prétraitement consiste à supprimer les défauts du montage (télescope et caméra CCD). Il existe trois défauts : le premier est causé par les pixels morts ou chauds de la caméra CCD, le second par sa chaleur interne de la caméra CCD et le dernier par des défauts optiques de l'ensemble du montage. Les deux premiers défauts sont des "bruits additifs" et le troisième un "bruit multiplicatif", il faudra donc

soustraire les deux premiers bruits et diviser par le dernier. Après la phase de prétraitement vient la phase d'alignement des images. En effet, pendant la nuit d'observation, le télescope et la caméra CCD vont bouger (par la vibration de nos pas, le vent, etc.), on va par exemple récupérer une partie d'une image en haut et en perdre une autre en bas, les images seront décalées. Le principe est simple, on indique au logiciel IRIS une étoile et il va se charger d'aligner les images. Vient ensuite le traitement des photos, qui consiste à récupérer la luminosité de l'astéroïde à partir des photos de celui-ci. Le principe est sensiblement le même que pour les modèles, à la seule différence qu'on doit indiquer la vitesse de déplacement en X et en Y de l'astéroïde étant donné que celui-ci se déplace dans le ciel. Il faut aussi prendre la luminosité de plusieurs étoiles de référence pour l'étape suivante.



Différence entre une image non prétraitée (en haut) et une image prétraitée et alignée (en bas), Herculina est entouré.

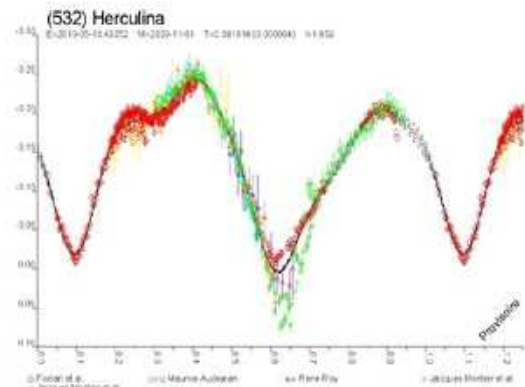
La "super-étoile"

Après ces deux phases assez complexes, il reste une dernière étape, la "super-étoile". Pendant la nuit, des perturbations atmosphériques vont gêner la capture des images, que ce soit un avion ou un nuage (dans notre cas, principalement à cause du volcan Eyjafjöll). Il faut donc enlever ces défauts. On va d'abord faire un premier graphique pour s'assurer que les étoiles de références sont bien des étoiles et non d'autres objets célestes. Une étoile possède une luminosité constante : une courbe de luminosité plutôt rectiligne est donc représentative

d'une étoile. Une fois que nous nous sommes assurés que les étoiles en sont bien, nous allons faire la moyenne de la luminosité de toutes ces étoiles pour chaque image (c'est la "super-étoile") et nous allons soustraire cette moyenne à la luminosité de l'astéroïde, enlevant ainsi les défauts de l'atmosphère et donnant une courbe de luminosité plus précise.

La vérification.

Une fois ceci fait, nous avons fait vérifier nos données sur l'astéroïde "(532) Herculina" par M. Behrend. Il a souhaité faire son prétraitement et son traitement seul et le premier verdict fut bon, mais quelques jours plus tard, M. Behrend nous a mentionné un problème : notre courbe ne correspondait absolument pas à celle de 2004. Il a donc demandé à d'autres astronomes amateurs de faire leur propre courbe, or celles-ci coïncidaient bien avec la nôtre. M. Behrend a donc publié notre courbe sur son site avec nos noms, elle est reconnue par la communauté astronomique. Reste cependant un dernier problème, un des puits de la courbe varie fortement selon les différentes données, Herculina est donc passé en objet provisoire et fait encore l'objet de recherches par les astrophysiciens.



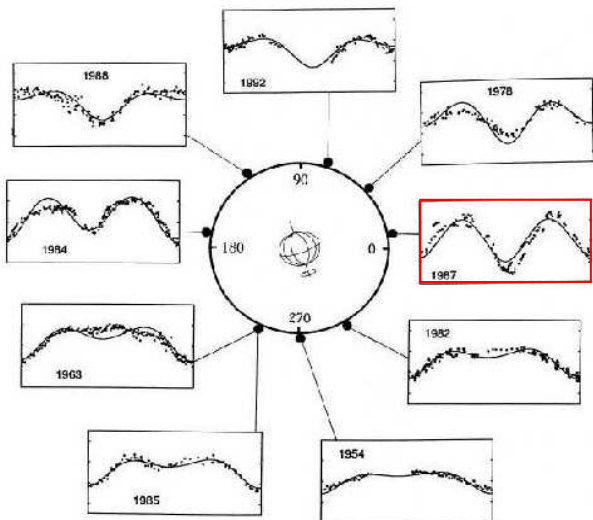
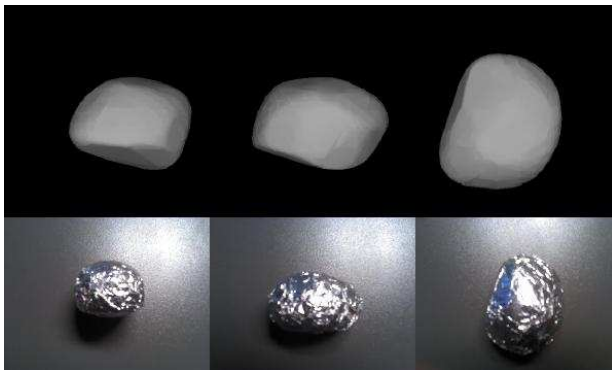
Courbe finale de (532) Herculina, nos points sont en rouge, les autres correspondent aux mesures des amateurs.

La comparaison impossible.

Une fois assurés de la validité de la courbe de luminosité de Herculina, il fallait faire le lien avec le travail fait en laboratoire. Le principe était simple : comparer la courbe de luminosité de Herculina avec celles des modèles. Après de multiples tentatives de comparaison, le même problème revenait : aucune courbe ou partie de courbe ne correspondait à la courbe de luminosité de Herculina. Il fallait s'en douter, on ne peut trouver un astéroïde en forme de cube ou de tétraèdre dans l'espace.

L'intervention de M. Fauvaud.

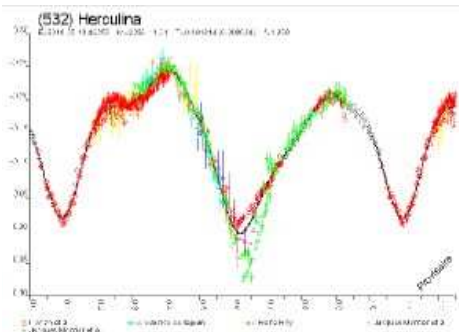
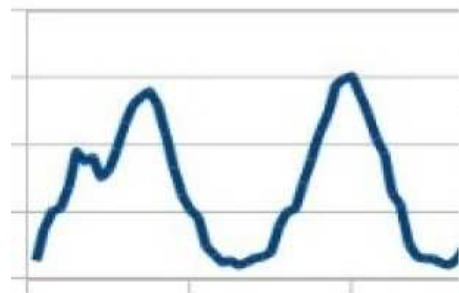
A la suite de ce problème, M. Fauvaud, un astronome amateur très averti, nous a fait une conférence de deux heures sur le principe de photométrie et aussi sur les possibilités de modélisation en trois dimensions des astéroïdes grâce à leurs courbes de luminosité. Cet astronome est en contact avec des chercheurs polonais, qui, grâce à un logiciel très sophistiqué, peuvent modéliser un astéroïde avec un ensemble de courbes de luminosité. Il nous a donc fourni un document où se trouve une modélisation de Herculina réalisée par ces chercheurs.



Modèles d'Herculina en haut et schéma de correspondance courbe angle en bas. Encadrée en rouge la courbe qui ressemble à celle obtenue lors de nos observations.

Ce document nous montre aussi un schéma sur lequel on peut voir un lien entre une courbe de luminosité et un angle. Cet angle se trouve être en fait l'angle formé par l'axe de rotation de l'astéroïde et la perpendiculaire au plan de l'écliptique. En effet, au cours du temps, cet angle

varie, et modifie la courbe de luminosité de Herculina. L'ensemble des courbes présentes sur le schéma ci-dessus, a été obtenu sur une période de 25 ans. Nous avons donc décidé de reproduire Herculina en pâte à modeler (à partir du modèle présent sur le document), et de placer ce modèle dans notre montage en modifiant l'angle entre la broche (axe de rotation) et la perpendiculaire au sol (plan de l'écliptique). Sur le schéma, la courbe la plus semblable à la nôtre se trouve être la courbe de 1987, qui correspond à un angle de 5 degrés. La courbe obtenue correspond très fortement avec celle réalisée sur Herculina, nous avons donc fait le



lien entre laboratoire et mesures réelles.

Comparaison entre les deux courbes : modèle d'Herculina en haut et Herculina en bas.

Herculina : un objet particulier ...

Malgré l'obtention de la forme de Herculina, un problème revenait au niveau du puits de lumière qui ne correspondait à aucune courbe. Après diverses études et l'intervention lors de notre présentation aux Olympiades de physique de Lucie Maquet, une étudiante en astrophysique (en dernière année de thèse), nous savons que Herculina possède son propre satellite. La méthode par "occultation" a permis de déterminer les propriétés du satellite : son diamètre est de 50 km alors que celui de Herculina est de 217 km ; la distance le séparant de Herculina est de 975 km. Cet astéroïde est en fait un système double. ■