

Calcul de la distance Terre-Mars

Ce travail consiste à déterminer la distance Terre-Mars par une mesure de parallaxe. Il faut pour cela observer Mars et les étoiles qui l'entourent, de deux points, sur Terre, éloignés l'un de l'autre.

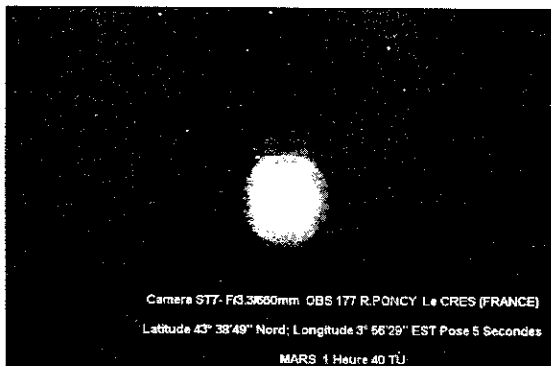
Des élèves du lycée Gaston Bachelard de Chelles ont initié ce projet qui a été réalisé avec la participation de Raymond Poncy, en France métropolitaine, et de Robin Chassagne, à Sainte Clotilde, dans l'île de la Réunion. Le compte rendu en a été fait par Vincent Marandon, élève de 1ère S.

La rédaction des Cahiers Clairaut s'est permis d'introduire des intertitres et a apporté quelques rares modifications sans dénaturer le texte reçu.

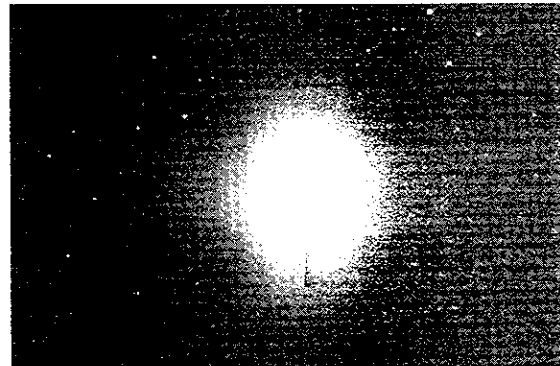
A la date de l'observation, le Bureau des Longitudes, donne la valeur 0,669 UA pour la distance Terre-Mars.

Nous avons calculé la distance Terre-Mars, avec le plus de précision possible, grâce à deux photographies prises au même moment à deux endroits différents avec des webcam, des caméras CCD ou des photos traditionnelles. Pour cette opération nous avons besoin de deux clichés pris de lieux assez éloignés l'un de l'autre, c'est la raison pour laquelle nous nous sommes mis en contact avec d'autres amateurs d'astronomie, par l'intermédiaire d'Internet, et soumis un protocole fait par notre club, où figuraient les meilleurs jours et heures pour les observations et les photos. Il y a eu plusieurs tentatives d'effectuées dont une au mois de Novembre avec une webcam qui a été fructueuse mais pour nous seuls hélas.

Voici des clichés qui nous ont permis de calculer la distance Terre-Mars ; ils ont tous les deux été pris le 29/04/2001 à 1h 40 TU. Un troisième partenaire, Pierre Dubreuil, a aussi réussi son cliché à Hyères dans le Var mais le manque de temps n'a pas permis de le prendre en compte.



**Cliché de Raymond Poncy
Le Crès (Hérault).**



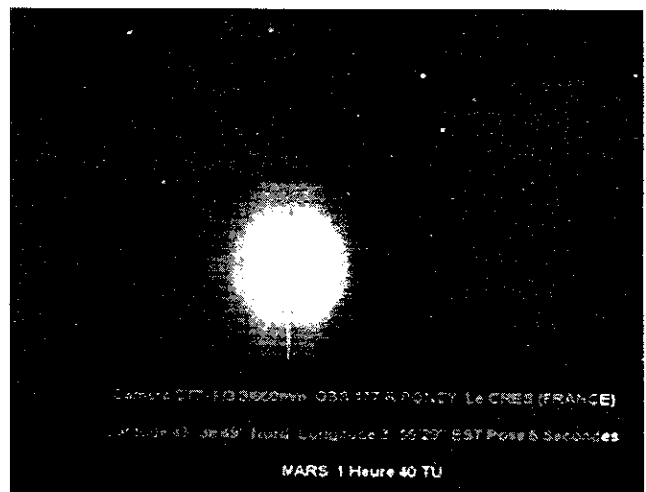
**Cliché de Robin Chassagne
Sainte Clotilde (La Réunion).**

Il est important de souligner que pour ce cliché, Mars était proche du zénith (déclinaison de $-24^{\circ} 3'$) ce qui va nous aider pour la suite des calculs.

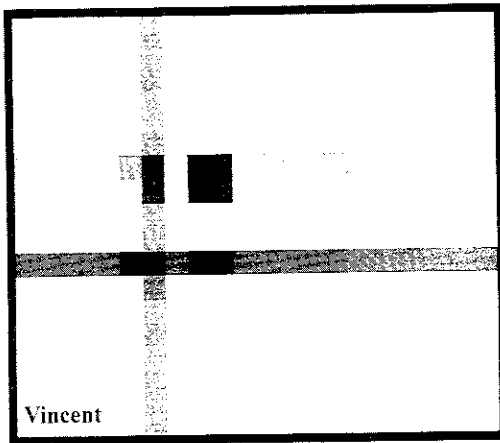
Etant donné que ces deux photos ont été prises au même moment, mais pas au même endroit, il y a un décalage entre les deux positions de Mars par rapport aux étoiles, qui elles, n'ont pas de décalage car trop éloignées.

Traitement informatique des clichés.

Grâce à des logiciels de retouche photographique, nous avons tous, dans notre club, mis l'image Chassagne à la même échelle que l'image Poncy, tracé le centre de Mars sur les deux clichés, superposé le tout par rapport aux étoiles avec une légère rotation. On a ainsi mis en évidence le décalage des deux centres.



**Résultat d'un élève à la fin de cette manipulation
se rapprochant le plus du résultat moyen.**



Gros plan sur "le centre" de l'image précédente où l'on distingue le décalage des centres des deux images de Mars.

Pour avoir l'angle du décalage il nous a fallu faire un étalonnage de la caméra, c'est à dire qu'il faut savoir le nombre de secondes d'arc par pixel. Raymond Poncy a fait un cliché de l'étoile double Epsilon 1 et 2 de la Lyre avec la même configuration que sa photo de Mars ce qui nous a permis de faire l'étalonnage des caméras des deux partenaires. On connaît l'écart entre Epsilon 1 et Epsilon 2, qui est de 3,5 minutes d'arc. Il fut obtenu aussi, mais à posteriori, avec notre matériel + webcam échantillonnés.

De plus on a le nombre de pixels d'écart (en agrandissant et en comptant), donc par une simple règle de trois on a obtenu 2,47 secondes d'arc par pixel comme étalonnage.

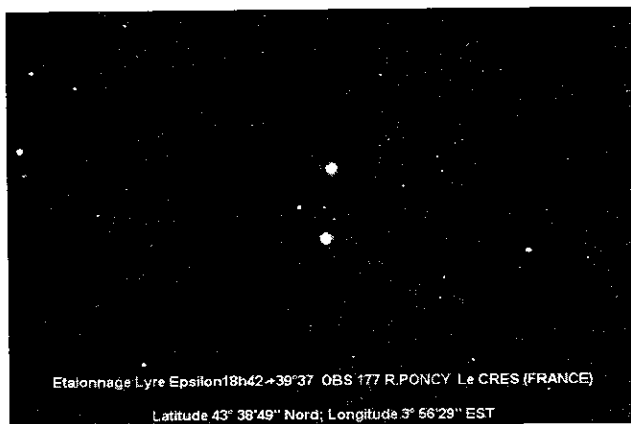


Photo ayant permis d'effectuer l'étalonnage.

D'après le calcul réalisé sur les deux clichés nous avons déterminé par 4 mesures indépendantes un décalage d'en moyenne :

- Verticalement : 4,25 pixels soit 10,5 secondes d'arc
 - Horizontalement : 3,25 pixels soit 8 secondes d'arc
- Les mesures effectuées sont de (3,3), (3,3), (3,4), (4,7) pixels.

D'après ces données on a calculé le décalage au niveau de l'hypoténuse grâce au théorème de Pythagore.

On obtient donc 13,21 secondes d'arc de décalage, angle que l'on notera : $\alpha = 13,21''$

Calcul de la distance entre les deux lieux d'observation.

Nous connaissons maintenant l'angle qui nous permettra de calculer la parallaxe. Mais il nous faut aussi la distance entre les deux lieux d'observations. Nous devons donc utiliser les coordonnées des sites d'observations.

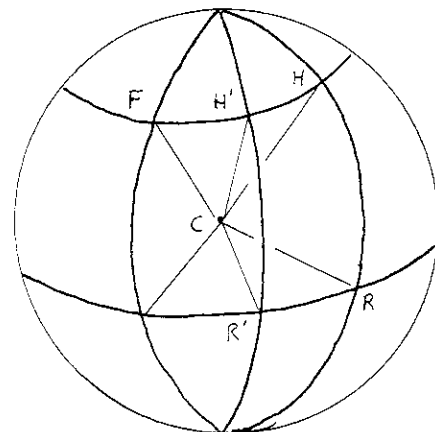
Le Crès (F) : lat. 43° 39' N et long. 3° 56,5' E
 Sainte Clotilde (R) : lat. 20° 54' S et long. 55° 30' E

Il est à noter que nous aurions pu en théorie effectuer les calculs des coordonnées des sites nous mêmes, car nous avons obtenu celles de notre lycée, mais dans un souci de simplicité nous avons préféré prendre les mesures données par nos partenaires.

Pour rendre les calculs plus simples, et utiliser des points dans un même plan, on dit que Chassagne et Poncy sont sur le même méridien. Donc on calcule les coordonnées des nouveaux points situés sur le méridien moyen entre les deux lieux d'observations :

$$(3^\circ 56,5' E + 55^\circ 30' E) / 2 = 29^\circ 43,25' E$$

H' : lat. 43° 39' N et long. 29° 43,25' E
 R' : lat. 20° 54' S et long. 29° 43,25' E



C est le centre de la Terre.
 Sont figurés ici les parallèles de F et R, ainsi que les méridiens de ces deux lieux d'observation et le méridien moyen. L'angle au centre H'CR' est appelé Δ .

Calcul de H'R' :

Il faut d'abord calculer l'angle $\Delta = H'CR'$.
 Δ est égal à la différence des latitudes respectives de H' (ou F) et de R' (ou R) :
 $\Delta = \text{lat. H}' - \text{lat. R}' = 43^\circ 39' - (-20^\circ 54')$
 $\Delta = 64,55^\circ$.

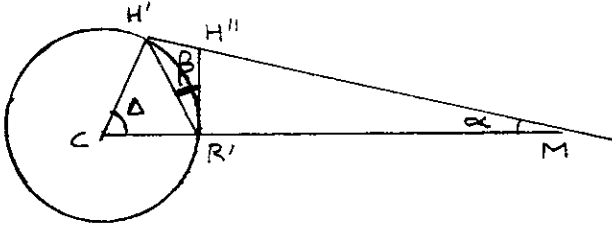
On peut maintenant calculer la distance H'R'. On sait que le triangle H'CR' est isocèle car 2 de ses côtés sont des rayons terrestres. La longueur du troisième côté, H'R', est donc :

$$H'R' = \text{Rayon terrestre} \times \sin(\Delta / 2) \times 2$$

$$H'R' = 6811,5 \text{ km.}$$

Calcul final.

Le schéma de principe est le suivant :



On connaît l'angle R'MH' = α par mesure et l'angle H'CR' = Δ par calcul.

Nous allons calculer l'angle H'R'H'' = β pour pouvoir calculer ensuite la distance R'H'', puis la distance R'M qui est la distance de Mars à la surface de la Terre.

Pour cela nous faisons les hypothèses simplificatrices suivantes :

1 - Mars est pratiquement au zénith de la Réunion (comparer la déclinaison de Mars à cette date et la latitude de Sainte Clotilde).

2 - La distance de Mars étant très grande par rapport aux dimensions de la Terre, le segment H'H'' est pratiquement parallèle au segment CR', donc le triangle H'R'H'' est pratiquement rectangle en H''.

Calcul de β :

$$\beta = 90^\circ - CR'H' \text{ et } CR'H' = (180^\circ - \Delta) / 2$$

$$D'où \beta = 90^\circ - (180^\circ - 64,55^\circ) / 2 = 32,275^\circ.$$

NDLR : $\beta = \Delta / 2$ (angle inscrit et angle au centre interceptant le même arc H'R')

On peut maintenant calculer la distance "efficace" (base) de la parallaxe, qui est la longueur H''R' ; compte-tenu des hypothèses précédentes : $H''R' = H'R' \times \cos \beta$.

$$H''R' = 5759,1 \text{ km}$$

Nous pouvons, maintenant calculer la distance de Mars :

$$R'M = H''R' / \tan \alpha$$

$$\text{Distance Terre-Mars} = 89\,924\,094,28 \text{ km}$$

$$\text{Distance Terre-Mars} = 90\,000\,000 \text{ km.}$$

Remarque : une mesure d'élève est assez différente des autres (4,7) car sa mesure s'est faite sur le disque blanc central de Poncy alors que sur celle de Chassagne, il a pris l'ensemble de la tache de diffraction. Par intégrité avec la méthode adoptée, elle a été prise en compte. Un calcul rejette

tant cette mesure donne une distance Terre-Mars égale à 107 308 700 km.

Nous réutiliserons cette dernière mesure l'an prochain pour calculer les distances des planètes du système solaire.

En conclusion, nous remercions toutes les personnes de bonne volonté qui nous ont aidés à monter ce projet et à le mener jusqu'à son terme, grâce à leur sérieux et au bon respect du protocole. En écrivant cela, je pense surtout aux astronomes amateurs qui se sont engagés à nous aider jusqu'au bout et à nous donner un peu de leur temps.

Remarques de Gilles Dodray sur l'atelier d'astronomie du Lycée Gaston Bachelard*

Le club astronomie existe depuis 10 ans et a évolué depuis quatre années en atelier scientifique : les élèves intéressés s'inscrivent pour une année scolaire à l'atelier. Le but et l'intitulé de notre projet est d'"arpenter l'Univers", c'est à dire de mesurer les distances des objets célestes avec nos seules mesures sans recours à des résultats extérieurs que l'on trouve généralement dans les livres. On a ainsi appris à se situer sur Terre (latitude et longitude), calculer le rayon terrestre, calculer la distance Terre-Lune avec l'éclipse du 11/08/1999, mesurer des hauteurs de reliefs lunaires, calculer des distances d'étoiles et de galaxies. Ce calcul présenté ici de la distance de Mars, nous permettra cette année 2001-2002 d'obtenir la distance Terre-Soleil et des autres objets du système solaire. Chaque année, nous préparons avec les élèves des projets de calculs de distances, et nous les réalisons malgré les aléas météo que l'on connaît à Paris.

Un astrophysicien, Dominique Proust du CNRS à Meudon, nous soutient et nous aide. Nous avons un très bon matériel d'observation (télescope de 212 mm motorisé), avec tout ce qu'il faut pour faire de la photo autant traditionnelle que numérique avec une webcam. Le point de départ de nos mesures étant les images que nous pouvons réaliser. Chaque année, nous réalisons aussi une mission dans un grand observatoire où nous pouvons utiliser une caméra CCD entre autres.

L'atelier fonctionne comme un enseignement optionnel : tout élève intéressé peut s'y inscrire, quelle que soit sa section. L'atelier fonctionne de 17 h à 19 h un soir par semaine. On observe et photographie quand il fait beau. On prépare les projets, traite les images acquises, fait un peu de théorie quand le ciel est couvert. L'intérêt du traitement numérique des images est tel que nous faisons de moins en moins de cours théoriques.

L'objectif est de présenter les résultats que nous avons pu obtenir lors d'expositions ou dans des mémoires rédigés par les élèves, ou mieux, la rédaction d'un article pour publication comme c'est présentement le cas. Une dizaine d'élèves s'inscrivent chaque année, et suivent l'atelier plusieurs années consécutives.

*32 avenue de l'Europe. 77505 Chelles cedex.

<http://www.ac-creteil.fr/bachelardchelles/clubs>