

Calculer la distance Terre Lune à partir d'une éclipse de Soleil

Principe

Si on observe le Soleil éclipsé à la même heure depuis deux lieux éloignés, on ne verra pas la même chose. À partir de deux photos ou même de deux dessins du phénomène observé depuis deux lieux éloignés et avec quelques autres données simples comme l'azimut et la hauteur du Soleil au moment de l'observation, il est possible de calculer la distance de la Lune.

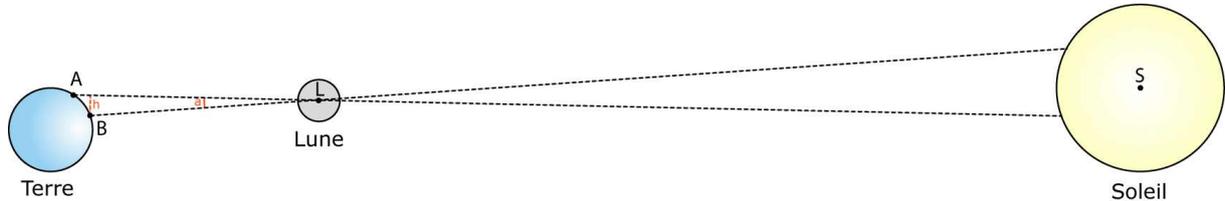


Fig.1. Si on connaît l'angle ALB (noté a) et la distance h de B à la droite (AL), on peut calculer simplement la distance BL.

Calcul de l'angle a

Nous vous proposons ici deux méthodes pour le calcul de l'angle a . La première permet des observations plus simples mais nécessite d'utiliser les éphémérides. Dans les deux cas, on considère le Soleil à l'infini.

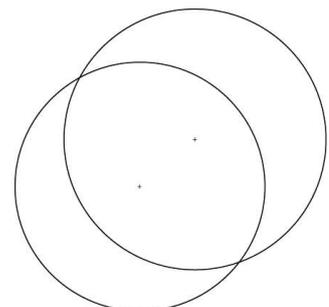
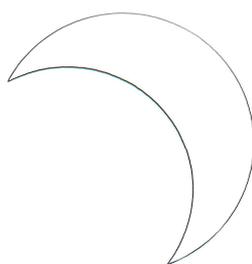
Première méthode

Dans cette méthode, l'un des personnages, A par exemple, observe une éclipse centrale à l'instant t_0 . Cela signifie que les points A, L et S sont alignés (voir figure 1). Cela simplifiera le problème de l'orientation des images. De plus, si vous faites l'expérience seul, vous pouvez utiliser un observateur virtuel en A : le lieu et l'heure de l'observation seront alors donnés par les éphémérides de l'éclipse. C'est ce qui a été fait lors de l'éclipse du 3 octobre 2005 où l'éclipse était centrale depuis Alger (voir le n° 112 des Cahiers Clairaut http://clea-astro.eu/archives/cahiers-clairaut/CLEA_CahiersClairaut_112_02.pdf).

Comment opérer ?

1. Trouver grâce aux éphémérides, un site A où l'éclipse est centrale (soit totale, soit annulaire). Si vous avez un observateur à cet endroit, c'est l'idéal, sinon, vous devrez faire confiance aux éphémérides. Repérer précisément l'instant t_0 de la centralité en A. Faites attention aux problèmes de fuseaux horaires, il vaut mieux travailler en heure TU (temps universel).
2. Depuis votre site d'observation B, faites une photo de l'éclipse à l'instant t_0 , soit avec un zoom, soit derrière un instrument, lunette ou télescope.
3. Sur votre photo, mesurez l'écart angulaire entre le centre du Soleil et le centre de la Lune. Pour cela, l'échelle est donnée par le diamètre apparent du Soleil que l'on peut connaître par des éphémérides de l'éclipse, avec un logiciel comme Stellarium ou encore en le calculant soi-même avec les données de son télescope et de son appareil photo.

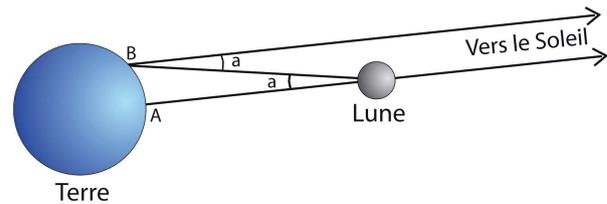
Exemple de l'éclipse du 3 octobre 2005



De gauche à droite : a. La photo originale de l'éclipse. b. La photo traitée avec un filtre contour. c. Le contour de la Lune a été complété et on a placé les centres des disques Soleil et Lune

Le Soleil avait un diamètre apparent de $0,532^\circ$ ce jour-là. En mesurant sur le dessin et avec un peu de proportionnalité, on calcule que la distance des deux centres est de $0,15^\circ$.

Depuis B, l'angle entre le centre du Soleil et le centre de la Lune vaut $0,15^\circ$. Comme on considère le Soleil à l'infini, c'est bien la même chose que l'angle ALB, l'angle a cherché.



Deuxième méthode

Nous avons besoin ici de deux observateurs éloignés qui vont photographier le Soleil partiellement éclipsé au même instant. Il faut donc se coordonner pour choisir l'heure de la photo. Il vaut mieux prévoir plusieurs photos à des heures différentes au cas où le ciel soit couvert à une des heures choisies. Pour le calcul de l'angle a, on va superposer les photos prises depuis A et B au même instant, Soleil sur Soleil et comparer les positions de la Lune. Mais il se pose le problème de leur orientation. Il faut donc prévoir au moment de la prise de vue un moyen de connaître l'orientation de son appareil. Le plus simple est d'utiliser le mouvement apparent du Soleil.

Comment opérer ?

1. Fixer les heures de prises de vue entre les deux observateurs.
2. Chaque observateur fait une photo de l'éclipse aux instants choisis, soit avec un zoom, soit derrière un instrument, lunette ou télescope. Si vous utilisez une monture motorisée, coupez le suivi juste après la photo (ne faites rien si vous travaillez sur un pied photo). Faites une deuxième photo environ une minute plus tard, sans modifier la position de l'appareil. Le Soleil s'est déplacé d'une photo à l'autre et la direction du déplacement dû à la rotation de la Terre indique l'orientation est ouest, parallèlement à l'équateur. On peut augmenter l'intervalle de temps à 2 minutes pour plus de précision à condition que le Soleil soit toujours visible sur l'image, au moins à moitié.

Il vaut mieux au départ orienter approximativement l'appareil pour que le grand côté de la photo suive la direction est-ouest. Cela permettra d'avoir le Soleil quasiment en entier sur la deuxième photo.



À gauche et au centre, deux photos du Soleil prises à environ 1 minute d'intervalle.
À droite, les deux photos superposées, les flèches indiquant la direction est-ouest. On l'obtient en joignant deux images d'une même tache solaire (s'il y en a) ou à partir de tangentes au deux cercles.

3. On récupère deux photos prises à la même heure depuis les deux lieux A et B avec l'indication de leur orientation, notée sur l'image par exemple. On les met à la même échelle si nécessaire (sur les deux images, le Soleil doit avoir le même diamètre). On superpose ensuite les deux images en veillant à ce que l'orientation est-ouest soit la même sur les deux photos. La suite est analogue à la première méthode : on reconstitue les deux cercles Lune et on mesure la distance entre leur centre sur l'image ; cette distance est transformée en angle grâce au diamètre apparent du Soleil que l'on connaît (soit grâce à des éphémérides, soit par un calcul). C'est l'angle a recherché.

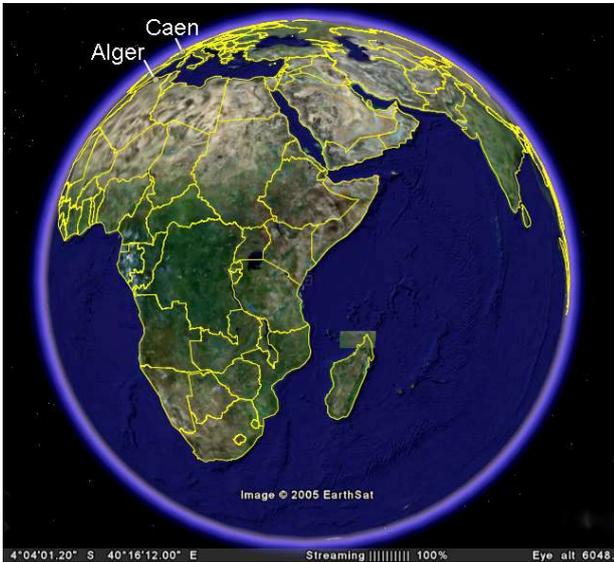
Calcul de la distance h

Là encore, plusieurs méthodes sont possibles. La plus précise et la plus complexe serait de connaître les coordonnées des deux sites d'observation, la hauteur et l'azimut de la Lune à l'instant t_0 et de faire des calculs de trigonométrie (bon courage à ceux qui voudraient se lancer dans cette voie avec leurs élèves).

Il existe au moins deux méthodes moins précises mais accessibles dès le collège.

Première méthode

On utilise une image calculée de la Terre observée depuis le Soleil à l'instant choisi. On peut obtenir ce type d'image sur des sites comme fourmilab.ch. Il suffit ensuite de repérer sur la « photo » les deux sites, de mesurer la distance qui les sépare que l'on transforme en km connaissant le rayon de la Terre de 6 370 km. On obtient bien la distance h recherchée, perpendiculaire à la direction Soleil Terre.



Un exemple d'application de cette méthode avec l'éclipse du 3 octobre 2005. Le diamètre équatorial de la Terre est de 61 mm sur l'image pour 12 756 km en réalité, ce qui donne une échelle de 209 km au mm. La distance entre Caen et Alger mesurée sur l'image est de presque 5 mm soit 1000 km en réalité.

Deuxième méthode

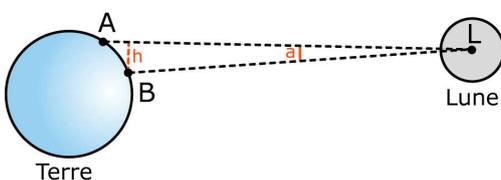
Pour cette méthode, on a besoin de connaître l'azimut et la hauteur du Soleil au moment de la photo depuis au moins un des sites, soit en les ayant mesurés, soit en les trouvant à l'aide d'éphémérides ou d'un logiciel d'astronomie comme Stellarium.

Sur un globe terrestre, on repère les deux sites d'observation. À partir de l'un des sites, on fixe une tige dans la direction du Soleil au moment de l'éclipse en respectant son azimut et sa hauteur. On fait la même chose depuis le deuxième site ; les deux tiges doivent être parallèles. Il ne reste plus qu'à mesurer la distance entre ces deux tiges puis à la transformer en kilomètres à partir de l'échelle donnée par le diamètre de la Terre. Cette méthode convient si les sites sont suffisamment éloignés. S'ils sont proches, on peut utiliser une partie de globe reconstitué à partir d'une carte posée sur une surface reproduisant une partie de la courbure de la Terre entre les deux sites.



Les deux piques à brochettes dirigées vers le Soleil sont placées l'une à Dijon, l'autre à la Réunion. Elles sont dirigées vers le Soleil du 8 juin 2004 à 10 h 30. Cette mesure était réalisée non pas pour une éclipse mais à l'occasion du passage de Vénus devant le Soleil.

Calcul final



Maintenant que l'on connaît a et h , il suffit de faire un peu de trigonométrie pour trouver $BL = h / \sin a$.

On n'obtient pas la distance Terre Lune de centre à centre mais cela nous donne déjà une bonne approximation.

Dans les Cahiers Clairaut

Calcul de la distance de la Lune à partir de l'éclipse du 3 octobre 2005 CC n° 112 p 5

http://aces.ens-lyon.fr/clea/archives/cahiers-clairaut/CLEA_CahiersClairaut_112_02.pdf

Projet d'observation de l'éclipse du 12 octobre 1996 CC n° 74 p 2

http://aces.ens-lyon.fr/clea/archives/cahiers-clairaut/CLEA_CahiersClairaut_074_01.pdf