PROJET D'OBSERVATION DE L'ECLIPSE DU 12 OCTOBRE 1996

L'un des groupes de travail de l'Association Européenne pour l'enseignement de l'Astronomie (EAAE), "Student project group", a pour but de proposer des activités communes aux écoliers, collégiens, lycéens ou étudiants européens. Nous sommes trois à animer ce groupe : Mogens Winther, professeur à Sonderborg au Danemark, qui en est le responsable, Brian Stockwell, professeur à Ashford en Angleterre et moi-même.

A l'Assemblée Générale d'Athènes, Mogens avait fait la proposition d'une observation simultanée, par les étudiants européens et tunisiens, de l'éclipse partielle de Soleil du Samedi 12 Octobre 1996 et de son exploitation pour une évaluation de la distance Terre-Lune.

Nous avons élaboré depuis un document à ce sujet, qui comprend : une description de son déroulement , des diverses manières possibles de l'observer, des photographies de semblables occultations ou d'observations anciennes, des références à des éclipses célèbres (mort du Général Gordon à Khartoum dûe au découragement de ses troupes locales par une éclipse ; utilisation de la prévision d'une éclipse de Lune par Christophe Colomb pour obtenir des vivres de la part des Indiens ; y a-t-il eu une éclipse de Soleil au moment de la mort du Christ?, etc...), enfin en quoi une observation conjointe peut-elle nous permettre d'évaluer la distance Terre-Lune ? Ce texte, dans son intégralité et en Anglais, est disponible sur Internet : "Home Page" de l'EAAE (European Association for Astronomy Education). Ce qui suit ne reprend que la dernière partie, puis quelques questions que je me suis posées à son sujet, quelques éléments de réponses que m'ont donnés Jacques Dupré, puis Francis Berthomieu, et se termine par quelques conseils pour l'observation de Daniel Bardin.

Josée SERT

Quelques éléments sur l'éclipse du 12 Octobre (EAAE)

Les Ephémérides, par exemple, nous donnent les valeurs de la déclinaison de la Lune et du Soleil suivant la date et l'heure. Si nous cherchons ces valeurs pour le 12 Octobre 1996 à 14h13 TU (heure annoncée du maximum de l'éclipse à Paris), nous obtenons : - 7° 38' (= - 7,63°) pour le Soleil, et - 6° 38' (= - 6,63°) pour la Lune.

Mais... sachant que chaque astre a un diamètre très voisin d'un demi-degré, il ne peut pas y avoir éclipse ! En effet, les centres respectifs des deux astres sont séparés d'un degré... et il reste un demi degré entre leurs points respectifs les plus proches (figure 1).

On dirait que cette éclipse européenne est théoriquement impossible !

Allons voir de plus près et imaginons deux observateurs situés sur le même méridien et observant la Lune quand elle passe dans leur plan méridien (figure 2) : O_1 a une latitude géographique égale à φ, O_2 voit la Lune au zénith. Il est aisé de voir que O_1 va voir la Lune (par exemple le bord inférieur du limbe lunaire) plus "bas" que O_2. Donc, quand on se déplace vers le Nord, la déclinaison de la Lune diminue "artificiellement" d'un angle α : c'est l'effet de parallaxe. Cet effet existe pour le Soleil, mais dans des proportions tellement moindres du fait qu'il est tellement plus loin de la Terre que la Lune ; il est donc ici tout à fait négligeable.

Quelques petits calculs :

Remarquons que l'angle α se retrouve à deux endroits dans la figure 2, et considérons le triangle CO_1L (figure 3) auquel on applique la relation métrique des sinus[1] : $\frac{\sin(\varphi - \delta_L)}{O_1L} = \frac{\sin\alpha}{R_T}$,

ce qui donne, si l'on considère que O_1L est, à 1% près, égal à la distance Terre-Lune TL :

$$\sin\alpha = R_T \times \frac{\sin(\varphi - \delta_L)}{TL}.$$

---

[1]Dans un triangle ABC , on a, avec $BC = a$, $AC = b$ et $AB = c$: $\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$.

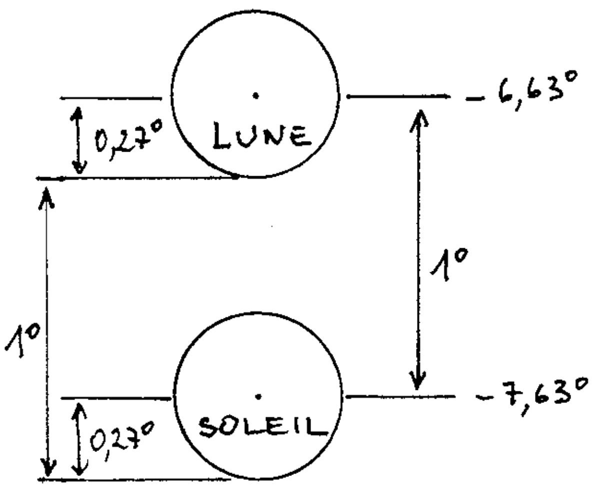


Figure 1

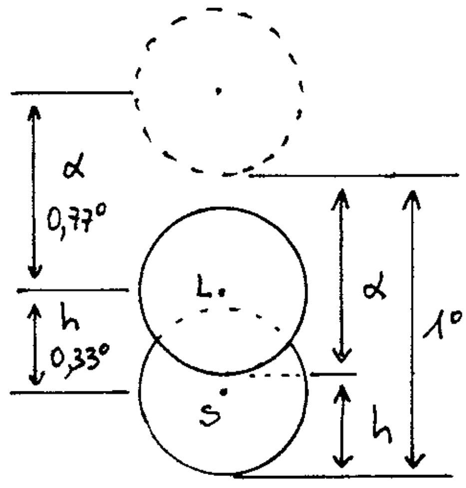


Figure 4

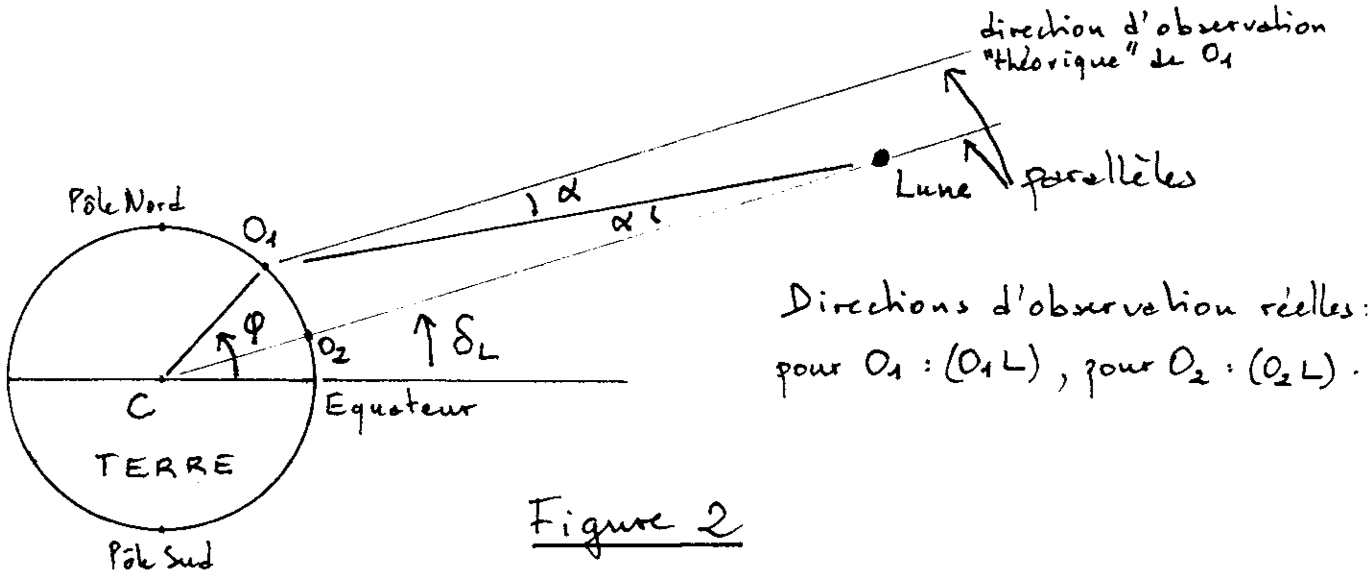


Figure 2

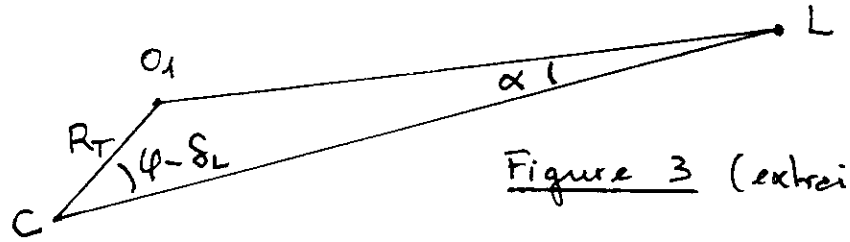


Figure 3 (extraite de 2)

Le calcul pour Paris nous donne : $\alpha = 0{,}77°$ car : $\varphi = 48{,}9°$, $R_T = 6371$ km et, à ce moment-là, $TL = 387\,000$ km et $\delta_L = -6{,}63°$.

La distance entre les centres de la Lune et du Soleil devient : $1° - 0{,}77° = 0{,}33°$ (figure 4).

Ouf ! L'éclipse annoncée aura bien lieu !

Comment déduire la distance Terre-Lune de ses propres observations :

L'important est d'effectuer les mesures à l'instant où l'éclipse est exactement "verticale" et de relever alors le plus précisément possible h et w (figure 5).

Or, w correspond au diamètre apparent du Soleil (0,54°), d'où l'on peut déduire :

$h° = \frac{0{,}54°}{w} \times h$, puis $\alpha = 1° - h°$. Valeur que l'on va reporter dans la formule obtenue ci-dessus :

$\sin\alpha = R_T \times \dfrac{\sin(\varphi - \delta_L)}{TL}$ pour obtenir enfin : $TL = R_T \times \dfrac{\sin(\varphi - \delta_L)}{\sin\alpha}$

puisque l'on connaît $R_T = 6371$ km, $\delta_L = -6{,}63°$, et que l'on peut trouver facilement sa propre latitude φ.

Quel est l'intérêt de mettre en commun les multiples observations en Europe et en Tunisie ?

Si l'on applique la formule $\sin(a - b) = \sin a.\cos b - \sin b.\cos a$,

$\sin(\varphi - \delta_L) = \sin\varphi.\cos\delta_L - \sin\delta_L.\cos\varphi$, mais δ_L est proche de 0, donc $\sin\delta_L \approx 0$ et $\cos\delta_L \approx 1$ et

$\sin\alpha = R_T \times \dfrac{\sin(\varphi - \delta_L)}{TL}$ devient $\sin\alpha = \dfrac{R_T}{TL} \times \sin\varphi$.

Pour chaque couple (φ , α) relevé par un observateur, le centre qui recevra ces données représentera $\sin\alpha$ en fonction de $\sin\varphi$: on devrait obtenir un nuage de points et par un ajustement linéaire obtenir une droite de coefficient directeur $\dfrac{R_T}{TL}$, d'où une meilleure évaluation de TL.

Les résultats seront disponibles sur Internet "en temps réel", ou presque ; ils paraîtront dans le numéro d'Hiver des Cahiers Clairaut.

Cependant, la déclinaison de la Lune varie rapidement, aussi, **voici les renseignements à communiquer : longitude et latitude de l'observateur, heure (TU) de l'observation, h et w**.

Quelques remarques au sujet de cette méthode :

• Elle présente l'incontestable avantage de permettre une évaluation de la distance Terre-Lune à partir d'une observation et de relevés simples, et de calculs à la portée de lycéens (les formules sont vues en Mathématiques en 1ère S). Mais elle soulève un problème théorique : tout cela est juste si l'éclipse se produit aux alentours de midi, et notons aussi que son maximum ne se produit pas forcément au moment où elle est vue "verticale".

En effet, à midi, quand on effectue la mesure comme indiqué à la figure 5, le centre L de la Lune et celui S du Soleil sont situés sur la "verticale" (S, L et le zénith sont alignés) et aussi sur le méridien céleste (S, L et le Pôle Nord céleste sont alignés). Mais si on effectue la mesure à, disons, 14h15 (heure du maximum de l'éclipse à Paris, mais pas forcément du moment où les centres seront sur une même "verticale"...) : le dessin de la sphère céleste locale (figure 6) permet de voir que la "verticale" et le méridien céleste sont maintenant distincts (et en 2h15, le méridien a tourné de 34° environ), d'où la situation de la figure 7. Pour que le raisonnement soit correct, c'est HS qu'il faudrait connaître, et non LS. Or, $\dfrac{HS}{LS} = \cos\hat{A}$, et par un calcul de trigonométrie sphérique dans le triangle

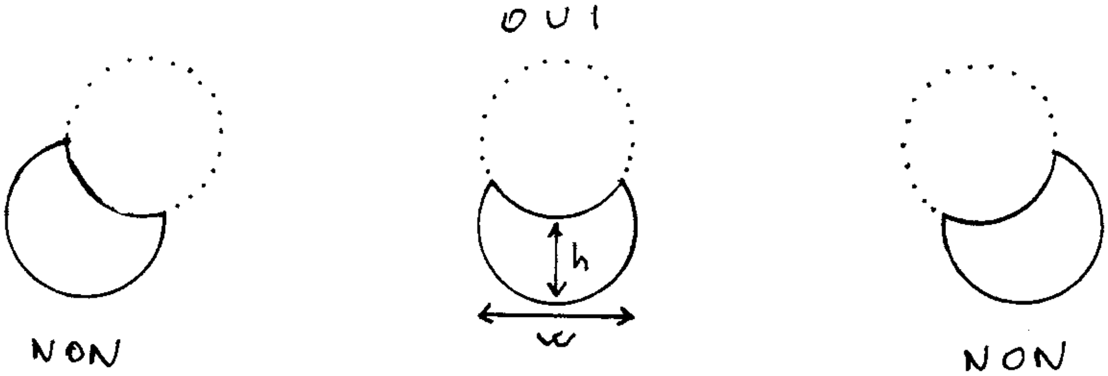


Figure 5 : quand et que faut-il mesurer ?

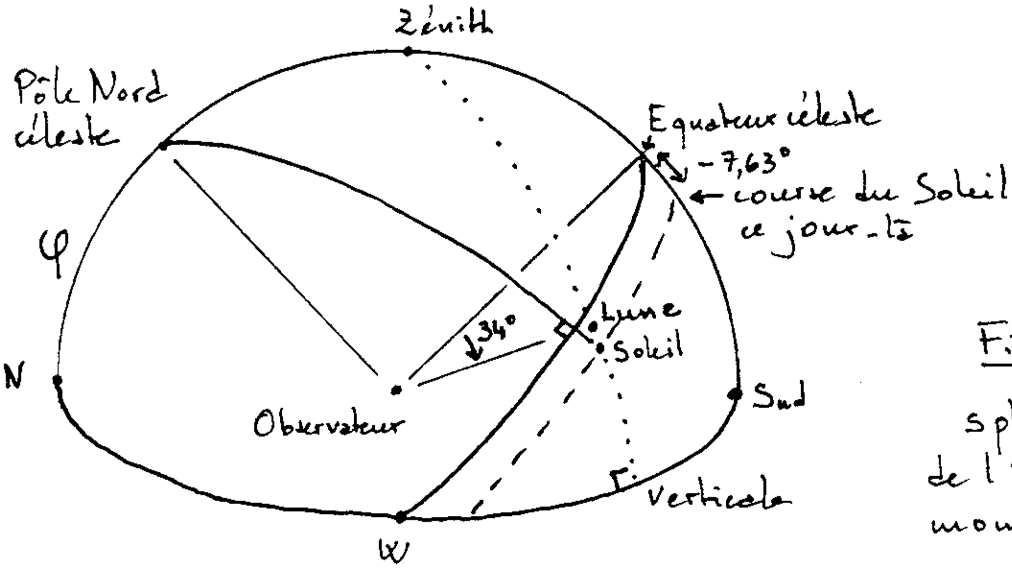
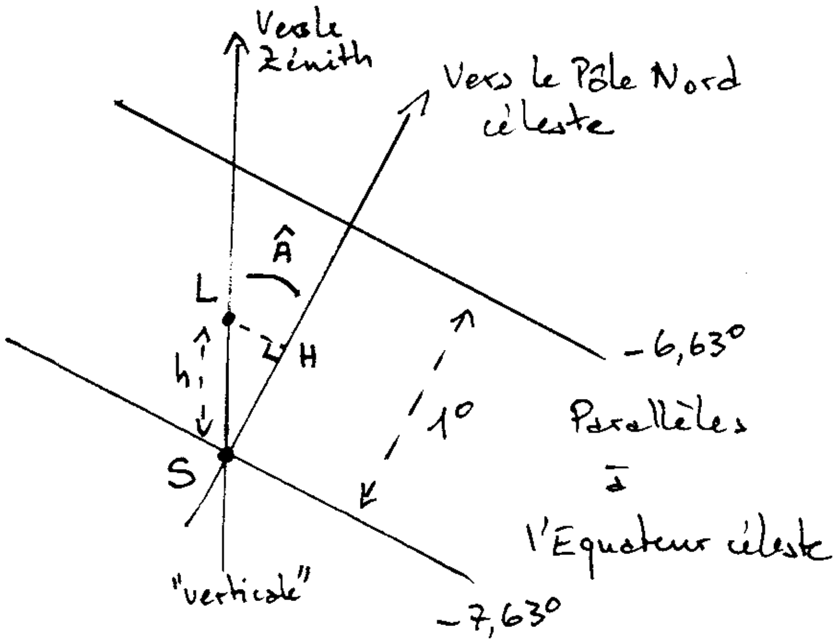


Figure 6 :
sphère céleste locale de l'observateur au moment de la mesure

Figure 7 :
ce que représente h au moment de la mesure
(l'observateur est à l'intérieur de sa sphère)



Pôle Nord céleste-Soleil-Zénith, on peut obtenir $\hat{A}$[2] et modifier la relation obtenue plus haut $\alpha = 1° - h°$ en $\alpha = 1° - h° \cos \hat{A}$.

Pour Paris, ce calcul donne $\alpha = 0{,}70°$ (au lieu de $0{,}77°$) et 394 000 km (au lieu de 358 000 km sans correction).

Mais on ne peut raisonnablement penser à faire utiliser de la trigonométrie sphérique à des lycéens...

Autres idées...

• D'où une première idée de Jacques : si on pouvait, par un filé par exemple, obtenir la direction de l'Equateur céleste, on effectuerait la mesure non au moment de la verticalité, mais au moment où la ligne LS est perpendiculaire à l'Equateur céleste.

• D'où proposition de Francis d'une autre méthode :

1) Quel que soit le moyen utilisé, on observe de la Lune (de diamètre réel D) une image de diamètre d telle que, si f est la focale de l'instrument et d_L la distance observateur-Lune, $\frac{d}{f} = \frac{D}{d_L}$.

2) Les axes optiques de tous les observateurs, à un instant donné, sont tous sensiblement parallèles à la droite (Terre Soleil), et on va supposer que la distance à la Lune de tous les observateurs terrestres est la même (la plus grosse erreur serait d'un rayon terrestre, soit un peu moins de 2%, et on risque de ne pas atteindre une telle précision !). De ce fait, ils sont tous situés dans un même plan perpendiculaire à la direction Terre-Soleil, soit [P].

3) Durant la journée du 12 Octobre, le Soleil parcourt un cercle sur lequel, pendant la durée de l'observation, il décrit un arc AB assimilable à un segment de droite : tout observateur éclairé par le Soleil peut donc relever la direction AB sur l'image (surimpression en photo, deux relevés successifs sur le dépoli d'une chambre noire,...). M. X, demeurant au point C_1 de la Terre, relève l'image 1', et aux mêmes instants, Mme Y, située en C_2 observe autre chose (image 2').

Chacun des deux observateurs recherche,au même instant t le centre S de l'image du Soleil et celui L de l'image de la Lune, les repère par rapport à l'axe AB, en prenant comme unité le rayon de l'image du Soleil (voir figure 3'). Pourquoi ne voient-ils pas la même chose ?

4) Considérations géométriques à partir des figures 4' (dans laquelle $S_1S_2 = C_1C_2$) et 5' : (L_1C_1) et (L_2C_2) se coupent au centre L_0 de la Lune réelle. Or :
$L_1C_1 = L_2C_2 = f$ (connu) et $L_0C_1 = L_0C_2 = d_L$ (cherché), d'où, avec le théorème de Thalès :

$$\frac{L_1L_2}{L_0L_1} = \frac{C_1C_2}{L_0C_1} = \frac{L_1L_2 - C_1C_2}{L_0L_1 - L_0C_1}, \quad \text{et comme} \quad L_0L_1 - L_0C_1 = f \quad \text{et} \quad d_L = L_0C_1 :$$

$$\frac{C_1C_2}{d_L} = \frac{L_1L_2 - C_1C_2}{f}.$$

5) En superposant les relevés (à la même échelle) de M.X et Mme Y, on pourra mesurer $L_1L_2 - C_1C_2$, car, en faisant coïncider S_1 et S_2 ainsi que l'axe AB orienté, on n'aura qu'à mesurer la distance δ (figure 6') qui représente $L_1L_2 - C_1C_2$. On aura alors : $d_L = \frac{f}{\delta} \times C_1C_2$.

• Reste pour compléter cette méthode à calculer la distance géométrique (et non géodésique) C_1C_2 : cela peut se faire avec des élèves de Première Scientifique, en choisissant un repère orthonormé (unité : le rayon de la Terre supposée sphérique) lié à C_1 : voir figure 7'.

---

[2] $\cos SZ = \cos(90° - \varphi)\cos 97{,}63° + \sin(90 - \varphi)\sin 97{,}63° \cos 34°$, puis
$\sin \hat{A} = \frac{\sin 34°}{\sin SZ} \times \sin(90° - \varphi)$

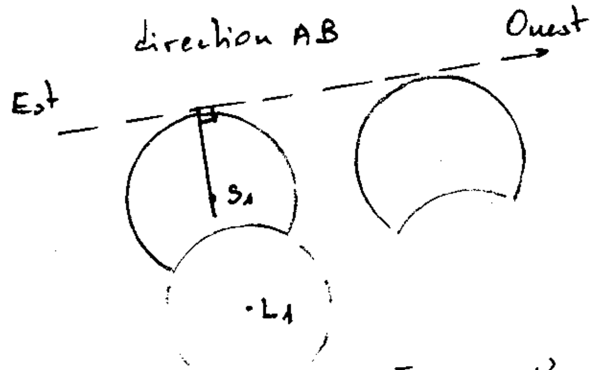


Figure 1'

Instant t

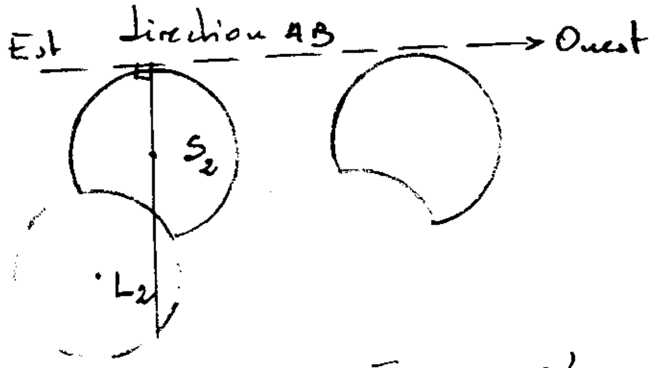


Figure 2'

Instant t

Observations de M. X et Mme Y.

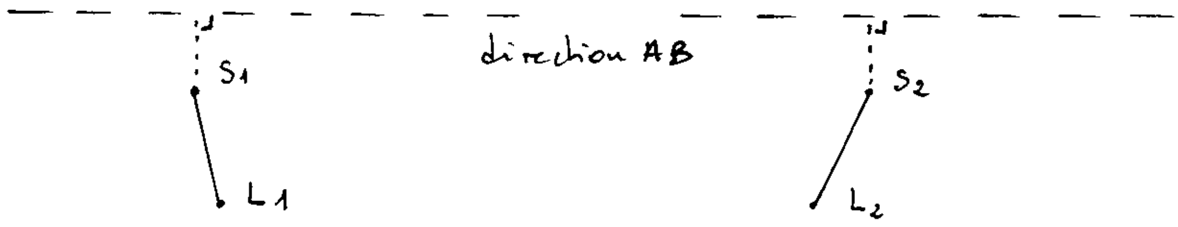


Figure 3' : relevés de M. X et Mme Y.

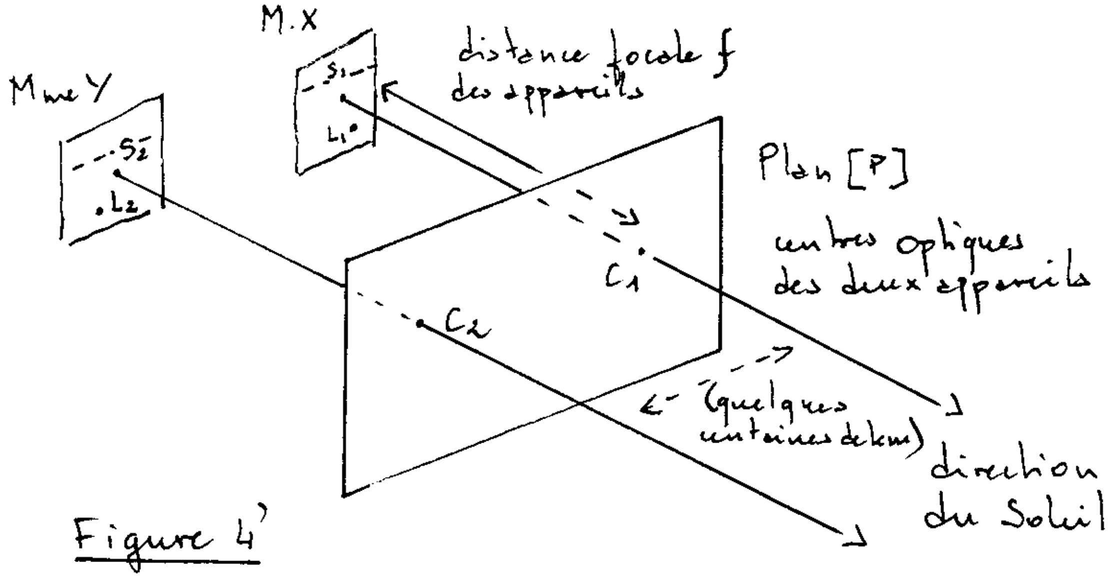


Figure 4'

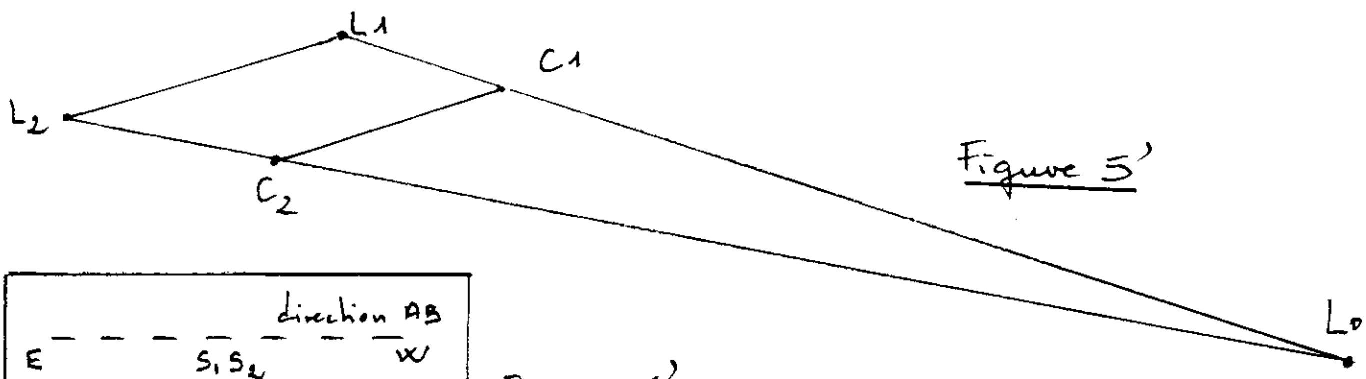


Figure 5'

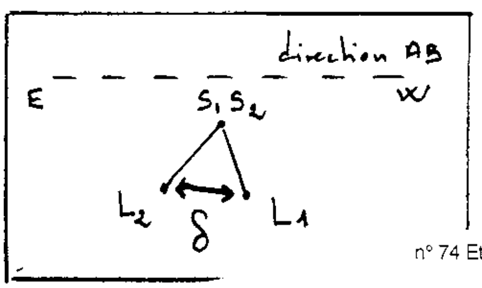


Figure 6' : superposition des deux relevés

C_1 a pour longitude l_1 et pour latitude φ_1, C_2 a pour longitude l_2 et pour latitude φ_2, d'où les coordonnées suivantes : $C_1\begin{pmatrix}\cos\varphi_1\\0\\\sin\varphi_1\end{pmatrix}$ et $C_2\begin{pmatrix}\cos\varphi_2\cos(l_2-l_1)\\\cos\varphi_2\sin(l_2-l_1)\\\sin\varphi_2\end{pmatrix}$ d'où la distance :

$C_1C_2{}^2=\left[\cos\varphi_2\cos(l_2-l_1)-\cos\varphi_1\right]^2+\cos^2\varphi_2\sin^2(l_2-l_1)+(\sin\varphi_2-\sin\varphi_1)^2$ en rayon terrestre.

Cette méthode présente l'avantage de ne nécessiter la connaissance que de sa propre position géographique et de pouvoir être appliquée indépendamment de l'heure ; reste alors à trouver un correspondant suffisamment éloigné, et à effectuer soigneusement les relevés pour pouvoir les mettre en commun...

Nous demandons aux lecteurs des Cahiers Clairaut de bien vouloir critiquer ces propositions, de ne pas hésiter à corriger éventuellement ce qui est écrit ici, et de soumettre des idées pour l'observation de cette éclipse en tenant compte des deux contraintes suivantes : le relevé d'observation ne doit pas être trop compliqué à effectuer et la méthode doit être à base d'outils mathématiques simples pour pouvoir être employée par des élèves du secondaire. Merci d'avance !

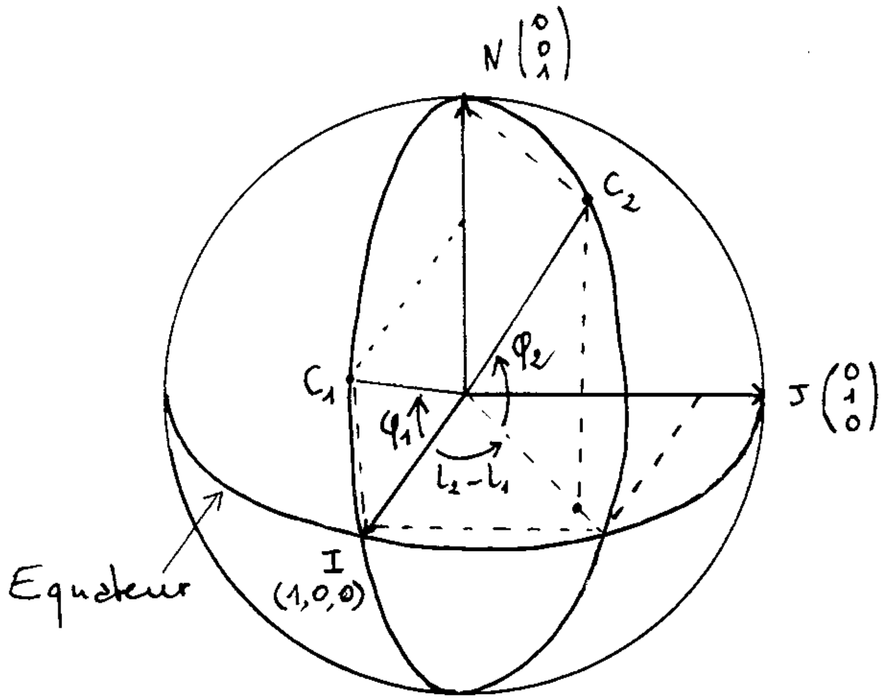


Figure 7' : la Terre et la distance C1 C2

Conseils pour l'observation

Bien entendu, même pendant une occultation, ne jamais regarder le Soleil directement ou à travers un instrument d'optique non protégé !

1. **Observation visuelle** : On confectionne des lunettes en papier très épais ou en carton mince et sur chaque "trou", on colle avec du ruban adhésif deux épaisseurs de négatifs Noir et Blanc (ou de radiographies) bien foncés, ou deux épaisseurs d'amorce de film diapo. Le test visuel doit donner une impression trop assombrissante les dix premières secondes, le confort ensuite.

2. Les filtres gélatine Wratten Neutres (chez Kodak, densité 3 ou 4,ou leur équivalent chez Schott) sont chers, mais ce sont les seuls utilisables devant un **objectif photo**. Se rappeler que le Soleil mesure un peu moins de 1/100ème de la focale sur le film : un téléobjectif de 200mm de focale donne un Soleil de 1,8mm de diamètre environ.

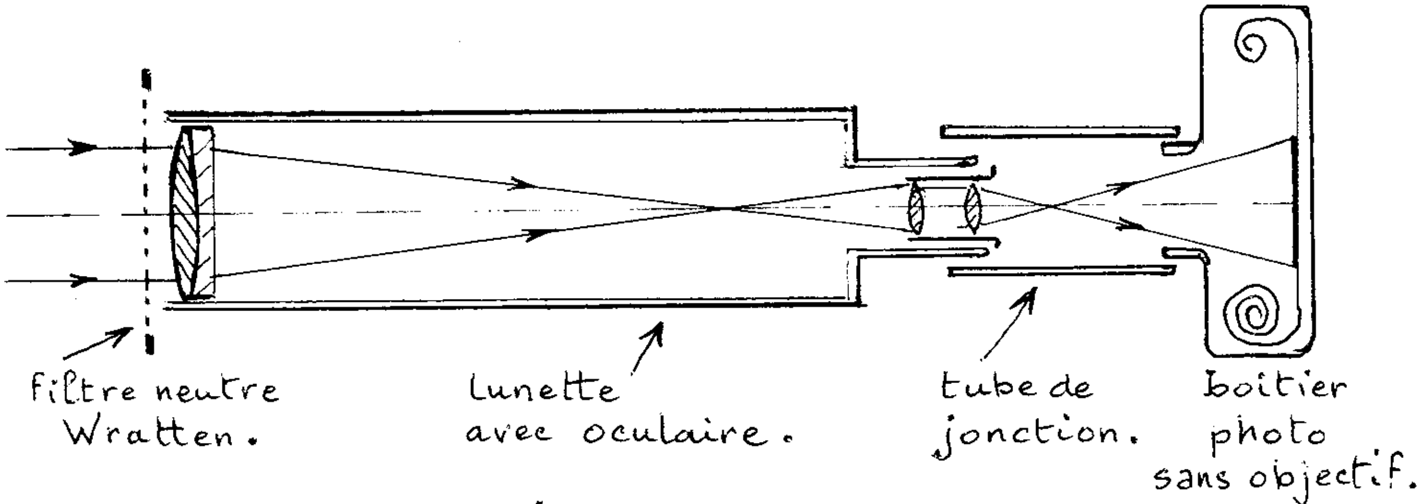
3. Pour **mesurer avec précision** les taux d'occultation sur les images, plusieurs techniques :

a) celle des amateurs équipés (voir Figure 1) :
On adapte le tirage derrière l'oculaire pour que l'image ait environ 20mm de diamètre sur du 24x36 ; les temps de pose sont donnés par la cellule.

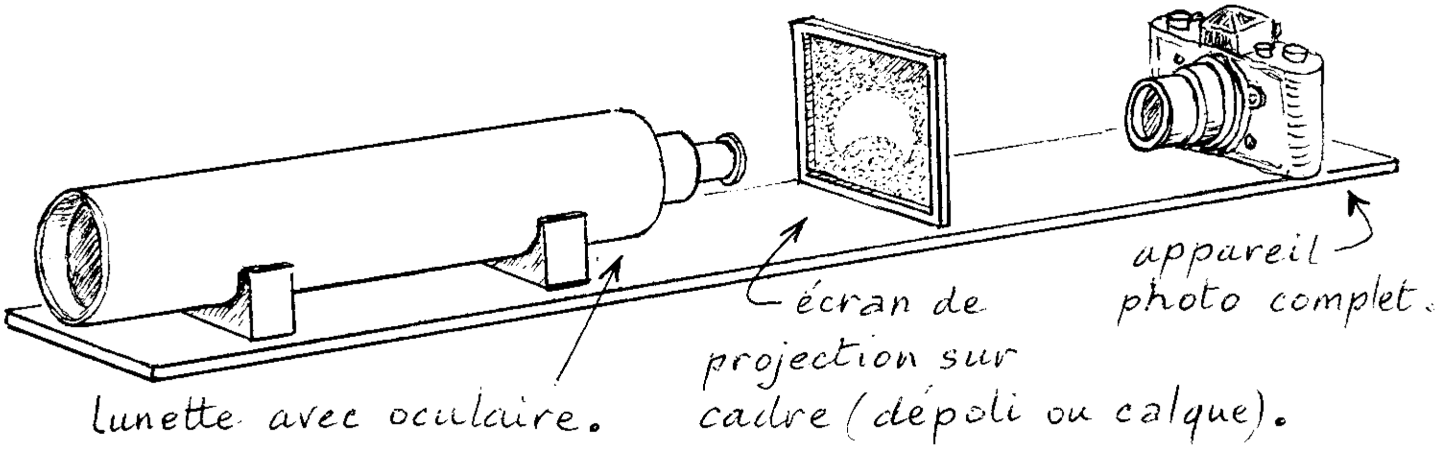
b) les techniques plus "pédagogiques" (voir Figure 2) :
On installe le papier calque dans un cadre de carton, et ce cadre est fixé, ainsi que le **boîtier-photo**, sur une planche longue qui part de la lunette. On projette le Soleil sur le calque (quelques jours avant par exemple) pour centrer l'image du Soleil dans l'ombre du tube (voir figure 3) ; on marque alors les quatre traits de centrage et, au besoin, les deux médianes d'orientation (qui serviront à repérer le haut des images au dépouillement). Si l'image n'est pas à peu près centrée, elle s'ovalise et les mesures deviennent fallacieuses. L'ensemble peut être mis derrière une petite lunette, une lunette d'ornithologue, un tube de bonnes jumelles...
La planche est un peu longue, mais elle garantit le centrage et donne, d'un endroit à l'autre, des résultats qui seront vraiment comparables (c'est ce qu'on cherche) et mesurables. Comme support : un pied photo à l'avant (sous l'avant de la lunette) ; à l'arrière : ou sur le sol, ou sur des objets servant de cale, ou sur une petite table, etc... Expérimenter le montage plusieurs jours à l'avance pour qu'il soit au point le jour voulu !

c) **variante dessinée** (demandant un peu de doigté, et peut-être surtout un peu d'entraînement) :
Même montage sans le 24x36, et du papier à dessin à la place du calque : on dessine le Soleil au compas d'après la projection <u>avant</u> l'éclipse, et on centre l'image projetée <u>pendant</u> l'éclipse pour qu'elle corresponde au tracé ; on trace alors, au fur et à mesure du phénomène les points des extrémités des "cornes" du Soleil, en notant l'heure (voir Figure 4). En combinant petits mouvements de centrage avec défilement naturel de la projection, il suffit de deux mains de deux personnes avec deux crayons pour marquer les deux traits, au moment exact ou le Soleil projeté coïncide avec le cercle tracé. D'autre part, si l'avant de la planche est bien horizontal au moment de tous les relevés, on peut obtenir facilement par un filé la direction Est-Ouest (parallèle à l'Equateur céleste).

Il est à noter qu'aucun de ces montages n'a de motorisation pour suivre le mouvement diurne (c'est le côté "jonglerie" de la manip !) mais ils donnent des résultats et apprennent à cerner les problèmes de l'observation d'un tel phénomène en vue d'une utilisation déjà scientifique...

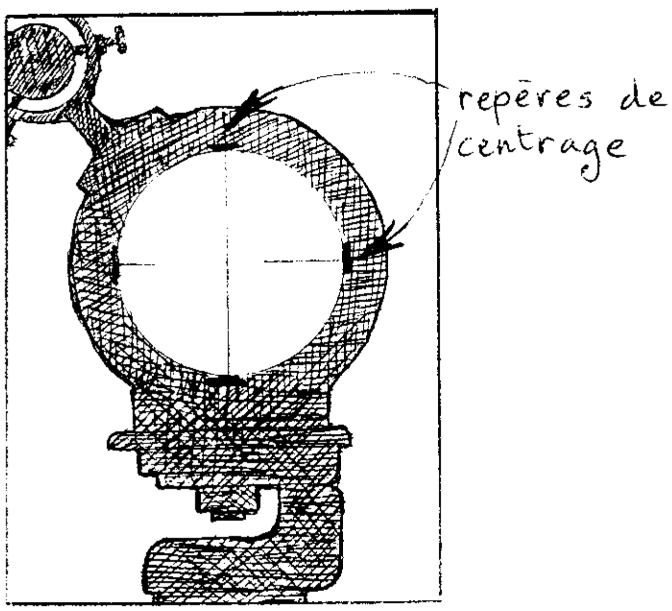


.FIGURE 1.

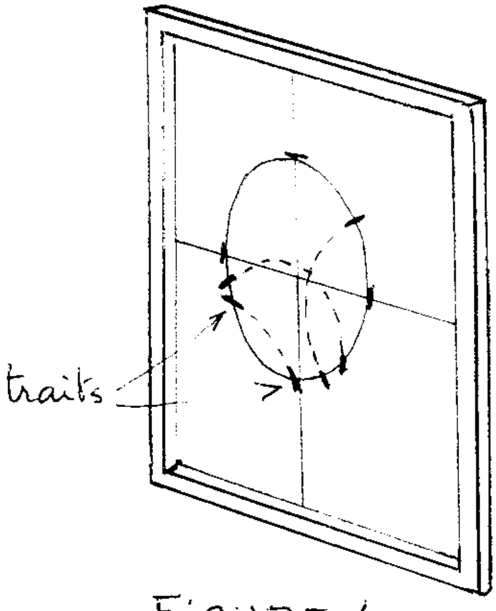


.FIGURE 2.

(Veiller à ce que tous les axes optiques soient alignés).



.FIGURE 3.



.FIGURE 4.