

CALCUL DES HORAIRES D'UNE ECLIPSE DE LUNE

Cet exercice est prévu pour des élèves de niveau fin de 4^{ème} à Terminale. Certains résultats seront donnés en collège et calculés en lycée.

Énoncé du problème

Voici ci-dessous la représentation d'une éclipse de Lune vue de l'espace et à droite, vue depuis la Terre.

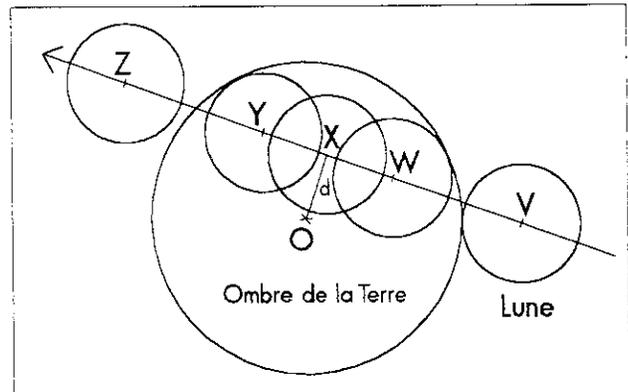


Les différentes phases d'une éclipse de lune sont :

- V : Entrée dans l'ombre (début de l'éclipse)
- W : Début de la totalité
- X : Maximum de l'éclipse (milieu de la totalité)
- Y : Fin de la totalité
- Z : Sortie de l'ombre (fin de l'éclipse)

La question :

Connaissant l'heure du maximum de l'éclipse (passage de la Lune en X), calculer les autres horaires (heures de passage de la Lune en V, W, Y et Z).



Les données

*Rayon de la Lune : 1740 km

*Dans le tableau ci-dessous, on donne d , la distance minimale du centre de la Lune au centre de l'ombre de la Terre ainsi que l'heure du maximum de l'éclipse, en heure T.U. (Temps Universel). Pour obtenir l'heure légale, il faut ajouter 1 h pour l'heure d'hiver et 2 h pour l'heure d'été.

N° de l'éclipse	1	2	3	4
Date	27/09/1996	24/03/1997	16/09/1997	28/07/1999
Distance d (km)	2081	3024	2298	4914
Heure du maximum(TU)	2h54	4h40	18h47	11h34

Autres données nécessaires calculables :

Le rayon de l'ombre de la Terre (à la distance de la Lune). Niveau 3^{ème}

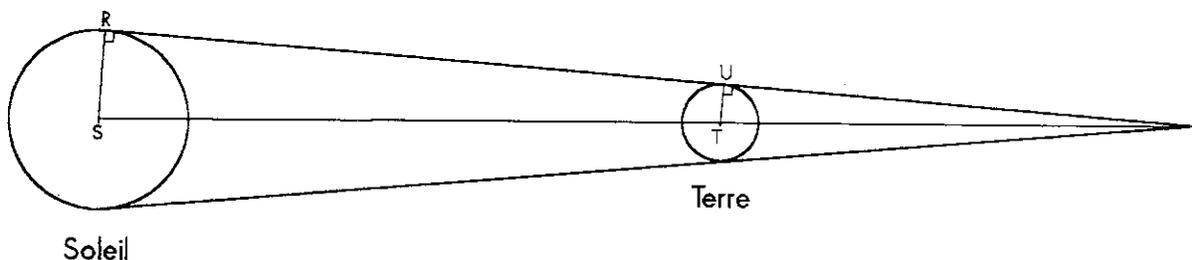
La vitesse de la Lune. Niveau Terminale

Calcul du rayon de l'ombre de la Terre (à la distance de la Lune)

Niveau : fin de troisième

Principe

a) On calcule la longueur du cône d'ombre de la Terre

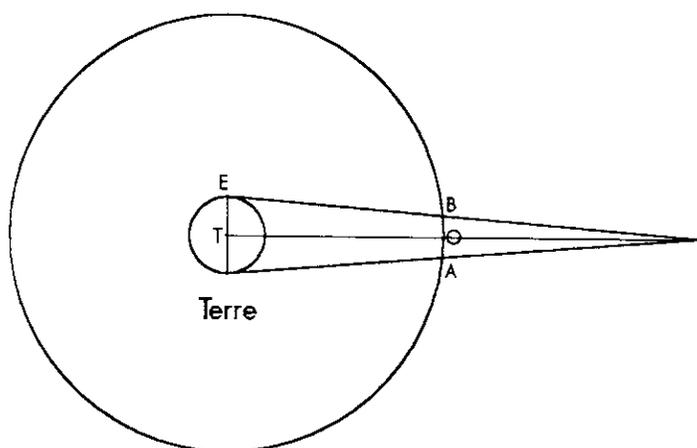


On cherche TP.

b) On calcule le rayon de l'ombre à la distance de la Lune

On cherche OA ou OB.

On prendra (ET) et (OB) parallèles.



Données nécessaires :

Constantes

Rayon du Soleil : 700 000 km

Rayon de la Terre : 6370 km

Rayon de la Lune : 1740 km

Données dépendant de l'éclipse

N° de l'éclipse	1	2	3	4
Date	27/09/1996	24/03/1997	16/09/1997	28/07/1999
Distance Terre Soleil (km)	149 900 000	149 200 000	150 400 000	151 900 000
Distance Terre Lune (km)	366 600	402 200	357 000	393 600

Les distances sont données de centre à centre.

Calcul de la vitesse de la Lune par rapport à l'ombre de la Terre

Niveau : Terminale

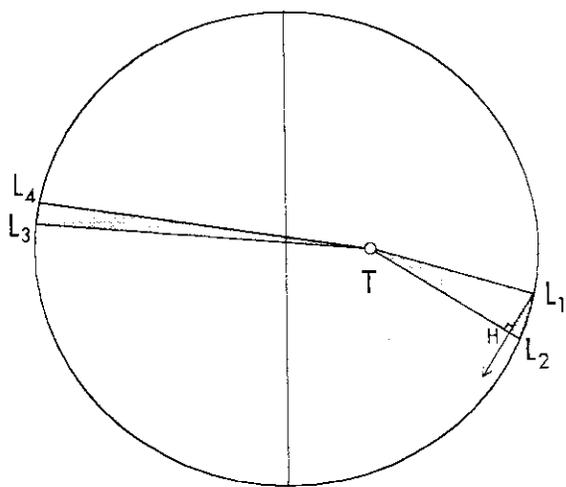
La Lune tourne autour de la Terre en 29,53 jours par rapport au Soleil ou par rapport à l'ombre de la Terre. Cette période s'appelle aussi lunaison ; c'est l'intervalle de temps séparant deux pleines lunes ou 2 nouvelles lunes.

a) Calcul approximatif

On suppose, dans un premier temps, que la Lune tourne autour de la Terre en décrivant un cercle de 384 400 km de rayon (la distance moyenne Terre-Lune) à vitesse constante. On peut calculer ainsi une vitesse moyenne de la Lune.

b) Pour plus de précision

La Lune décrit en réalité une orbite elliptique et non pas circulaire ; sa distance à la Terre peut varier de 356000 à 407000 km. De plus, sa vitesse n'est pas constante.



La 2ème loi de Kepler affirme que les aires balayées par le "rayon vecteur" [TL] en des temps égaux sont égales.

Si les positions de la Lune L_1 et L_2 sont espacées d'une heure ainsi que L_3 et L_4 , les aires grisées sont égales. La Lune va donc plus vite en L_1 , lorsqu'elle est plus proche de la Terre, qu'en L_3 .

Les vitesses recherchées sont des vitesses tangentielles, que l'on notera V_T , perpendiculaires à la ligne de visée (TL), donc suivant la hauteur (LH). V_T est proportionnel à LH.

On peut assimiler les surfaces grisées à des triangles.

L'aire du triangle $L_1 L_2 H$ est égale à $(TL_2 \times L_1 H)/2$

La deuxième loi de Képler peut alors s'écrire $TL \times V_T = 2A$ (constante).

où A est l'aire balayée par [TL] en 1 heure, TL la distance Terre Lune en km et V_T la vitesse tangentielle en km/h.

On peut calculer la constante A puis la vitesse V_T

Données :

Demi grand axe de l'ellipse : 384 400 km

Excentricité de l'ellipse : 0,055

N° de l'éclipse	1	2	3	4
Date	27/09/1996	24/03/1997	16/09/1997	28/07/1999
Distance Terre Lune (km)	366 600	402 200	357 000	393 600

Solutions

Vitesse de la Lune

On peut donner directement le résultat aux élèves

Vitesse moyenne

$(2 \times \pi \times 384\,400) / (29,53 \times 24)$. On obtient 3408 km / h ou 56,8 km / min

Constante A

Si a est le demi grand axe de l'ellipse et b le demi petit axe, l'aire de l'ellipse est égale à l'aire du disque de rayon a multipliée par b/a ou $\sqrt{1 - e^2}$.

Aire balayée en 1 heure $\frac{\pi \times 384400^2 \times \sqrt{1 - 0,055^2}}{29,53 \times 24}$ soit 654 010 000 km².h⁻¹

Vitesse de la Lune par rapport à l'ombre de la Terre

N° de l'éclipse	1	2	3	4
Date	27/09/1996	24/03/1997	16/09/1997	28/07/1999
Vitesse (en km/h)	3570	3260	3670	3330

Les vitesses données sont les vitesses tangentielles, perpendiculaires à la ligne de visée, donc dans le plan des figures montrant l'ombre de la Terre.

Rayon de l'ombre de la Terre

Pour les élèves de fin de 4ème ou début de 3ème, on peut donner le résultat.

Longueur du cône d'ombre (1ère figure)

Le théorème de Thalès permet d'écrire : $\frac{TP}{SP} = \frac{TU}{SR}$

En notant x la longueur TP : $SP = ST + TP = ST + x$ d'où $\frac{x}{x + ST} = \frac{6370}{700000}$

Rayon de l'ombre (2ème figure)

On utilise là encore le théorème de Thalès : $\frac{OP}{TP} = \frac{OB}{TE}$

TP vient d'être calculé, on connaît OP (TP - TO) et TE (6370 km), on en déduit OB

Résultats

N° de l'éclipse	1	2	3	4
Date	27/09/1996	24/03/1997	16/09/1997	28/07/1999
Longueur du cône (km)	1 377 000	1 370 000	1 381 000	1 395 000
Rayon (km)	4 674	4 500	4 723	4 573

Horaires

1) On commence par calculer les distances VX et WX

$OV = r_O + r_L$ (rayon de l'ombre + rayon de la Lune)

On connaît d. Le théorème de Pythagore permet de calculer XV.

$OW = r_O - r_L$ (rayon de l'ombre - rayon de la Lune)

Avec le théorème de Pythagore, on trouve XW.

2) Calcul des temps

Connaissant la vitesse V et la distance à parcourir, on peut calculer les différentes durées.

3) Résultats

N° de l'éclipse	1	2	3	4
Date	27/09/1996	24/03/1997	16/09/1997	28/07/1999
XV (km)	6067	5458	6041	3963
XW (km)	2068	(*)	1903	(*)
Durée de V à X (min)	101	100	98	71
Durée de W à X (min)	34	(*)	31	(*)
Entrée dans l'ombre	1h12	2h59	17h08	10h22
Début de la totalité	2h19	(*)	18h15	(*)
Maximum de l'éclipse	2h54	4h40	18h47	11h34
Fin de la totalité	3h28	(*)	19h18	(*)
Sortie de l'ombre	4h35	6h20	20h25	12h45

Les heures sont données en heure T.U. (Temps Universel)

Ajoutez 2 heures pour l'heure d'été et 1 h pour l'heure d'hiver.

(*) Eclipse partielle

Renseignements sur les éclipses de Lune

Sur minitel 3616 BDL (Bureau Des Longitudes) 1,01 F/min.

Pour les horaires d'une éclipse et sa grandeur, taper 4 (Soleil Lune) puis 6 (Eclipse de lune) et enfin le numéro de l'éclipse recherchée.

Pour les distances de la Lune et du Soleil, revenez au menu général, puis tapez 5 (Ephémérides), 2 (Positions apparentes), et donnez la date et l'heure. La distance du Soleil est donnée en U.A. (Unités Astronomiques). 1 U.A. = 149 600 000 km.

Annuaire du Bureau des Longitudes. Ephémérides astronomiques. Masson. Avec les horaires d'éclipses et leur grandeur.

Astronomie. Le guide de l'observateur. Tome 1 (page 183-193). Société d'Astronomie Populaire. Toulouse.

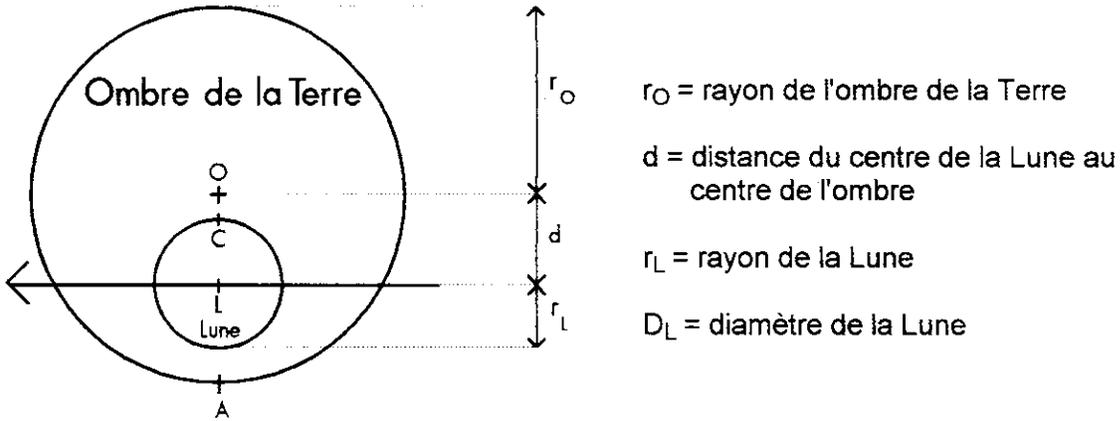
Astronomie Générale. Ed de Moscou. Pages 145-150.

Méthode de l'astrophysique. Lucienne Gouguenheim. Ed Hachette CNRS. Pages 219-221

Cahiers Clairaut Hors série N°5 Gravitation et lumière. La fiche "La Lune et la loi de gravitation" propose une activité à partir de photos d'éclipses de Lune.

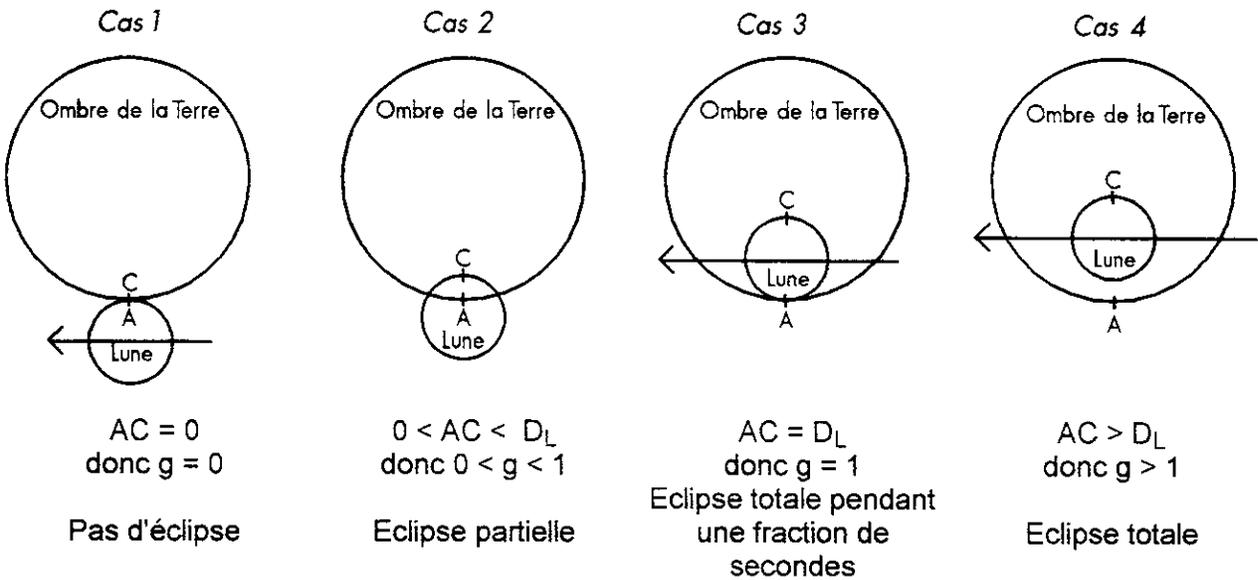
Qu'appelle-t-on la grandeur d'une éclipse de Lune ?

La Lune est représentée au moment du maximum de l'éclipse, quand son centre L est au plus près du centre de O de l'ombre de la Terre.



On appelle grandeur de l'éclipse la quantité $g = (r_O + r_L - d) / 2 r_L$
 Comme : $r_O + r_L - d = OA + LC - (LC + OC) = OA - OC = AC$,
 on peut aussi écrire $g = AC / 2 r_L$ ou $g = AC / D_L$

Les différents cas d'éclipses



Les éphémérides astronomiques donnent habituellement la grandeur de l'éclipse. On peut en déduire la distance d du centre de la Lune au centre de l'ombre : $d = r_O + r_L - 2.g.r_L$

Grandeur des prochaines éclipses

N° de l'éclipse	1	2 (*)	3	4 (*)
Date	27/09/1996	24/03/1997	16/09/1997	28/07/1999
Grandeur de l'éclipse	1,245	0,924	1,197	0,402
Rayon de l'ombre(km)	4 674	4 500	4 723	4 573
Distance d (km)	2081	3024	2298	4914

(*) Eclipse partielle ($g < 1$)

Pierre Causeret