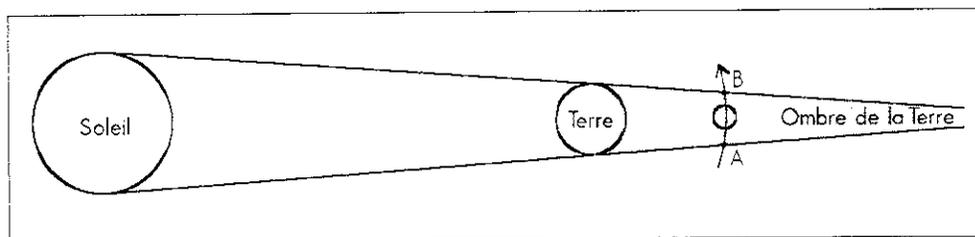




# L'éclipse de Lune du 9 janvier 2001

Pierre Causeret

On cherche à calculer les horaires des différentes phases de cette éclipse de Lune, connaissant l'heure du maximum de l'éclipse ainsi que la distance minimale du centre de la Lune au centre de l'ombre de la Terre



## Description de l'éclipse.

Quand la Lune tourne autour de la Terre, il lui arrive de passer dans l'ombre de notre planète : c'est une éclipse de Lune. Toute une moitié de la Terre peut alors l'observer.

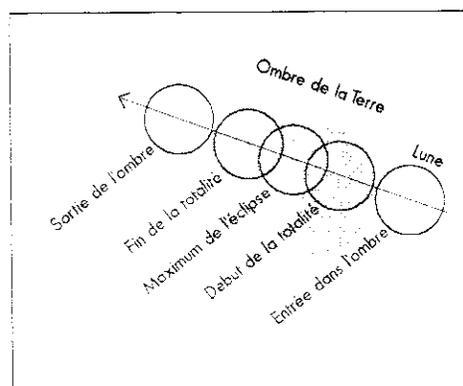
Attention, sur ce type de schéma (ci-dessus), les proportions ne sont pas respectées. On ne peut représenter lisiblement à une même échelle la Terre, la Lune, le Soleil et les distances Terre Lune ou Terre Soleil. Si on représente par exemple la Terre par un disque d'un cm de diamètre, la Lune aurait un diamètre de 3 mm et serait située à 30 cm. Quant au Soleil, il serait distant de 120 m et son diamètre serait supérieur à 1 m !!

Lors d'une éclipse totale de Lune, un observateur terrestre voit d'abord la Pleine Lune entrer dans l'ombre de la Terre, être ensuite totalement éclipsée puis ressortir. Les différentes phases sont :

- l'entrée dans l'ombre ou le début de l'éclipse ;
- le début de la totalité ;
- le maximum de l'éclipse ou le milieu

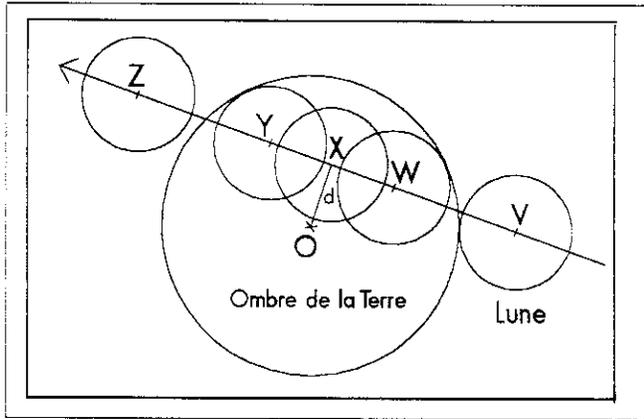
de la totalité :

- la fin de la totalité ;
- la sortie de l'ombre ou la fin de l'éclipse ;



## Le calcul des horaires de l'éclipse.

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



### Les données

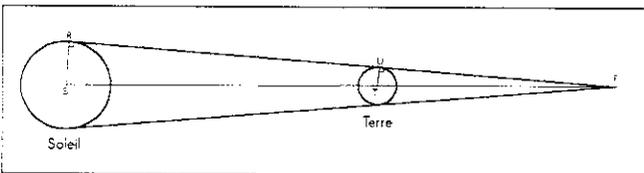
- Rayon de la Lune : 1 740 km.
- Rayon de la Terre : 6 370 km.
- Rayon du Soleil : 700 000 km.
- Durée de la lunaison : 29,5 jours.
- Distance minimale du centre de la Lune au centre de l'ombre de la Terre :  $d = 2269$  km.
- Distance du Soleil : 147 100 000 km.
- Distance de la Lune (donnée de centre à centre) : 357 000 km.
- Heure du maximum de l'éclipse : 20h21 TU (ajoutez 1 h pour obtenir l'heure légale).

### On pourra calculer :

- a) La longueur du cône d'ombre de la Terre.
- b) Le rayon de l'ombre à la distance de la Lune.
- c) La vitesse de la Lune par rapport à l'ombre.
- d) Les distances VX et WX.
- e) Les horaires demandés.

### Solutions

#### a) Calcul de la longueur TP du cône d'ombre de la Terre.



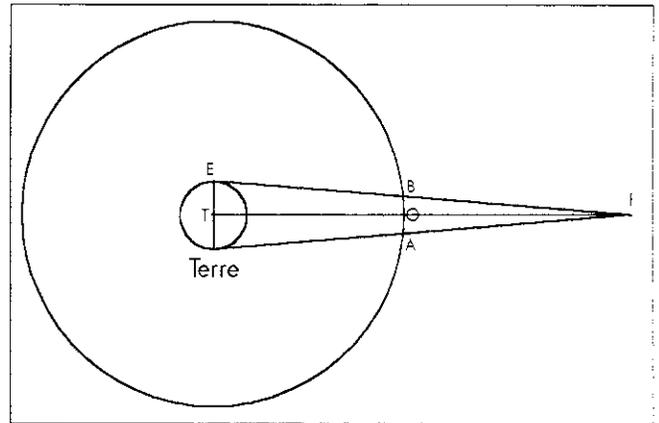
Notons  $x$  la longueur TP :  $SP = ST + TP = ST + x$   
 Le théorème de Thalès permet d'écrire :  
 $TP / SP = TU / SR$  d'où :

$$\frac{x}{x + ST} = \frac{6370}{700000}$$

Avec  $ST = 147\,100\,000$  km on obtient  $x = 1\,351\,000$  km.

#### b) Calcul du rayon OB de l'ombre à la distance de la Lune

On considère (ET) et (OB) parallèles.



On utilise là encore le théorème de Thalès :  $\frac{OP}{TP} = \frac{OB}{TE}$   
 $TP = 1\,351\,000$  km ;  $TE = 6370$  km  
 $OP = 1\,351\,000 - 357\,000 = 994\,000$  km  
 d'où  $OB = 4690$  km environ.

#### c) Vitesse de la Lune par rapport à l'ombre de la Terre

La Lune tourne autour de la Terre en 29,5 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.

Si on suppose 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 simplement la vitesse  $v$  de la Lune (en km . h<sup>-1</sup>) :

$$v = (2 \times \pi \times 384\,400) / (29,5 \times 24)$$

On obtient 3410 km / h (ou 57 km / min).

En réalité, la vitesse de la Lune sur son orbite est variable et le calcul doit se faire avec les lois de Kepler (voir compléments). Pour des élèves de collège ou de seconde, on peut d'abord effectuer le calcul approximatif ci-dessus puis leur donner le résultat précis qui dépend de la distance Terre Lune.

#### d) Distances VX et WX

$$OV = r_O + r_L \text{ (rayon de l'ombre + rayon de la Lune)}$$

On connaît  $d$ . Le théorème de Pythagore dans le triangle OVX permet de calculer XV. On trouve 6020 km.

$OW = r_O - r_L$ , (rayon de l'ombre - rayon de la Lune). Avec le théorème de Pythagore dans OWX, on trouve 1880 km pour XW.

#### e) Horaires.

Connaissant la vitesse  $v$  et la distance à parcourir, on peut calculer le temps que met la Lune pour passer de V à X et de W à Y et déterminer les horaires.

A 3 660 km.h<sup>-1</sup> ou 61 km.min<sup>-1</sup>, la Lune met 99 min pour parcourir 6020 km et 31 min pour 1880 km.

L'heure du maximum est donnée à 20h 21min.

On obtient donc :

Entrée dans l'ombre : 20h 21min - 99min = 18h 42min.

Début de la totalité : 20h21 min - 31min = 19h 50min.

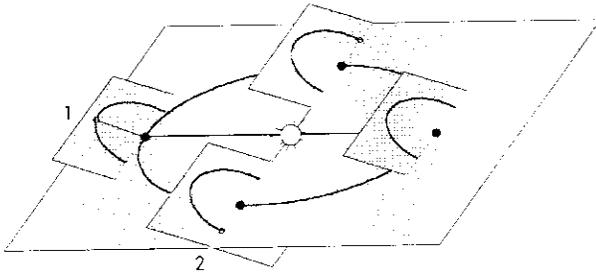
Fin de la totalité : 20h21min + 31min = 20 h 52 min.

Sortie de l'ombre : 20h 21min + 99min = 22h 00min.

On trouve, à la minute près, les horaires données par les éphémérides, malgré des calculs approximatifs...

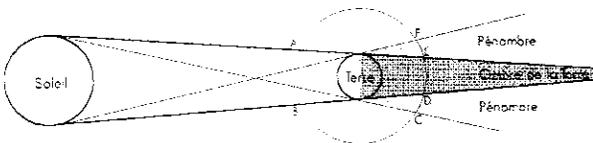
### Compléments.

1 - Une éclipse de Lune ne peut avoir lieu qu'à la Pleine Lune. Mais comme le plan de l'orbite de la Lune n'est pas confondu avec le plan de l'orbite de la Terre, il n'y a pas éclipse à chaque pleine Lune.

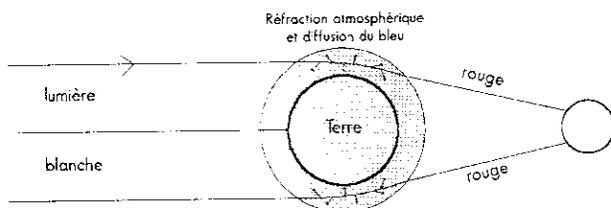


En (1), la Lune passe "au-dessus" de l'ombre de la Terre. En (2), il y a éclipse, la Pleine Lune ayant lieu quand la Lune passe par la ligne des nœuds (intersection des plans des orbites de la Terre et de la Lune).

2 - De C à D et de E à F (figure ci-dessous), la Lune traverse la pénombre. Une personne située à sa surface verrait une partie du Soleil caché par la Terre. Un observateur terrestre devrait voir la Lune s'assombrir peu à peu. Dans la réalité, ce phénomène n'est pas sensible visuellement. Les éclipses par la pénombre, quand la Lune passe légèrement "au-dessus" ou "en dessous" le cône d'ombre tout en traversant la pénombre, passent totalement inaperçues.

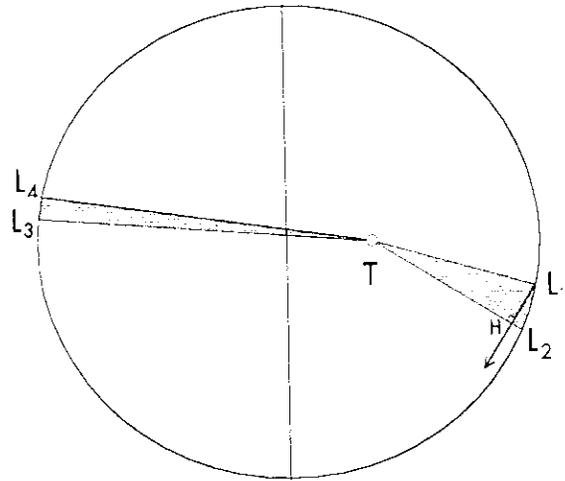


3 - Pendant la totalité, on pourrait croire que la Lune n'est pas visible. En réalité, elle est toujours éclairée par quelques rayons du Soleil qui sont déviés par la réfraction atmosphérique en frôlant la Terre. De plus, l'atmosphère va débarrasser ces rayons lumineux d'une bonne partie de son bleu par diffusion et c'est principalement de la lumière rouge qui va éclairer notre satellite éclipsé.



### 4 - Vitesse de la Lune et lois de Képler

La Lune décrit en réalité une orbite elliptique et non pas circulaire ; sa distance à la Terre peut varier de 356000 à 407000 km. Et 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 L1 et L2 sont espacées d'une heure ainsi que L3 et L4, les aires grisées sont égales. La Lune va donc plus vite en L1, lorsqu'elle est plus proche de la Terre, qu'en L3.

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.

Une première approximation est ici nécessaire : on assimilera les surfaces grisées à des triangles.

L'aire du triangle L1 L2 T est égale à  $(TL_2 \times L_1 H) / 2$ .

$TL$  désignant la distance Terre-Lune (km) et  $V_T$  la vitesse tangentielle (km . h<sup>-1</sup>), la deuxième loi de Kepler fournit :  $TL \times V_T = 2A$  (constante).

La valeur numérique de la constante A (vitesse aréolaire en km<sup>2</sup> . h<sup>-1</sup>) est celle de l'aire balayée en une heure par [TL] donc est le quotient de la surface elliptique totale par la durée de la lunaison (en h).

Si a est le demi grand axe de l'ellipse (384 400 km), b le demi petit axe et e l'excentricité de l'orbite lunaire (0,055), l'aire de l'ellipse est égale à l'aire du disque de rayon a multipliée par b/a ou  $\sqrt{1 - e^2}$

Comme on cherche des vitesses par rapport à l'ombre de la Terre, donc par rapport à la direction Soleil Terre, on utilise la lunaison de 29,53 jours (intervalle de temps entre deux Pleines Lunes)

$$A = \text{Aire balayée en 1 heure} = \frac{\pi \times 384400^2 \times \sqrt{1 - 0,055^2}}{29,53 \times 24}$$

soit 654 010 000 km<sup>2</sup> . h<sup>-1</sup>

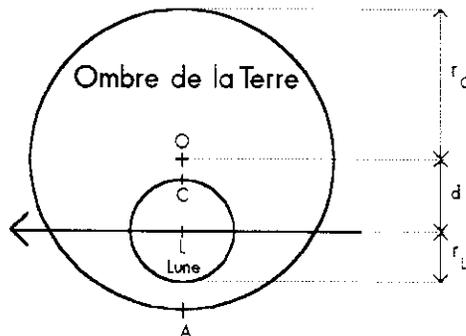
On calcule ensuite  $V_T$  avec :  $V_T = 2A / TL$

Pour le 9 janvier on a d = 357 000 km ce qui nous donne v = 3660 km.

## 5 - Grandeur d'une éclipse

En général, les éphémérides donnent non pas la distance  $d$ , mais la grandeur de l'éclipse, qui permet de calculer  $d$ .

Sur la figure ci-dessous, 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.



$r_O$  = rayon de l'ombre de la Terre  
 $d$  = distance du centre de la Lune au centre de l'ombre  
 $r_L$  = rayon de la Lune

$D_L$  = diamètre de la Lune

On appelle grandeur de l'éclipse la quantité

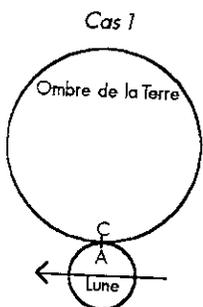
$$g = (r_O + r_L - d) / 2 r_L$$

Comme :  $r_O + r_L - d = OA + LC - (LC + OC)$

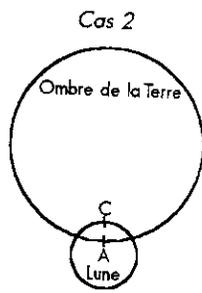
$= OA - OC = AC$ , on peut aussi écrire

$$g = AC / 2 r_L \text{ ou } g = AC / D_L.$$

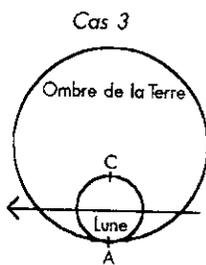
### Les différents cas d'éclipses.



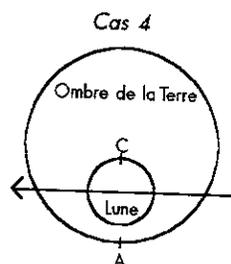
$AC = 0$   
 donc  $g = 0$   
 Pas d'éclipse



$0 < AC < D_L$   
 donc  $0 < g < 1$   
 Éclipse partielle



$AC = D_L$  donc  $g = 1$   
 Éclipse totale pendant  
 une fraction de secondes



$AC > D_L$   
 donc  $g > 1$   
 Éclipse totale

## Prochaines éclipses de Lune

5 juillet 2001 : éclipse partielle, invisible en France.

30 décembre 2001 : éclipse par la pénombre.

26 mai 2002 : éclipse par la pénombre.

24 juin 2002 : éclipse par la pénombre.

19-20 novembre 2002 : éclipse par la pénombre.

### Prochaines éclipses totales de Lune :

16 mai 2003 entre 2h et 5 h du matin.

9 novembre 2003 encore sur le matin.

4 mai 2004, visible le soir dès le lever de Lune.

## 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 (Éclipse 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.

### **Sur Internet**

<http://www.bdl.fr/ephem/eclipses/lune/lune.html>.

On choisit une éclipse et on obtient sa grandeur, les horaires ainsi que les rayons apparents (de la Lune et du Soleil). Ceux-ci permettent de calculer leur distance  $r$  avec

$$d = r \alpha (\text{rad}) : r = \frac{180 \times 60}{\pi} \times \frac{\text{rayon}}{\alpha}$$

(rayon de la Lune = 1738 km et rayon du Soleil = 695 000 km ;  $\alpha$  en °)

Vous trouverez aussi quelques renseignements et exercices généraux sur les éclipses sur le serveur du CNDP à l'adresse suivante :

<http://www.cndp.fr/servpari/eclipse>

De nombreux logiciels permettent de calculer les dates et heures des éclipses de Lune.

## Bibliographie

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.

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

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

Cahiers Clairaut HS 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.