



## Maths et Astronomie

### 7. Éclipses de Soleil

#### SOLUTIONS COMPLÉMENTS POUR L'ENSEIGNANT À PROPOS DES DOCUMENTS JOINTS

#### SOLUTIONS

1. a. Dans cet exercice, on utilise la distance moyenne Terre - Soleil. En réalité, cette distance varie de 147 100 000 km à 152 100 000 km et il faudrait en tenir compte pour être plus précis.

La tangente étant perpendiculaire aux rayons, on trouve des parallèles ce qui permet d'appliquer le théorème de Thalès. Pour que la Lune cache exactement le Soleil, on doit avoir :  $OL \approx 374\,000$  km.

b. Le 3 octobre 2005, l'éclipse était annulaire, la Lune étant trop éloignée, elle apparaissait trop petite et on a observé un anneau de lumière autour du Soleil au moment du maximum (photo n° 3).

Le 11 août 1999, l'éclipse était totale pour un observateur situé à la surface de la Terre, du côté du Soleil évidemment (photo n° 1).

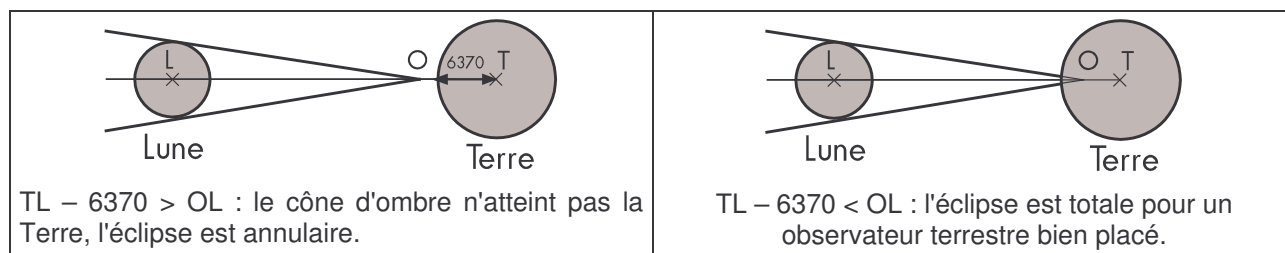
Sa distance à la Lune était alors inférieure à 373 000 km

- c. n° 1 : 11/08/1999 depuis Reims.  
n° 2 : 31/05/2003 depuis Dijon. Éclipse visible en France comme partielle au lever du Soleil.  
n° 3 : 03/10/2005 depuis Madrid.

#### Exercice 2

En écrivant le théorème de Thalès, on obtient une égalité avec 2 inconnues, OL et OS. Mais on peut calculer LS (= TS - TL) puis écrire OS = OL + LS. Il ne reste plus qu'une inconnue, OL. Des élèves de 3<sup>e</sup> ont généralement besoin d'un coup de pouce au départ pour y arriver.

On obtient  $OL = (TS - TL) \times 1740 / (696\,000 - 1740)$



Ces considérations sont valables si S, L et T sont alignés. Ce n'est jamais exactement le cas et il faut être prudent dans les conclusions, en particulier lorsque OL est compris entre TL et TL – 6370. L'éclipse peut commencer par être annulaire (lorsque la ligne Soleil Lune tangente la sphère terrestre) avant de devenir totale pour finir à nouveau annulaire. C'est alors une éclipse mixte. Ce sera le cas le 20 avril 2023.

Date	11/08/1999	03/10/2005	20/04/2023	12/08/2026	01/06/2030
TS	151 600 000	149 700 000	150 200 000	151 600 000	151 700 000
TL	373 300	396 100	376 000	367 000	406 000
OL	379 014	374 195	375 499	379 030	379 183
TL – 6370	366 930	389 730	369 630	360 630	399 630
Éclipse	totale	annulaire	mixte	totale	annulaire

### Exercice 3

On peut calculer le diamètre angulaire d'un astre en utilisant la trigonométrie ou en assimilant le diamètre de l'astre à un arc de cercle et en écrivant que l'angle au centre est proportionnel à la longueur de l'arc (ce qui revient à utiliser des radians).

Date	11/08/1999	03/10/2005	12/08/2026	01/06/2030
Dia Soleil °	0,526	0,533	0,526	0,526
Dia Lune °	0,541	0,506	0,544	0,493
Éclipse	totale	annulaire	totale	annulaire

Les résultats sont donnés ici en degré. Les astronomes utilisent plutôt la minute d'arc pour les diamètres apparents de la Lune et du Soleil.

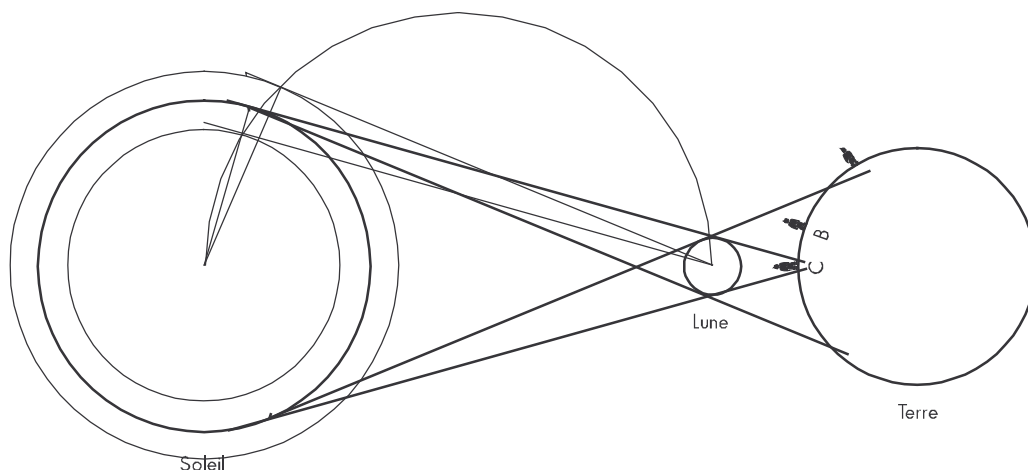
Dia Soleil '	31,6	32,0	31,6	31,5
Dia Lune '	32,5	30,4	32,6	29,6

### Exercice 4

a. A : Soleil entier ; B : Soleil partiellement éclipsé ; C : Soleil totalement éclipsé.

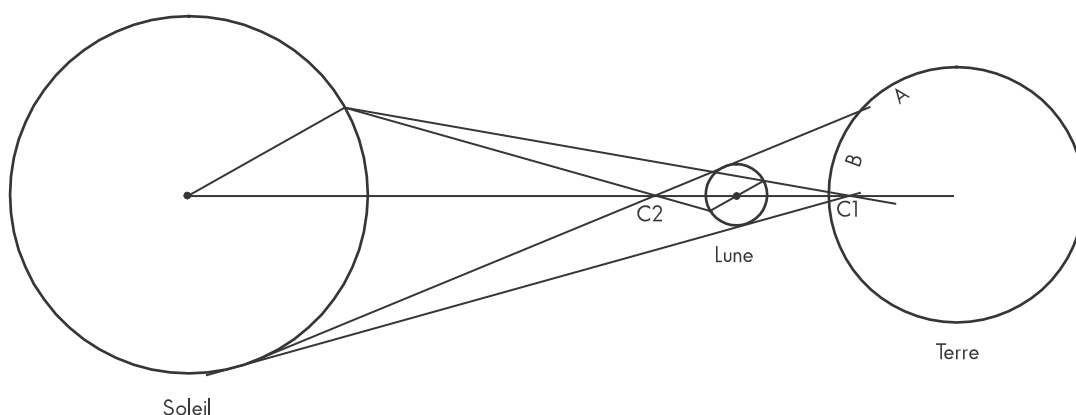
b. Il faut tracer les tangentes intérieures et extérieures aux deux cercles.

Première méthode (collège) : on trace le cercle de centre S et de rayon égal à la différence du rayon du Soleil et du rayon de la Lune. On construit ensuite la tangente à ce cercle passant par L. Même principe pour les tangentes intérieures avec le cercle de rayon égal à la somme du rayon du Soleil et du rayon de la Lune.



Deuxième méthode (lycée) : on cherche le centre d'une homothétie qui transforme la Lune en Soleil. Pour cela on peut tracer un rayon de la Lune et un rayon du Soleil parallèles.

Les centres C1 et C2 une fois obtenus, il suffit de tracer les tangentes au Soleil passant par C1 puis par C2, au compas par exemple.



### Exercice 5

a. Longueur du cône d'ombre de la Lune : 380 310 km (même méthode qu'à l'exercice 2).

b. On connaît la longueur du cône d'ombre OL, on calcule la distance observateur Lune AL (Terre Lune – rayon de la Terre) et la différence des deux donne la distance observateur sommet du cône.

$$OL \approx 380\,310 \text{ km}$$

$$AL = TL - AT = 356\,400 - 6\,378 = 350\,022$$

$$OA = OL - AL \approx 30\,288 \text{ km}$$

Thalès, là encore, permet de trouver le diamètre de l'ombre de la Lune sur la Terre :

$$d_O / r_L = OA / OL. \text{ On trouve environ } 277 \text{ km pour } d_O.$$

c. A l'équateur, on parcourt à cause de la rotation de la Terre sur elle-même, 40 000 km d'ouest en est en 24 heures. L'ombre de la Lune immobile se déplace donc d'est en ouest par rapport à la surface de la Terre à 1 670 km/h.

d. On suppose maintenant la Terre immobile. Le Soleil étant très lointain, la vitesse de l'ombre sur la Terre est approximativement égale à la vitesse de la Lune sur son orbite. Si on veut être précis, on peut à nouveau appliquer Thalès et montrer que pendant que la Lune parcourt 3 720 km, son ombre avance de près de 3 730 km.

On rappelle que l'on a supposé les centres du Soleil, de la Lune et de la Terre parfaitement alignés ; le plan horizontal terrestre au niveau de l'ombre est donc perpendiculaire à la direction Soleil Lune, ce qui évite des problèmes de projection.

Si la Terre ne tournait pas sur elle-même, l'ombre de la Lune à la surface de la Terre se déplacerait d'ouest en est à la vitesse de 3 730 km/h.

e. Les deux mouvements (questions c et d) étant en sens contraire, il faut soustraire les vitesses obtenues. L'ombre se déplace donc à la vitesse de 2 060 km/h par rapport à la surface de la Terre.

L'éclipse sera totale pour notre observateur pendant un temps égal à  $277 / 2\,060$  heure soit environ 8 min.

Pour simplifier, on a supposé le plan de l'orbite lunaire confondu avec le plan de l'équateur. Ce n'est pas le cas dans la réalité et les calculs sont plus complexes. Ce qui n'empêche que l'on a trouvé un résultat proche de la réalité.

### Exercice 6

C'est un exercice qui n'est pas si simple qu'il peut en avoir l'air. Les notions mathématiques de 5<sup>e</sup> suffisent mais des élèves de 3<sup>e</sup> ont déjà des difficultés. On cherche :

1) Les centres des deux arcs de cercle (avec des médiatrices de corde par exemple).

2) La partie éclipse est partagée en deux. L'aire de chaque morceau est égale à la différence de l'aire d'un secteur de disque (proportionnelle à l'angle au centre) et de l'aire d'un triangle. On a donc des longueurs et des angles à mesurer.

3) Une fois trouvée l'aire du disque Soleil et l'aire de la partie éclipse, on trouve environ 48% comme pourcentage éclipse.

### Exercice 7

On connaît  $r_L$  et  $r_S$  les rayons des disques lunaires et solaires, et  $g$  la grandeur de l'éclipse. On peut déjà trouver la distance des centres de la Lune et du Soleil ( $r_L + r_S - 2g.r_S$ ) et procéder comme à la question précédente, mais sans mesure, uniquement avec des calculs.

Ville	Stockholm	Dijon	Marseille	Alger	Mogadiscio
Grandeur	0,7032	0,9575	0,8416	0,6358	0,1509
% éclipse	63 %	95%	80%	55%	7%

### Exercice 8

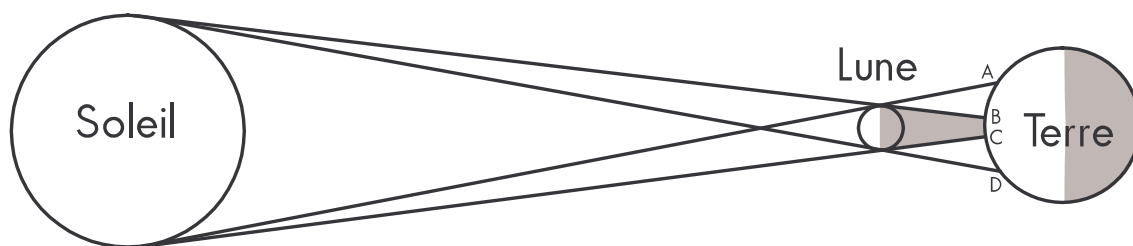
Voici les diamètres apparents du Soleil et de la Lune fournies par l'IMCCE :  $R_S = 16'15,9''$  et  $R_L = 15'18,1''$

Soit  $R_L / R_S \approx 0,510^\circ / 0,542^\circ \approx 0,94$ . L'éclipse ne pouvait donc pas être totale, mais au mieux annulaire. En réalité, cette éclipse du 4 janvier 2011 n'était que partielle.

## COMPLÉMENTS POUR L'ENSEIGNANT

### PRINCIPE D'UNE ÉCLIPSE DE SOLEIL

Les centres du Soleil, de la Lune et de la Terre sont ici alignés, ce qu'on a supposé vrai dans les exercices même si, dans la réalité, ce n'est jamais le cas.



Pour un personnage situé sur Terre entre B et C, la Lune cache entièrement le Soleil : c'est ce qu'on appelle une éclipse totale de Soleil.

Une personne située entre A et B ou entre C et D verra encore une partie du Soleil : c'est une éclipse partielle.

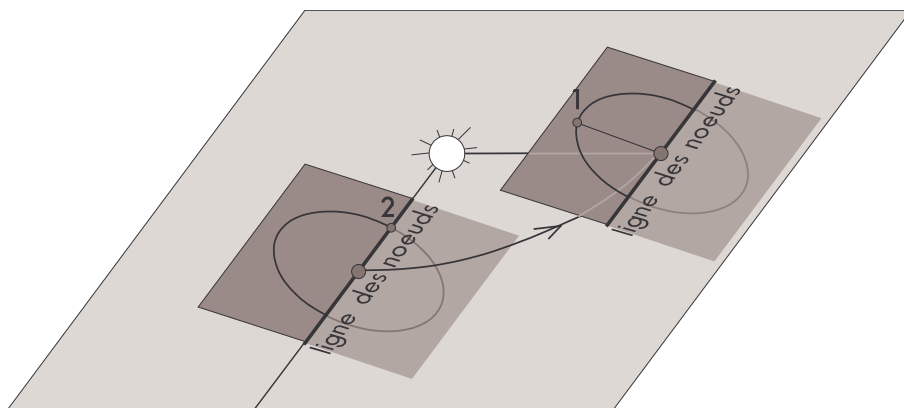
Remarque :

Le mot éclipse s'utilise normalement lorsqu'un astre passe dans l'ombre d'un autre astre comme lors d'une éclipse de Lune. Quand un astre en cache un autre, il s'agit d'une occultation. On devrait donc dire occultation de Soleil et non éclipse de Soleil. On peut aussi observer des occultations d'étoiles par la Lune. Pour les satellites de Jupiter, on observe des éclipses (passage dans l'ombre de la planète) ainsi que des occultations (lorsqu'ils sont cachés par Jupiter).

### Quelques précisions

La Lune est 400 fois plus petite que le Soleil mais, par un heureux hasard, elle est aussi 400 fois plus proche de nous. Les quotients que l'on écrit dans le théorème de Thalès sont égaux à 400 ou  $1/400$ .

De la même manière qu'il n'y a pas d'éclipse de Lune à chaque Pleine Lune, il n'y a pas non plus d'éclipse de Soleil à chaque Nouvelle Lune, les plans des orbites n'étant pas confondus.



En 1, la Lune semble passer "au-dessus" du Soleil : il n'y a pas d'éclipse.

En 2, il y a éclipse de Soleil.

Figure 10

On appelle écliptique le plan de l'orbite de la Terre. Pour qu'il y ait éclipse, de Lune ou de Soleil, la Lune doit justement être dans le plan de l'écliptique (d'où l'étymologie de ce mot).

### Le Saros

La Nouvelle Lune revient tous les 29,53 jours : c'est la lunaison ou révolution synodique.

La Lune repasse par un même nœud tous les 27,21 jours : c'est la révolution draconitique (on appelle nœud un des points d'intersection de l'orbite de la Lune avec le plan de l'écliptique).

La Lune passe au plus près de la Terre tous les 27,56 jours (révolution anomalistique)

1 SAROS = 18 ans et 11,3 jours  $\approx$  223 lunaisons  $\approx$  242 révolutions draconitiques  $\approx$  239 révolutions anomalistiques.

Ainsi, tous les 18 ans et 11 jours, nous retrouvons les mêmes éclipses de Lune et de Soleil, en moyenne 42 de chaque, dans le même ordre et avec les mêmes caractéristiques.

Le mouvement de la Lune est extrêmement complexe puisque son orbite est continuellement modifiée par le Soleil. La distance du périhélie de la Lune (point de son orbite le plus proche de la Terre) vaut en moyenne 363 300 km mais elle peut descendre à 356 400 km. La distance moyenne Terre Lune vaut 384 400 km. La distance maximale (à l'apogée) est de 405 500 km mais elle peut atteindre 406 720 km.

Les exercices proposés donnent de bons ordres de grandeur mais il ne faut pas en attendre une extrême précision.

### Renseignements sur les éclipses

On peut trouver les dates et les paramètres des éclipses de Soleil sur Internet ou sur de nombreux logiciels

<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>

<http://www.imcce.fr/> (Grand public / Les éclipses de Soleil)

On peut aussi trouver la liste des éclipses visibles depuis un lieu donné

<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/JSEX/JSEX-EU.html> (depuis l'Europe)

### Les prochaines éclipses de Soleil visibles en France d'ici 2050

À Paris

Date	Type	Heure du maximum	Grandeur	Obscuration
<b>20 mars 2015</b>	<b>Partielle</b>	<b>10:29:15</b>	<b>0.817</b>	<b>0.779</b>
21 août 2017	Partielle	19:51 (coucher)	0.075 (au coucher)	0.024 (au coucher)
10 juin 2021	Partielle	11:11:52	0.238	0.132
25 octobre 2022	Partielle	11:02:51	0.241	0.137
29 mars 2025	Partielle	12:01:52	0.347	0.236
<b>12 août 2026</b>	<b>Partielle</b>	<b>19:17:15</b>	<b>0.931</b>	<b>0.921</b>
2 août 2027	Partielle	10:01:05	0.598	0.512
26 janvier 2028	Partielle	17:33 (coucher)	0.647 (au coucher)	0.541 (au coucher)
1er juin 2030	Partielle	06:16:52	0.635	0.534
20 mars 2034	Partielle	11:20:06	0.046	0.012
21 août 2036	Partielle	19:11:05	0.652	0.575
16 janvier 2037	Partielle	10:06:04	0.556	0.441
5 janvier 2038	Partielle	15:41:27	0.169	0.08
2 juillet 2038	Partielle	15:09:21	0.215	0.115
21 juin 2039	Partielle	19:38:20	0.697	0.607
11 juin 2048	Partielle	14:30:41	0.654	0.558
14 novembre 2050	Partielle	14:55:51	0.774	0.7
...				
<b>3 septembre 2081</b>	<b>Totale</b>	<b>08:37:24</b>	<b>1.061</b>	<b>1.000</b>
...				
<b>23 septembre 2090</b>	<b>Totale</b>	<b>18:34:25</b>	<b>1.049</b>	<b>1.000</b>

d'après le site <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/JSEX/JSEX-EU.html>

Pour les régions plus éloignées, vous pouvez interroger le site ci-dessus.

### **À PROPOS DES DOCUMENTS JOINTS**

#### **M&A CLEA ESoleil Solutions**

Les solutions des exercices 1, 2, 3 et 5 sur une feuille de calcul.

