

*Je suis fort étonnée, dit la marquise,  
qu'il y ait si peu de mystère aux éclipses...*

Fontenelle

*(Entretiens sur la pluralité des mondes habités)*

## **Les éclipses de Soleil<sup>1</sup>**

### ***Reims - 11 août 1999***

Jean-Pierre CAUSSIL  
Lycée Libergier - 51100 Reims  
Caussil.jp@wanadoo.fr  
et Philippe SIMONNET  
Planétarium de la Ville de Reims

---

#### **RÉSUMÉ**

*«Les éclipses de Soleil : mécanisme, observation (à faire, à ne pas faire), photographie, l'éclipse du 11 août 1999, les éclipses dans l'histoire, adresses utiles...».*

#### **1. LE MÉCANISME DES ÉCLIPSES**

##### **1.1. Une éclipse : qu'est-ce que c'est ?**

**Éclipse** : Disparition momentanée d'un astre lorsqu'un autre astre s'interpose sur le trajet des rayons lumineux qui l'éclairent<sup>2</sup>.

Les éclipses, phénomènes rarissimes, mettent en jeu deux des astres les plus importants du ciel terrestre : le *Soleil* et la *Lune*.

##### **1.2. Les acteurs**

Le Soleil est une étoile identique à toutes celles qui peuplent notre galaxie. C'est une gigantesque masse de gaz portée à très haute température par des réactions de

---

1. Cet article sera disponible sur le serveur Udp :

<http://www.cnam.fr/hebergement/udp>

Les figures pourront être téléchargées en couleur.

2. Dictionnaire Hachette.

fusion thermonucléaire. En son centre, le noyau, cette température atteint plus de quinze millions de degrés. En surface, il fait beaucoup plus frais avec seulement 5800°C. La partie visible du Soleil est appelée photosphère. Elle est le siège de puissantes éruptions qui éjectent de grandes quantités de matière incandescente à des centaines de milliers de kilomètres. Au-delà, la haute atmosphère du Soleil, la couronne solaire, s'étend sur plus d'un million de kilomètres. Elle est si ténue que l'éclat de la photosphère et la diffusion par l'atmosphère terrestre nous empêchent de l'observer habituellement. La couronne solaire ne peut être aperçue que lors des éclipses totales de Soleil.

Vu depuis la Terre, le Soleil semble se déplacer devant les étoiles en décrivant une ligne imaginaire, appelée écliptique, qui correspond au plan de l'orbite terrestre (cf. figure 1).

La Lune est le seul satellite naturel de la Terre. Comparée à notre planète, la Lune est environ quatre fois plus petite ; elle est située à une distance moyenne d'environ 384 000 km.

Comme tous les corps du système solaire, la Lune suit une orbite elliptique. Sa distance à la Terre varie donc de 361 000 km à 406 000 km. Vue depuis la Terre, la Lune ne présente donc pas toujours la même dimension apparente. A sa distance la plus grande, elle nous paraît un peu plus petite.

En raison de son mouvement autour de la Terre, la Lune ne nous semble pas toujours éclairée de la même manière par le Soleil. Ceci se traduit par le phénomène bien connu des phases de la Lune qui se répète avec une période d'environ 29,5 jours (cf. figure 2).

L'orbite lunaire coupe le plan de celle de la Terre en deux points appelés les nœuds de l'orbite. La ligne joignant ces deux points est appelée la ligne des nœuds (cf. figure 3).

Vue depuis la Terre, la lune coupe l'écliptique deux fois par tour, une fois en passant par le nœud ascendant et une autre fois par le nœud descendant (cf. figure 4).

Là où les choses se compliquent c'est que la ligne des nœuds ne pointe pas toujours vers la même direction du ciel, mais tourne en 18,61 ans (cf. figure 5).

Ainsi la position des nœuds se décale lentement sur l'écliptique (cf. figure 6).

La rotation de la ligne des nœuds n'est pas une découverte récente, elle était déjà connue dans l'Antiquité par les Babyloniens. C'est un cycle capital dans le calcul des éclipses qui explique pourquoi elles ne se renouvellent pas à intervalle régulier.

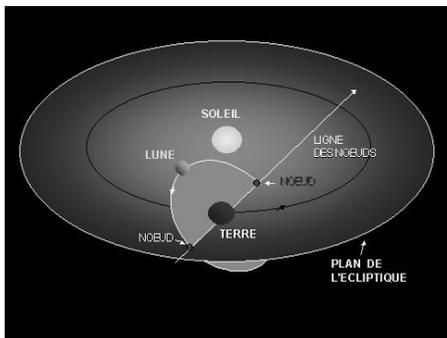


Figure 1

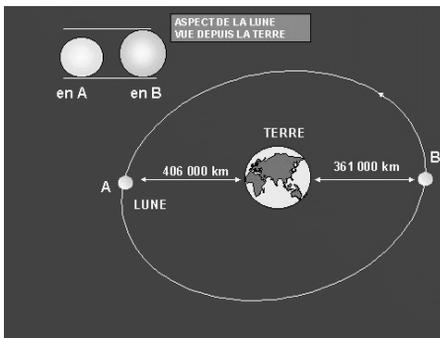


Figure 2

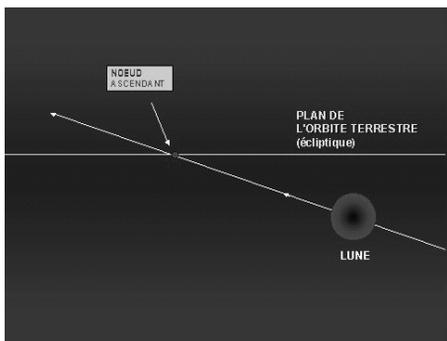


Figure 3

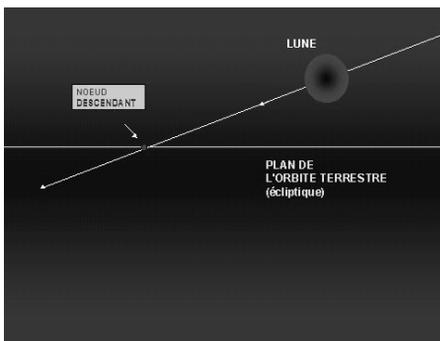


Figure 4

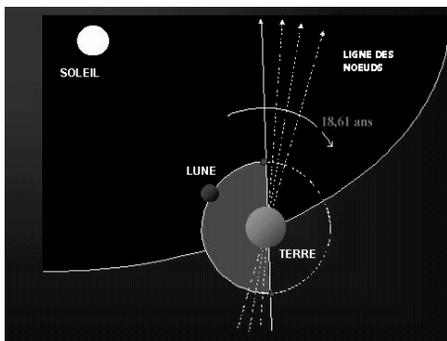


Figure 5

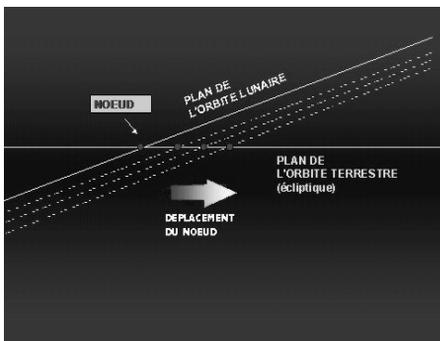


Figure 6

### 1.2.1. Le Soleil

Nature : étoile.

Localisation : à 32 600 années-lumières du centre de la Voie Lactée.

Rayon : 696 000 km soit 109 rayons terrestres.

Diamètre angulaire : à 1 UA : 1919,26'' • au périhélie : 1951,86'' •  
à l'aphélie : 1887,68''.

Masse :  $1,989 \cdot 10^{30}$  kg soit 330 000 fois celle de la Terre.

Densité : moyenne : 1,409 • au centre :  $160 \pm 20$ .

Gravité superficielle :  $274 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Vitesse de rotation moyenne (de Carrington) :  $14,18^\circ/\text{j}$ .

Période : 25,38 j.

Rotation différentielle : Période : équateur : 23 j •  $20^\circ$  : 23,5 j •  $45^\circ$  : 25,5 j •  
 $70^\circ$  : 29 j •  $(90^\circ)$  : (30 j).

Type spectral : G2 V.

Luminosité :  $3,9 \cdot 10^{26}$  W.

Température effective : 5770 K.

Magnitude : absolue : + 4,83 • visuelle : - 26,72.

Vitesse par rapport aux étoiles proches : 19,7 km/s.

### 1.2.2. La Lune

Nature : satellite.

Localisation :

- Distance moyenne à la Terre (de centre à centre) : 384 403 km,
- Distance moyenne au centre de masse Terre-Lune : 379 768 km,
- Distance périgée minimale : 356 371 km,
- Distance périgée moyenne : 363 300 km,
- Distance apogée maximale : 406 720 km,
- Distance apogée moyenne : 405 506 km,
- Excentricité de l'orbite : 0,054 900 49
- Périgées et apogées extrêmes de 1900 à 2200 :

Périgées < 356 425 km			Apogées > 406 510 km		
4 janvier	1912	356 375	9 janvier	1921	406 710
15 janvier	1930	356 397	2 mars	1984	406 712
6 décembre	2052	356 421	23 janvier	2107	406 716
29 janvier	2116	356 403	3 février	2125	406 720
9 février	2134	356 416	14 février	2143	406 713

Diamètre apparent à la distance moyenne :  $31' 5''$ .

Rayon équatorial : 1737,9 km.

Aplatissement : 0,000 172.

Masse :  $7,36 \cdot 10^{22}$  kg.

Densité moyenne : 3,36.

Gravité superficielle moyenne :  $1,624 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

Vitesse de libération : 2,37 km/s

Rotation sidérale : des nœuds : 6793,5 j • du périégée : 3232,6 j

Mois : sidéral : 27,321 661 j • synodique : 29,530 588 j • tropique : 27,321 582 j.

Albédo : 0,073.

Magnitude visuelle : - 12,55.

Températures observées :  $- 170^\circ\text{C} < \theta < + 120^\circ\text{C}$ .

Vitesse orbitale moyenne : 1 km/s.

Inclinaison de l'équateur sur l'orbite :  $6^\circ 40' 49''$ .

Inclinaison de l'équateur sur l'écliptique :  $1^\circ 32' 6''$ .

Inclinaison moyenne du plan de l'orbite :  $5^\circ 8' 43,4''$ .

Libration : en longitude :  $2' 10''$  • en latitude :  $1' 47''$  • parallactique :  $0' 16''$ .

Superficie toujours invisible de la Terre : 41 %

### 1.2.3. La Terre

Nature : planète.

Localisation :

– Distance moyenne du Soleil :  $1,495\ 978\ 70\ 10^8$  km (1 UA),

– Distance au périhélie :  $1,471\ 0\ 10^8$  km,

– Distance à l'aphélie :  $1,521\ 0\ 10^8$  km,

– Excentricité de l'orbite : 0,016 717 6.

Rayon équatorial : 6378 km.

Aplatissement : 0,003 353.

Masse :  $5,975\ 6 \cdot 10^{24}$  kg.

Densité moyenne : 5,515.

Gravité superficielle moyenne :  $9,78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

Vitesse de libération : 11,18 km/s.

Période sidérale : 365,25 637 j.

Durée de rotation : 23,934 5 h.

Albédo : 0,39.

Températures observées :  $- 88^\circ\text{C} < \theta < + 48^\circ\text{C}$ .

Vitesse orbitale moyenne : 29,8 km/s.

Inclinaison de l'équateur sur l'orbite : 23,442°.

### 1.3. Quand se produisent les éclipses de Soleil ?

Les éclipses de Soleil se produisent quand la Terre, la Lune et le Soleil sont exactement alignés, donc au moment d'une **Nouvelle Lune**, alors l'ombre de la Lune est susceptible de venir caresser la Terre (cf. figure 7).

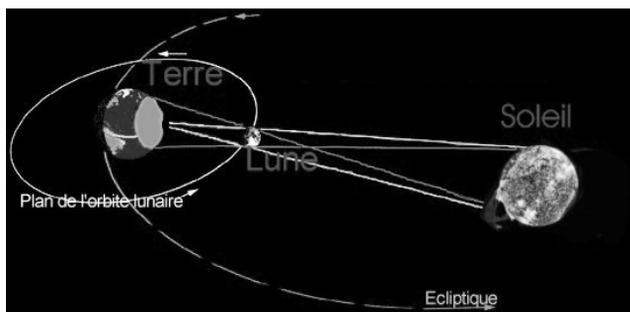


Figure 7

On pourrait donc s'attendre qu'à chaque Nouvelle Lune il y ait éclipse de Soleil, force est de constater qu'il n'en est rien. En fait le plan de l'orbite lunaire fait un angle de 5,1° avec celui de l'orbite terrestre autour du Soleil<sup>3</sup>, la Lune ne se trouve donc dans le plan de l'écliptique que deux fois par orbite et cela ne correspond pas toujours aux moments de la Nouvelle Lune (cf. figure 8, 9, 10).

Pour qu'il y ait alignement des centres des trois astres, Soleil, Terre, Lune, donc éclipse, il est nécessaire :

- que la Lune soit sur la ligne des nœuds, ce qui se produit vingt-cinq fois par an,
- mais aussi que le Soleil soit sur cette même ligne, ce qui se produit deux fois par an.

*Si ces deux conditions ne sont pas réunies, ce qui est le plus courant, aucune éclipse n'est visible depuis la Terre.*

En fait la Lune rate le Soleil pratiquement à chaque tour, en passant largement au-dessus ou en dessous de sa direction (cf. figure 11).

3. Appelé plan de l'écliptique.

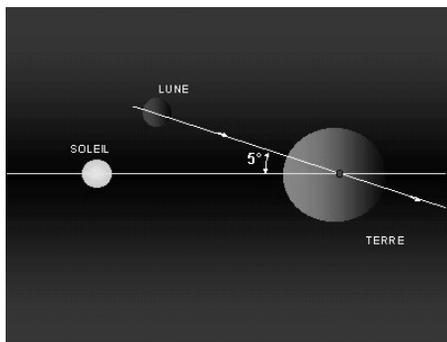


Figure 8

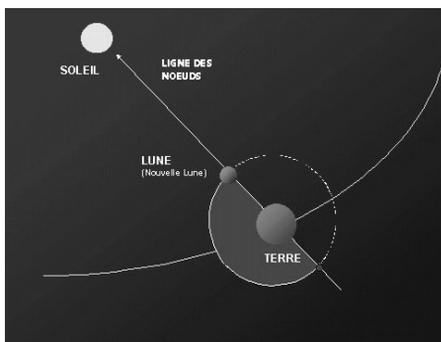


Figure 9

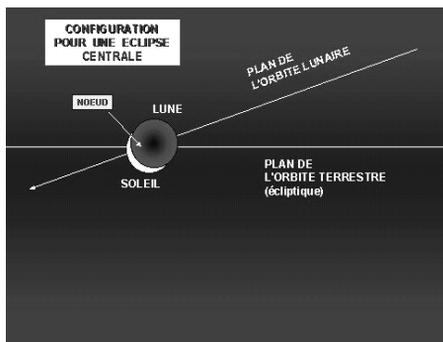


Figure 10

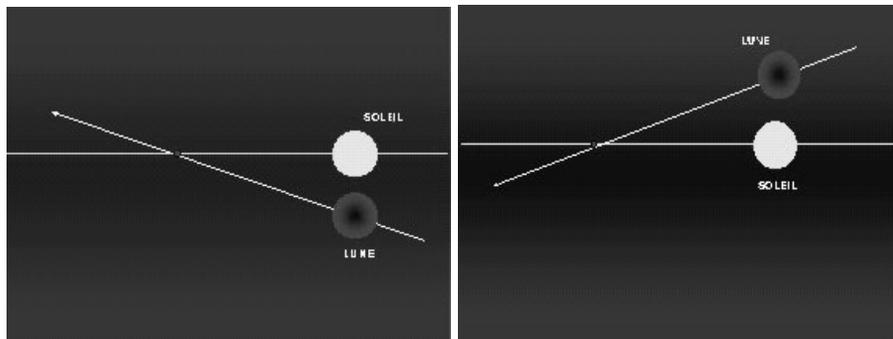


Figure 11

#### 1.4. Les différents types d'éclipses de Soleil

Par «chance» extraordinaire, la Lune qui est environ quatre cents fois plus petite que le Soleil est aussi quatre cents fois plus proche que celui-ci, elle nous apparaît donc dans le ciel avec la même dimension, et peut donc nous le cacher, pendant quelques instants seulement, rotations obligent.

Comme la Lune est relativement proche de la Terre, la direction vers laquelle on l'observe dépend du lieu d'observation. D'un certain endroit on peut voir la Lune passer devant le Soleil alors qu'au même moment, vue d'une autre région elle l'évite largement (cf. figure 12, 13).

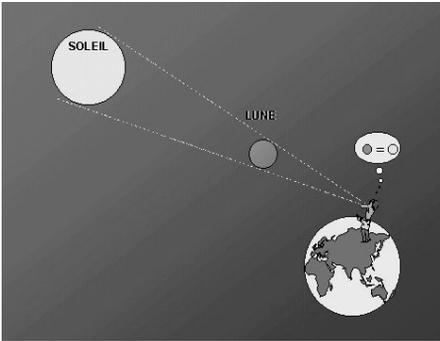


Figure 12

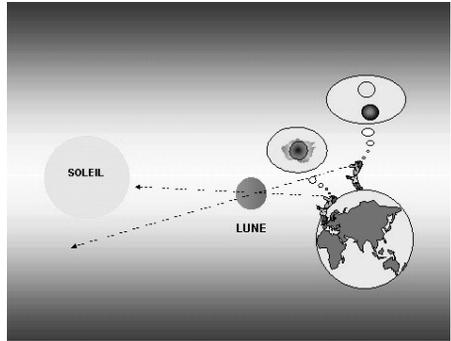


Figure 13

Dans le cas général, lorsqu'un astre, quel qu'il soit, est éclairé par le Soleil, il projette un cône d'ombre et des zones de pénombres (cf. figure 14).

Si un observateur se trouve dans le cône d'ombre il ne peut plus voir le Soleil (cf. figure 15).

S'il se trouve dans les zones de pénombre, le Soleil lui semble partiellement caché par l'astre se trouvant devant lui (cf. figure 16).

En appliquant ce principe à un observateur terrestre on peut définir trois types d'éclipses de Soleil : les éclipses totales, partielles et annulaires.

Généralement, le jour d'une Nouvelle Lune, le cône d'ombre de la Lune et ses zones de pénombres ne touchent pas la Terre, la Lune passant la plupart du temps au-dessus ou en dessous de l'axe Terre Soleil (cf. figure 17).

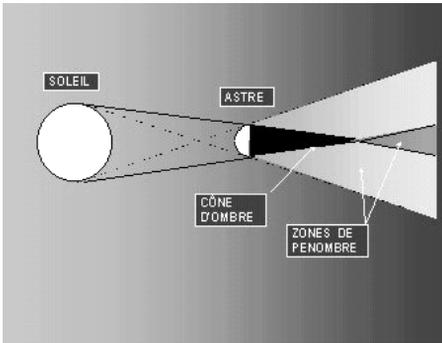


Figure 14

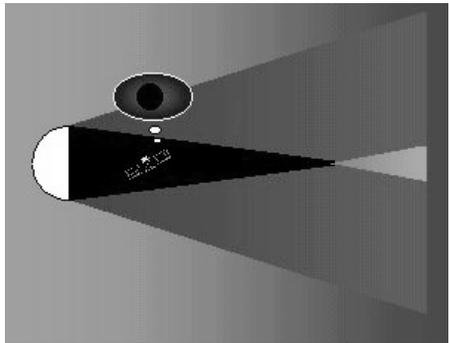


Figure 15

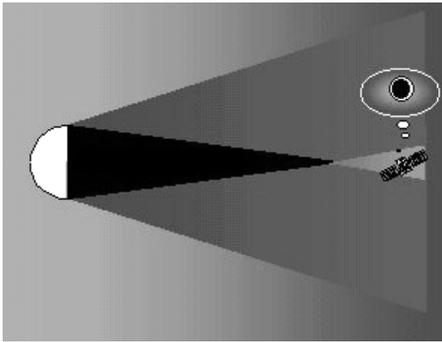


Figure 16

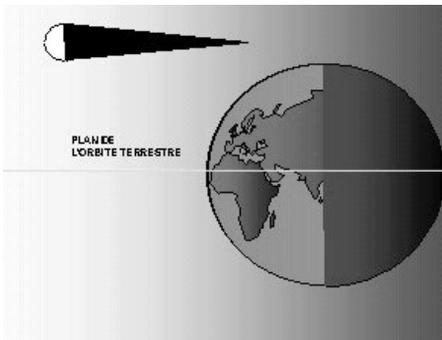
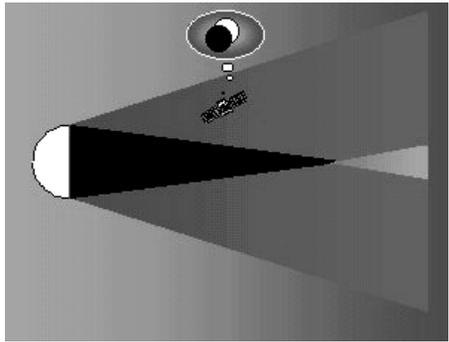
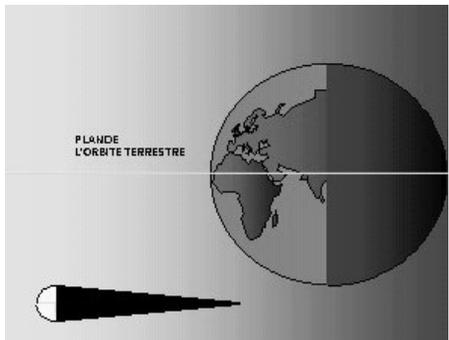


Figure 17



Si les conditions que nous avons définies précédemment sont réunies, et que le cône d'ombre de la Lune touche la surface de la Terre, on observera une éclipse totale de Soleil au point T. C'est depuis cette zone, et uniquement celle-ci, que la nuit tombe en plein jour, le Soleil étant totalement caché par la Lune (cf. figure 18).

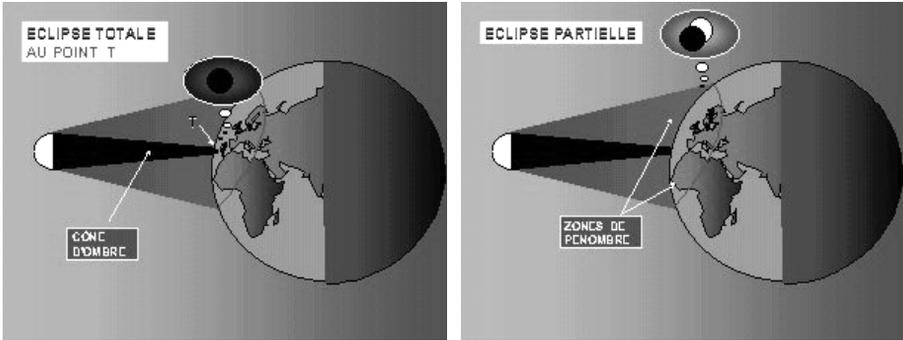


Figure 18

Dans les zones couvertes par la pénombre de la Lune, on n'observe en revanche qu'une éclipse partielle, la Lune ne cache alors qu'une partie plus ou moins grande du Soleil. Une éclipse totale de Soleil est toujours accompagnée d'une éclipse partielle.

Si, au moment de l'éclipse, la configuration des distances séparant la Terre, la Lune et le Soleil est telle que l'extrémité du cône d'ombre ne touche pas la Terre on assistera alors à une éclipse annulaire depuis la région A. La Lune paraissant trop petite ne cachera que la partie centrale de l'astre du jour en laissant visible un anneau de Soleil (cf. figure 19).

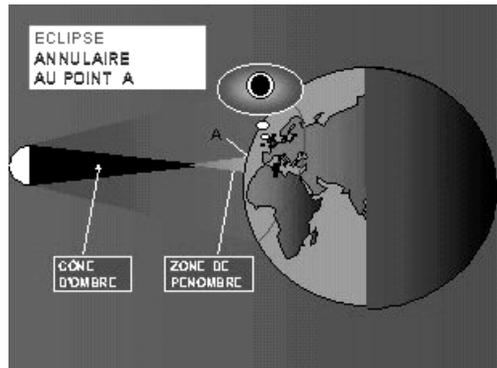


Figure 19

### 1.5. Périodicité des éclipses de Soleil<sup>4</sup>

Il y a éclipse de Soleil ou éclipse de Lune lorsque ces deux astres sont au voisinage de la ligne des nœuds.

On appelle **révolution synodique** de la Lune, ou mois lunaire ou bien encore lunaison la période «**L**» correspondant à la différence entre la longitude moyenne (définie par rapport à l'écliptique) de la Lune et celle du Soleil, c'est une fonction linéaire du temps qui augmente de  $360^\circ$  en 29,530 5882 jours.

Le plan de l'orbite de la Lune étant animé d'un mouvement de précession les nœuds parcourent l'écliptique et ce dans le sens rétrograde (sens des aiguilles d'une montre) avec une période de 18.61 années tropiques, soit 6 797,157 342 jours.

On appelle **révolution draconitique** de la Lune la différence entre la longitude moyenne de la Lune et celle du nœud ascendant de son orbite. C'est, comme la lunaison, une fonction linéaire du temps qui augmente elle de  $360^\circ$  en 27,212 2208 jours, cette période sera nommée «**G**».

Pour retrouver des conditions favorables à une éclipse, il faut donc que s'écoule la durée :

$$\mathbf{x.G = y.L} \text{ avec } x \text{ et } y \text{ entiers ou bien encore } \mathbf{x/y = L/G.}$$

En utilisant la méthode de décomposition des réels en fraction continue, on obtient entre autres :

$$\mathbf{x/y = 1,085\ 196 = 242/223,}$$

soit une période de 223 L ou de 242 G, donc de 6 585,321 17 jours (18 ans 11 jours 8 h). Ce cycle, est connu sous le nom de **Saros**.

Au cours de ce cycle, on retrouve en moyenne le même nombre d'éclipses. Mais les irrégularités du mouvement de l'orbite lunaire font que la succession du type des éclipses n'est pas conservée.

Durant cette période, il y a en moyenne 84 éclipses (42 de Soleil et 42 de Lune), qui se répartissent, pour les éclipses de Soleil, de la façon suivante : 14 éclipses partielles et 28 éclipses centrales (totales ou annulaires). Cette valeur de 84 éclipses est une valeur moyenne, en réalité on distingue des Saros pauvres, avec un petit nombre d'éclipses (78 éclipses), et des Saros riches avec un grand nombre d'éclipses (94 éclipses).

Cette période ne comportant pas un nombre exact de jours, les éclipses se reproduisent bien le même jour mais avec un décalage en longitude d'environ 120 degrés.

---

4. D'après Patrick ROCHER (Bureau des longitudes).

À l'intérieur d'un Saros on peut observer des suites courtes d'éclipses de Soleil et de Lune. Elles portent sur huit ou neuf éclipses consécutives, réparties sur huit saisons d'éclipses. La grandeur de ces éclipses est croissante, jusqu'à la quatrième (ou la cinquième) éclipse, puis elle est décroissante.

On peut également mettre en évidence des suites longues d'éclipses en étudiant, non pas l'évolution des éclipses dans un même Saros, mais l'évolution des éclipses homologues d'un Saros à l'autre, c'est-à-dire celles qui surviennent à la même lunaison (numérotée de 1 à n dans les Saros successifs). On observe que sur une période de 72 Saros (environ 1300 ans), une éclipse de Soleil évolue de la manière suivante : une douzaine d'éclipses partielles de grandeur croissante, puis 48 éclipses centrales suivies de 12 éclipses partielles de grandeur décroissante. Ainsi des séries longues ont été construites par Van den Bergh (1955) à partir des 8000 éclipses du canon d'Oppolzer, chaque série longue, appelée parfois série de Saros est numérotée ainsi que chaque éclipse dans la série.

#### 1.6. La durée d'une éclipse de Soleil

La forme de l'ombre sur le sol est celle d'un grand disque noir de 270 km de diamètre au maximum, la taille de l'ombre est différente à chaque éclipse car la distance Terre Lune est variable. En raison du mouvement de la Lune et de la rotation de la Terre l'ombre se déplace sur le sol à plusieurs milliers de kilomètres par heure décrivant ainsi une bande depuis laquelle il est possible d'observer le phénomène à un moment de la journée.

Étant donnée la vitesse de l'ombre, un observateur fixe ne peut pas rester dans l'obscurité pendant très longtemps. Le maximum possible est très légèrement supérieur à 7 min. Pour qu'il en soit ainsi, la Terre doit être à l'aphélie, la Lune au périégée et le maximum doit se produire au zénith du lieu d'observation. La première condition fixe la date de l'éclipse (actuellement début juillet). La troisième condition fixe le lieu d'observation sur le tropique du Cancer (latitude 23°). Avec la Lune au périégée, la vitesse synodique de l'ombre par rapport à la Terre est de 3 733 km/h (1 037 m/s) et la vitesse de l'ombre sur la surface de la Terre est de 2 196 km/h (610 m/s), son diamètre est alors de 262 km et la durée de l'éclipse est de 7 min 10 s. En réalité, ces paramètres ne sont pas indépendants et l'on s'aperçoit, en faisant un calcul plus rigoureux, que si l'on descend en latitude vers + 5° la durée de l'éclipse croît jusqu'à 7 min 30 s. En effet le diamètre de l'ombre va décroître (on n'est plus au zénith, l'ombre, intersection d'un cône dont l'axe ne passe pas par le centre de la Terre avec la sphère terrestre, devient approximativement elliptique) mais sa vitesse décroît encore plus rapidement ce qui en fin de compte augmente sensiblement la durée de l'éclipse (cf. figure 20).

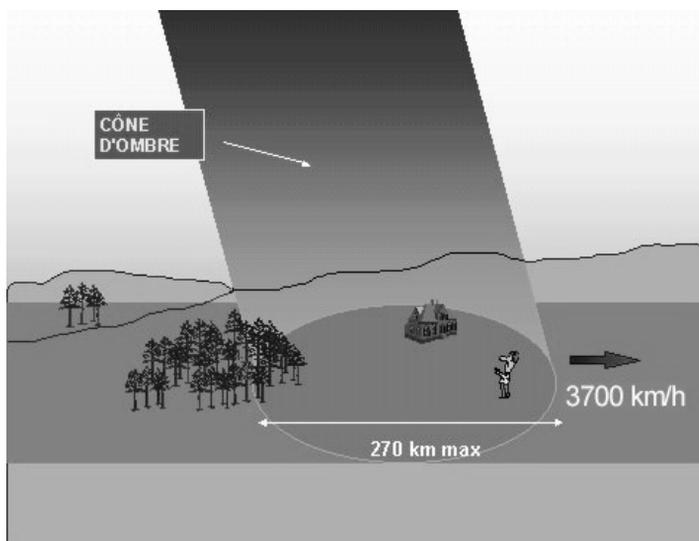


Figure 20

*Liste des éclipses totales d'une durée supérieure à 7 minutes<sup>5</sup>*

Date	Durée	Date	Durée	Date	Durée
22 juin -1460	7 min 04 s	1 <sup>er</sup> juin 132	7 min 14 s	9 juin 1062	7 min 21 s
3 juillet -1442	7 min 05 s	12 juin 150	7 min 12 s	20 juin 1080	7 min 18 s
28 mai -1124	7 min 03 s	23 juin 168	7 min 03 s	1 <sup>er</sup> juillet 1098	7 min 05 s
9 juin -1106	7 min 02 s	6 juin 327	7 min 04 s	8 juin 1937	7 min 04 s
24 mai -779	7 min 12 s	16 juin 345	7 min 17 s	20 juin 1955	7 min 08 s
5 juin -761	7 min 26 s	27 juin 363	7 min 24 s	30 juin 1973	7 min 04 s
15 juin -743	7 min 28 s	8 juillet 381	7 min 22 s	25 juin 2150	7 min 14 s
26 juin -725	7 min 19 s	19 juillet 399	7 min 11 s	5 juillet 2168	7 min 26 s
30 avril -443	7 min 01 s	23 mai 681	7 min 10 s	16 juillet 2186	7 min 29 s
11 mai -425	7 min 12 s	3 juin 699	7 min 16 s	27 juillet 2204	7 min 22 s
22 mai -407	7 min 13 s	13 juin 717	7 min 15 s	8 août 2222	7 min 06 s
2 juin -389	7 min 04 s	25 juin 735	7 min 02 s	14 juin 2504	7 min 10 s
22 mai 114	7 min 06 s	29 mai 1044	7 min 12 s	25 juin 2522	7 min 13 s

Tableau 2

5. D'après Patrick ROCHER (Bureau des longitudes).

Pour profiter plus longuement du phénomène, il faut suivre l'ombre en se déplaçant à la même vitesse qu'elle. Cette expérience a été tentée pour la première fois avec succès en 1973 avec le supersonique Concorde qui a pu suivre une éclipse en Mauritanie pendant plus d'une heure (cf. figure 21).

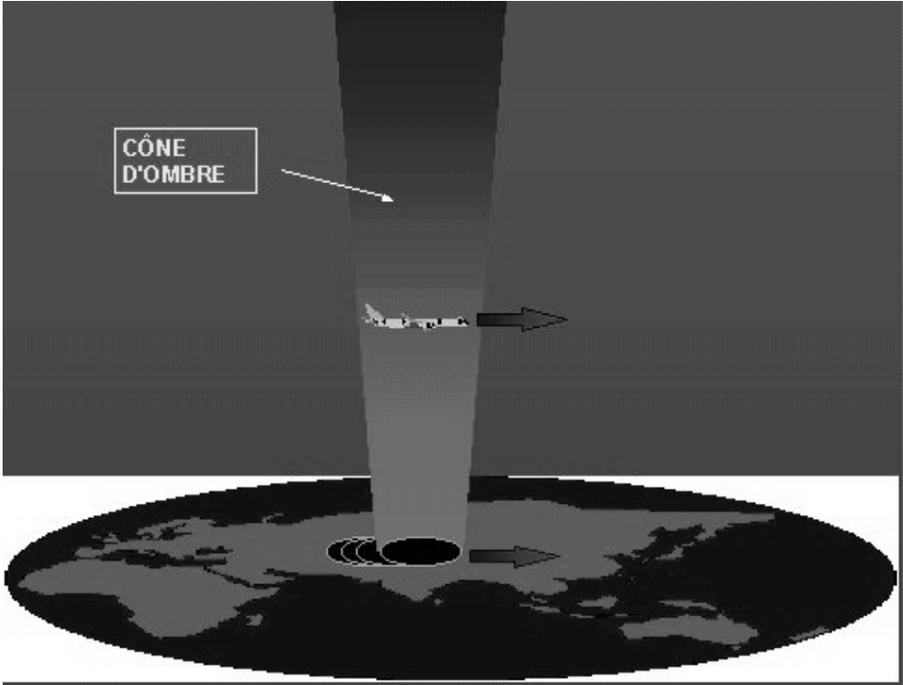


Figure 21

Étant donné la taille de l'ombre, son parcours sur le globe terrestre est relativement étroit mais peut en revanche concerner une bande dont la longueur atteint plusieurs milliers de kilomètres. C'est la bande de totalité. Tous les habitants des régions situés sur la bande de totalité observeront une éclipse totale à un moment de la journée mais à des heures différentes. Les régions concernées changent à chaque éclipse (cf. figure 22).

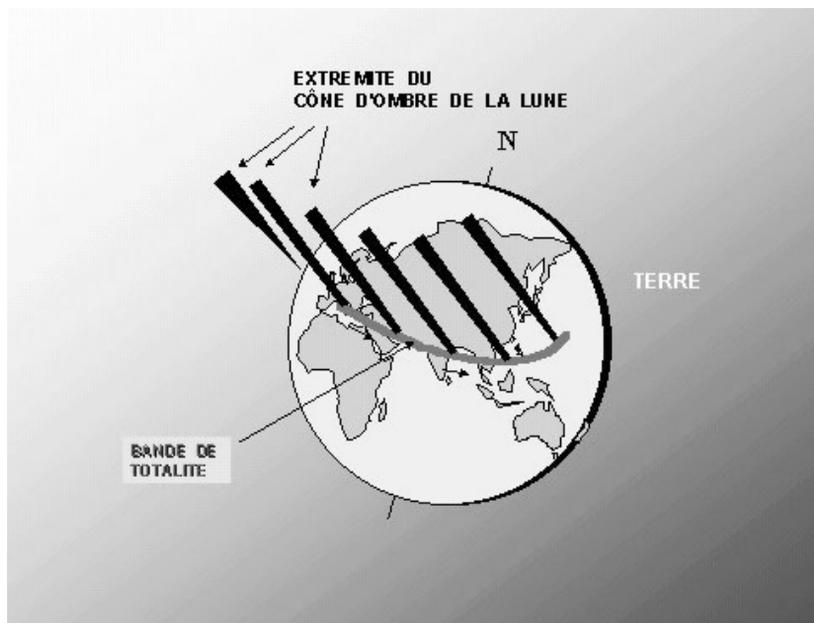


Figure 22

Dans le cas d'une éclipse annulaire le raisonnement est similaire mais inverse, le diamètre apparent du Soleil doit être le plus grand possible (Terre au périhélie) et le diamètre apparent de la Lune doit être le plus petit possible (Lune à l'apogée), dans ce cas la durée de la phase maximale peut atteindre 12 min 30 s.

*Liste des éclipses annulaires d'une durée supérieure à 12 minutes<sup>6</sup>*

Date	Durée	Date	Durée
2 décembre -1673	12 min 02 s	7 décembre 150	12 min 23 s
12 décembre -1655	12 min 08 s	17 décembre 168	12 min 15 s
11 décembre -195	12 min 04 s	25 décembre 1628	12 min 02 s
22 décembre -177	12 min 08 s	14 décembre 1955	12 min 09 s
25 novembre 132	12 min 16 s	24 décembre 1973	12 min 02 s

Tableau 3

6. D'après Patrick ROCHER (Bureau des longitudes).

### 1.7. Les éclipses centrales en France métropolitaine<sup>7</sup>

Vu la faible surface traversée par la bande de centralité, les éclipses visibles sur un territoire ayant la superficie de la France sont peu nombreuses et si on se limite à une ville où une région, elles deviennent exceptionnelles.

Le tableau 4 donne la liste des éclipses dont la bande de centralité traverse la France, il porte sur toutes les éclipses centrales allant du début du XVI<sup>e</sup> siècle jusqu'à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle.

Date	Type d'éclipses	Remarques
24 janvier 1544	Totale*	visible dans le sud-est de la France
12 octobre 1605	Totale	visible dans le sud-ouest de la France
10 juin 1630	Totale*	la fin de l'éclipse est visible de l'ouest au sud-est de la France
27 janvier 1683	Annulaire	la fin de l'éclipse est visible à l'ouest et au centre de la France
12 mai 1706	Totale	visible dans le sud-est de la France
22 mai 1724	Totale	visible du nord-ouest au nord-est de la France visible à Paris
1 <sup>er</sup> avril 1764	Annulaire	visible dans le nord de la France visible à Paris
7 septembre 1820	Annulaire	visible dans le nord-est de la France invisible à Paris
8 juillet 1842	Totale	visible dans le sud-est de la France
9 octobre 1847	Annulaire	visible du nord-ouest au centre-est de la France
17 avril 1912	Mixte	visible de l'ouest au nord-est de la France visible au nord de Paris (éclipse perlée)
15 février 1961	Totale	visible dans le sud de la France
11 août 1999	Totale	visible dans le nord de la France d'ouest en est
5 novembre 2059	Annulaire	visible dans le sud-ouest de la France
3 septembre 2081	Totale	visible dans le centre de la France
27 février 2082	Annulaire	visible dans le sud de la France
23 septembre 2090	Totale	fin de l'éclipse visible dans le nord-ouest de la France
* Ces deux éclipses sont données comme mixtes dans le canon de Meeus et comme totales dans le canon d'Oppolzer.		

**Tableau 4**

7. D'après Patrick ROCHER (Bureau des longitudes).

*Remarque* : quelques auteurs citent à tort l'éclipse du 12 août 2026 comme visible en France. Camille FLAMMARION la donne visible à Paris (1880, L'Astronomie Populaire). Paul COUDERC la dit visible sur une ligne allant de Bordeaux à Toulouse (1971, Les éclipses). En réalité cette éclipse ne sera pas visible en France mais en Espagne.

## 2. COMMENT OBSERVER UNE ÉCLIPSE DE SOLEIL

### 2.1. Est-il dangereux d'observer une éclipse ?

**Non**, l'observation d'une éclipse n'est pas un phénomène dangereux en tant que tel, **c'est l'observation du Soleil**, d'une manière générale, **qui peut être dangereuse si des précautions suffisantes ne sont pas prises.**

En effet le Soleil émet une quantité phénoménale d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique :

Visible	La lumière que perçoit notre œil, mais qui peut aussi nous éblouir si elle est trop intense.
Infrarouge	Ces rayonnements sont d'autant plus dangereux qu'ils sont imperceptibles à l'œil.
Ultraviolet	

On classe le rayonnement ultraviolet en plusieurs catégories :

- les UV C, entre 200 nm et 280 nm, très dangereux, mais ils sont filtrés par l'atmosphère terrestre,
- les UV B, entre 280 nm et 315 nm, dangereux, ils peuvent engendrer des lésions très graves,
- les UV A, entre 315 nm et 380 nm, qui sont à l'origine du bronzage de la peau et de la photosynthèse de la vitamine D.

### **Ces rayonnements sont tous nocifs pour la vue.**

Les rayonnements infrarouges ont une longueur d'onde supérieure à 800 nm et inférieure à 1 mm (où commence le domaine des ondes radio), ils sont détectés par la chaleur à laquelle ils sont associés.

*La concentration du rayonnement solaire permet d'atteindre des températures telles qu'il est très facile d'enflammer une feuille de papier à l'aide d'une loupe et de quelques rayons de Soleil.*

***Iriez-vous mettre votre rétine à la place de cette feuille de papier ?***

**Non !** Alors ne mettez jamais votre œil derrière un instrument d'optique (lunette, jumelles, viseur d'appareil photo), ce qui formerait une image du Soleil sur votre rétine, sans qu'il soit équipé d'un filtre spécialement conçu pour l'observation solaire.

De même, **il est fortement déconseillé** de regarder le Soleil à l'œil nu, même avec des lunettes de soleil ; le flux solaire sur la rétine est moins fort que lorsque l'œil observe avec des jumelles, surtout parce que l'image rétinienne est moins grande, mais son éclairement est du même ordre !

En effet ces lunettes, si elles sont de bonne qualité, protègent du rayonnement ultraviolet mais ne sont nullement conçues pour regarder le Soleil de face car elles n'arrêtent pas le rayonnement infrarouge.

On estime, que même lorsque le disque solaire est éclipsé à 99 %, le rayonnement solaire peut causer des dommages irréversibles et au moment où vous êtes ébloui il est déjà trop tard.

**Le seul moment,  
très court,  
où l'on peut regarder sans danger directement le Soleil  
durant une éclipse  
est la phase de totalité.**

*Attention* : la douleur que l'on peut ressentir en regardant le Soleil en face provient de la pupille qui veut se fermer plus qu'elle ne le peut, cette douleur nous fait détourner le regard. Mais un mauvais filtre peut la supprimer et laisse passer le rayonnement infrarouge qui va brûler la rétine d'une manière indolore, le fond de l'œil n'est pas sensible à la douleur et toute brûlure est irréversible.

Il convient donc de prendre énormément de précautions pour observer une éclipse de Soleil.

**2.2. Les traumatismes causés par le Soleil**

Si vous regardez sans précaution une éclipse de Soleil, vous risquez une brûlure grave du fond de l'œil. Au moment de la brûlure, ce traumatisme est le plus souvent indolore (d'où son danger). Il peut entraîner des cécités définitives ou partielles. Lors de la dernière éclipse visible aux États-Unis, on a dénombré plus de mille cas de cécité définitive et plus de dix mille cas de cécité temporaire. Même dans les cas de cécité temporaire le traumatisme est très long à se résorber (cela peut prendre de six mois à un

an) et il reste toujours des séquelles. Contrairement à ce que l'on pourrait penser le fait de porter des lunettes de Soleil augmente l'intensité de la brûlure, en effet l'intensité lumineuse étant filtrée par les lunettes, la pupille de l'œil se dilate et la quantité de lumière infrarouge qui pénètre dans l'œil est plus importante, d'où une brûlure encore plus intense.

### 2.3. L'observation par projection

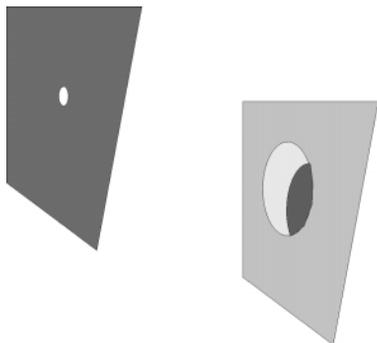


Figure 23

à la première ; lorsque cette seconde feuille est suffisamment éloignée de la première (environ 50 cm), on peut y observer l'image du Soleil (cf. figure 23).



On peut également observer l'éclipse par projection avec un instrument d'optique, par exemple une petite lunette. Pour cela, il suffit d'orienter la lunette vers le Soleil, sans utiliser le chercheur de l'instrument, mais en orientant la lunette de manière à minimiser la dimension de son ombre.

La première méthode est absolument sans danger, la deuxième présente le risque de voir une personne distraite ou non informée (souvent des enfants), mettre son œil derrière l'instrument, **attention**.

### 2.4. Les filtres pour l'observation des éclipses

Il existe de nombreux types de filtres solaires, utilisés par les astronomes professionnels et amateurs pour l'observation du Soleil. Ces filtres ont deux objectifs, réduire l'intensité lumineuse et filtrer les rayonnements ultraviolets et infrarouges. Ces filtres

possèdent une fine couche d'aluminium, de chrome ou d'argent sur leur surface. C'est cette couche métallique qui filtre le rayonnement infrarouge. Ces filtres, pour être efficaces, doivent être montés devant les systèmes optiques (devant la lunette où le télescope), cela explique à la fois leur grand diamètre et leur prix souvent élevé. On trouve parfois, vendus avec des lunettes astronomiques du commerce, des filtres solaires qui se placent sur l'oculaire ; **ces filtres sont dangereux**, en effet, la lumière solaire traverse alors tout le système optique, ce qui concentre le rayonnement ultraviolet et peut briser le filtre par échauffement. On peut utiliser un filtre solaire vissé sur l'oculaire, uniquement s'il est associé avec un hélioscope d'Herschel. **Si vous possédez un instrument d'observation consultez votre revendeur qui pourra vous conseiller pour l'achat d'un filtre solaire adapté à votre instrument.**

Si vous ne voulez pas investir trop d'argent dans l'achat d'un filtre solaire, vous pouvez confectionner **un filtre en Mylar**. Le Mylar se présente sous la forme d'une mince feuille métallique aluminisée. Son pouvoir filtrant est très performant, il filtre parfaitement les rayonnements infrarouge et UV et diminue l'intensité lumineuse d'un facteur 1 000 000. Son seul défaut est sa fragilité, due à sa faible épaisseur. Il faut également se méfier d'un éventuel défaut de surface. Utilisez toujours des feuilles parfaitement planes (n'ayant subi aucun pli). Ces feuilles sont faciles à découper et peuvent donc être utilisées pour la création du filtre de votre choix. Vous pouvez en équiper une paire de lunettes. Ainsi, La revue *Ciel et Espace* en association avec l'ASNAV (*Association Nationale pour l'Amélioration de la Vue*) a distribué une paire de lunette munie de filtre en Mylar dans son numéro d'octobre 1996, pour l'observation de l'éclipse du 12 octobre 1996. De telles lunettes permettent d'observer les éclipses à «l'œil nu», mais, elles ne doivent pas être utilisées pour regarder à travers un instrument. De plus elles ne doivent pas être utilisées après leur date limite d'utilisation. Pour l'éclipse totale de Soleil du 11 août 1999, visible en France, les sociétés d'amateurs proposeront sûrement à leurs adhérents et au public des filtres ou des lunettes spécialement conçus pour l'observation du phénomène.

**Le filtre, quel qu'il soit, doit toujours être placé devant l'instrument et non entre l'instrument et l'observateur.**

### *Liste des filtres pouvant être utilisés pour observer une éclipse de Soleil*

- *Filtres solaires spéciaux*
- *Filtres en Mylar*

Ce filtre est constitué d'une fine feuille de plastique transparente recouverte sur les deux faces d'une très fine couche d'aluminium, dorée vers l'extérieur, argentée vers l'intérieur.

*Inconvénients :*

- le filtre est très souple et très fragile,
- la moindre rayure rend les lunettes qui les emploient inutilisables,
- l'image du Soleil présente une auréole floue,
- l'observateur voit le reflet de ses yeux sur la face argentée.

*Avantages :*

- filtre les UV et les IR,
- peu onéreux.

• Filtres polymères

Ce filtre est constitué d'une feuille de polymère teintée et traitée dans la masse.

*Inconvénient :*

- l'image du Soleil est orangée.

*Avantages :*

- filtre les UV et les IR,
- supporte les rayures, tant que la feuille n'est pas transpercée,
- l'image du Soleil présente un bord très net,
- peu de reflets sur la face interne.

• Plaques de verre d'indice maximal pour les masques de soudeur

• Plusieurs épaisseurs de négatifs noir et blanc totalement opaques, complètement développés et contenant une émulsion argentique (attention les films négatifs couleurs et certains films négatifs noir et blanc n'en contiennent pas).

Nous vous conseillons vivement les deux premiers, les autres, tenant plus du bricolage, ne sont pas sans risques.

**En cas de doute n'hésitez pas à consulter une personne compétente, c'est-à-dire un ophtalmologiste, ou observez l'éclipse par projection.**

*Liste non exhaustive des filtres À NE PAS utiliser*

- les morceaux de verre noirci à la flamme d'une bougie,
- les filtres photographiques en gélatine,
- les filtres polarisants, croisés ou non,
- les plaques rayons X exposées,

- les négatifs couleurs ou les négatifs noir et blanc ne contenant pas d'émulsion argentine,
- une ou plusieurs paires de lunettes.

### 3. L'ÉCLIPSE DU 11 AOÛT 1999

#### 3.1. Carte générale

Elle débutera au large de Terre Neuve pour se terminer dans le golfe du Bengale (cf. figure 24).

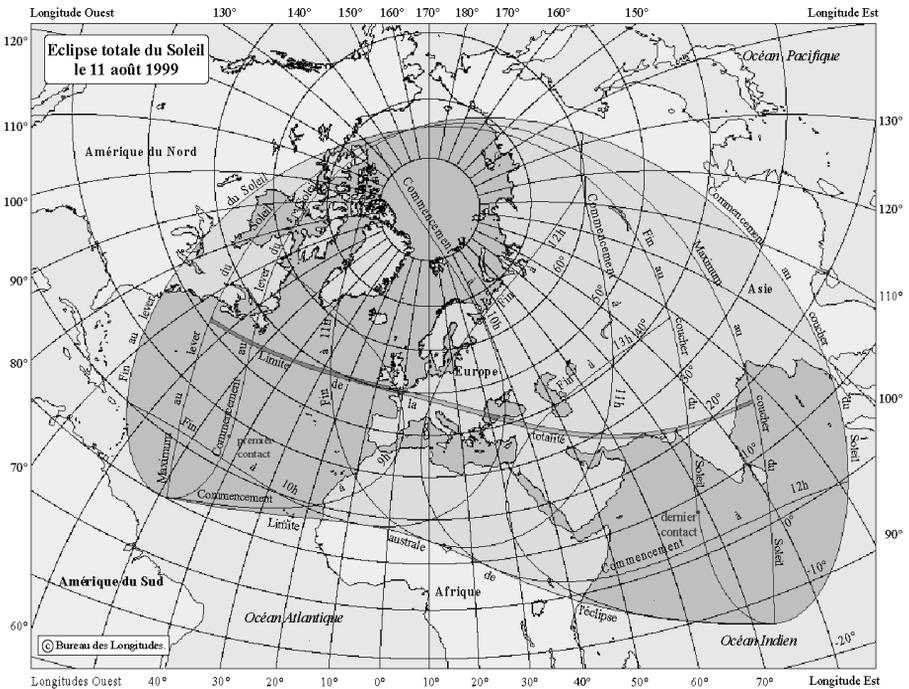


Figure 24

## 3.2. L'éclipse en France

*A l'intérieur de la bande de totalité*

Ville	Début de l'éclipse	Maximum	Fin de l'éclipse	Durée de la totalité
Cherbourg	11 h 00	12 h 17 m 01	12 h 17	1 m 38 s
Le Havre	11 h 02	12 h 19 m 32	12 h 20	1 m 37 s
Fécamps	11 h 02	12 h 20 m 02	12 h 21	2 m 11 s
Rouen	11 h 03	12 h 21 m 01	12 h 21	1 m 42 s
Dieppe	11 h 03	12 h 21 m 09	12 h 22	2 m 06 s
Beauvais	11 h 04	12 h 22 m 34	12 h 23	1 m 59 s
Amiens	11 h 04	12 h 23 m 00	12 h 23	1 m 55 s
Compiègne	11 h 05	12 h 23 m 44	12 h 24	2 m 07 s
Noyon	11 h 05	12 h 24 m 01	12 h 25	2 m 15 s
Saint-Quentin	11 h 06	12 h 24 m 31	12 h 25	1 m 46 s
Laon	11 h 06	12 h 24 m 59	12 h 26	2 m 15 s
Épernay	11 h 06	12 h 25 m 28	12 h 26	1 m 10 s
Reims	11 h 06	12 h 25 m 36	12 h 26	2 m 04 s
Vouziers	11 h 07	12 h 26 m 40	12 h 27	2 m 16 s
Charleville-Mézières	11 h 07	12 h 26 m 45	12 h 27	1 m 28 s
Thionville	11 h 09	12 h 29 m 04	12 h 30	2 m 10 s
Metz	11 h 09	12 h 29 m 04	12 h 30	2 m 17 s
Nancy	11 h 09	12 h 29 m 06	12 h 29	0 m 39 s
Saint-Avold	11 h 09	12 h 29 m 57	12 h 31	2 m 19 s
Forbach	11 h 10	12 h 30 m 14	12 h 31	2 m 17 s
Sarreguemines	11 h 10	12 h 30 m 31	12 h 31	2 m 18 s
Strasbourg	11 h 11	12 h 31 m 41	12 h 32	1 m 32 s
Haguenau	11 h 11	12 h 31 m 43	12 h 32	2 m 14 s
Lauterbourg	11 h 11	12 h 32 m 21	12 h 33	2 m 19 s

D'après les éléments de Bessel calculés par le Bureau des longitudes

Tableau 5

*A l'extérieur de la bande de totalité*

Ville	Début de l'éclipse partielle	Maximum	Fin de l'éclipse partielle	Grandeur au maximum
Ajaccio	11 h 10	12 h 34 m 50	14 h 01	0.81 $\sigma$
Angers	10 h 59	12 h 17 m 49	13 h 40	0.94 $\sigma$
Bastia	11 h 12	12 h 36 m 03	14 h 02	0.84 $\sigma$
Besançon	11 h 07	12 h 28 m 48	13 h 52	0.95 $\sigma$
Bordeaux	10 h 58	12 h 16 m 58	13 h 41	0.86 $\sigma$
Brest	10 h 56	12 h 12 m 11	13 h 33	0.96 $\sigma$
Caen	11 h 01	12 h 19 m 14	13 h 41	0.99 $\sigma$
Clermont-Ferrand	11 h 03	12 h 23 m 35	13 h 47	0.90 $\sigma$
Dijon	11 h 06	12 h 27 m 06	13 h 50	0.95 $\sigma$
Grenoble	11 h 06	12 h 28 m 22	13 h 53	0.89 $\sigma$
Le Mans	11 h 00	12 h 19 m 12	13 h 41	0.96 $\sigma$
Lille	11 h 06	12 h 24 m 21	13 h 45	0.98 $\sigma$
Limoges	11 h 00	12 h 20 m 25	13 h 44	0.90 $\sigma$
Lyon	11 h 05	12 h 26 m 42	13 h 51	0.91 $\sigma$
Marseille	11 h 05	12 h 27 m 47	13 h 53	0.84 $\sigma$
Montpellier	11 h 03	12 h 24 m 54	13 h 50	0.84 $\sigma$
Mulhouse	11 h 10	12 h 31 m 03	13 h 54	0.97 $\sigma$
Nantes	10 h 58	12 h 16 m 09	13 h 38	0.93 $\sigma$
Nice	11 h 08	12 h 31 m 30	13 h 57	0.86 $\sigma$
Nîmes	11 h 04	12 h 25 m 49	13 h 51	0.85 $\sigma$
Orléans	11 h 02	12 h 21 m 56	13 h 44	0.96 $\sigma$
Paris	11 h 04	12 h 22 m 50	13 h 45	0.99 $\sigma$
Perpignan	11 h 01	12 h 22 m 59	13 h 48	0.81 $\sigma$
Rennes	10 h 58	12 h 16 m 18	13 h 38	0.96 $\sigma$
Saint-Étienne	11 h 04	12 h 26 m 04	13 h 50	0.90 $\sigma$
Toulouse	11 h 00	12 h 20 m 19	13 h 45	0.83 $\sigma$
Tours	11 h 01	12 h 19 m 50	13 h 42	0.84 $\sigma$

D'après les éléments de Bessel calculés par le Bureau des longitudes.

**Tableau 6**

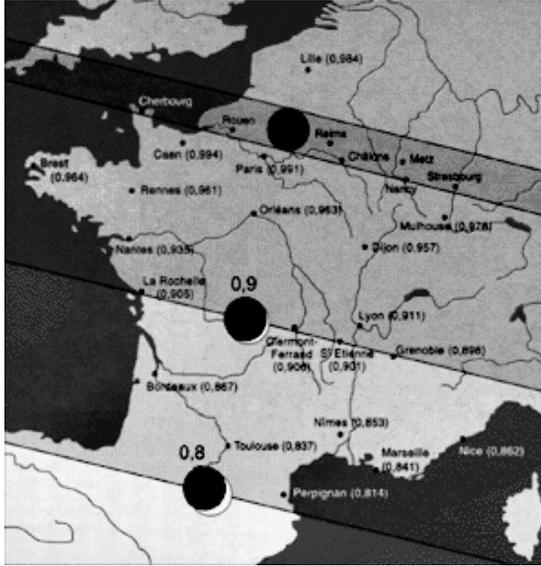


Figure 25

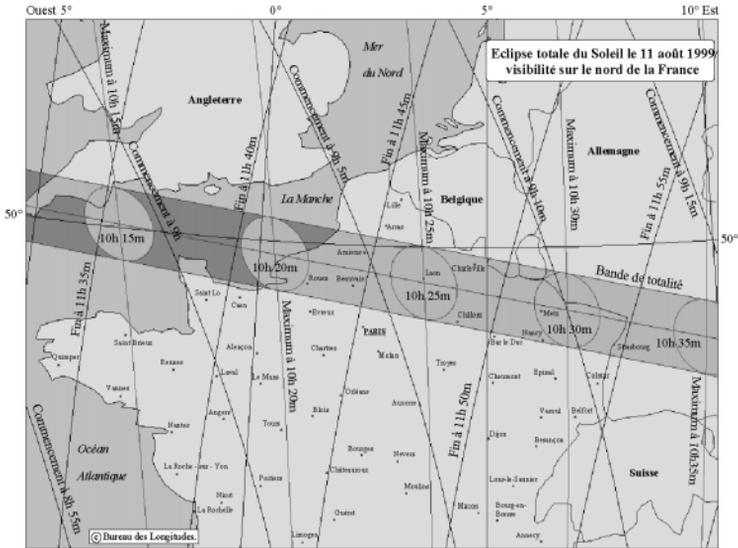


Figure 26

### 3.3. Dans notre région

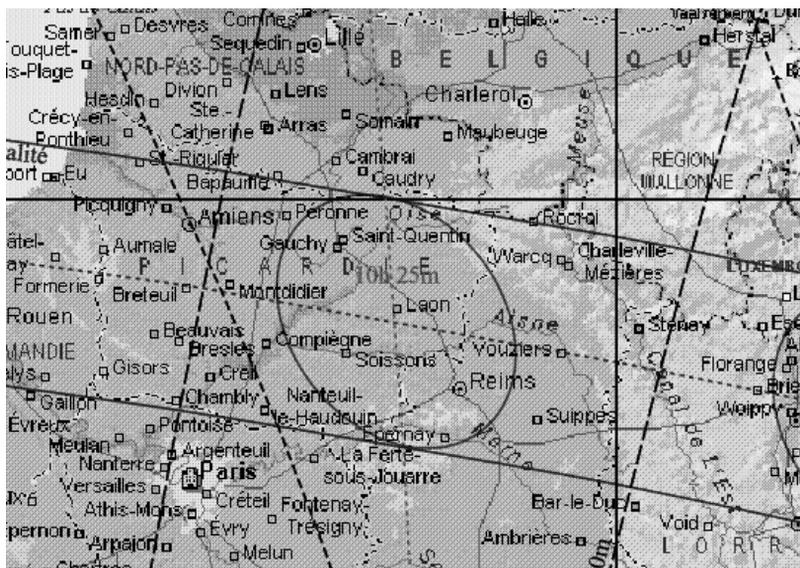


Figure 27

Dans notre région, la bande de totalité passera entre Châlons-en-Champagne et Charleville-Mézières. La ligne centrale sera située sur Laon et Vouziers.

### *Reims*

longitude :  $-4,033^\circ$  latitude :  $49,250^\circ$

	<b>P (<math>^\circ</math>)</b> angle au pôle	<b>Z (<math>^\circ</math>)</b> angle au zénith	<b>h (<math>^\circ</math>)</b> hauteur du Soleil
Premier contact extérieur : 9h 6m 33s	- 76.20	- 40.85	42.70
Premier contact intérieur : 10h 24m 34s	- 50.73	- 28.27	51.95
Maximum éclipse totale ! : 10h 25m 37s	14.89	37.12	52.05
Dernier contact intérieur : 10h 26m 39s	80.58	102.58	52.14
Dernier contact extérieur : 11h 47m 56s	106.00	106.34	56.07
Coefficient de l'éclipse : 1.008366			
Hauteur du Soleil au max. : 52.05 $^\circ$			
Durée de la phase totale : 0h 2m 5s			

Tableau 7

*Châlons-en-Champagne*longitude :  $-4.367^\circ$  latitude :  $48.950^\circ$ 

	<b>P (<math>^\circ</math>)</b> <b>angle au pôle</b>	<b>Z (<math>^\circ</math>)</b> <b>angle au zénith</b>	<b>h (<math>^\circ</math>)</b> <b>hauteur du Soleil</b>
Premier contact extérieur : 9h 6m 46s	- 75.71	- 40.19	43.07
Premier contact intérieur : 10h 25m 41s	- 6.87	15.32	52.42
Maximum éclipse totale ! : 10h 26m 07s	14.98	37.07	52.46
Dernier contact intérieur : 10h 26m 32s	36.92	58.91	52.50
Dernier contact extérieur : 11h 48m 41s	105.68	105.41	56.37
Coefficient de l'éclipse : 1.001029			
Hauteur du Soleil au max. : $52.46^\circ$			
Durée de la phase totale : 0h 0m 51s			

Tableau 8

*Charleville-Mézières*longitude :  $-4.717^\circ$  latitude :  $49.767^\circ$ 

	<b>P (<math>^\circ</math>)</b> <b>angle au pôle</b>	<b>Z (<math>^\circ</math>)</b> <b>angle au zénith</b>	<b>h (<math>^\circ</math>)</b> <b>hauteur du Soleil</b>
Premier contact extérieur : 9h 7m 48s	-77.03	-42.74	42.97
Premier contact intérieur : 10h 26m 02s	-124.89	-103.82	51.90
Maximum éclipse totale ! : 10h 26m 46s	-165.01	-144.10	51.96
Dernier contact intérieur : 10h 27m 30s	154.90	175.64	52.02
Dernier contact extérieur : 11h 48m 45s	107.01	106.33	55.55
Coefficient de l'éclipse : 1.003348			
Hauteur du Soleil au max. : $51.96^\circ$			
Durée de la phase totale : 0h 1m 28s			

Tableau 9

*Epernay*longitude :  $-3.950^\circ$  latitude :  $49.050^\circ$ 

	<b>P (<math>^\circ</math>)</b> <b>angle au pôle</b>	<b>Z (<math>^\circ</math>)</b> <b>angle au zénith</b>	<b>h (<math>^\circ</math>)</b> <b>hauteur du Soleil</b>
Premier contact extérieur : 9h 6m 18s	- 75.88	- 40.23	42.72
Premier contact intérieur : 10h 24m 48s	- 19.30	3.36	52.11
Maximum éclipse totale ! : 10h 25m 27s	14.89	37.41	52.17
Dernier contact intérieur : 10h 26m 6s	49.17	71.54	52.23
Dernier contact extérieur : 11h 47m 55s	105.67	106.13	56.27
Coefficient de l'éclipse : 1.002468			
Hauteur du Soleil au max. : $52.17^\circ$			
Durée de la phase totale : 0h 1m 17s			

Tableau 10

*Rethel*longitude :  $-4.37^\circ$  latitude :  $49.52^\circ$ 

	<b>P (<math>^\circ</math>)</b> <b>angle au pôle</b>	<b>Z (<math>^\circ</math>)</b> <b>angle au zénith</b>	<b>h (<math>^\circ</math>)</b> <b>hauteur du Soleil</b>
Premier contact extérieur : 9h 7m 10s	- 76.63	- 41.82	42.83
Premier contact intérieur : 10h 25m 04s	- 86.45	- 64.65	51.90
Maximum éclipse totale ! : 10h 26m 11s	- 165.06	- 143.50	51.99
Dernier contact intérieur : 10h 27m 18s	116.38	137.69	52.09
Dernier contact extérieur : 11h 48m 20s	106.52	106.35	55.80
Coefficient de l'éclipse : 1.011422			
Hauteur du Soleil au max. : $51.99^\circ$			
Durée de la phase totale : 0h 2m 14s			

Tableau 11

*Vouziers*longitude :  $-4.7^\circ$  latitude :  $49.4^\circ$ 

	<b>P (<math>^\circ</math>)</b> <b>angle au pôle</b>	<b>Z (<math>^\circ</math>)</b> <b>angle au zénith</b>	<b>h (<math>^\circ</math>)</b> <b>hauteur du Soleil</b>
Premier contact extérieur : 9h 7m 30s	- 76.44	- 41.69	43.12
Premier contact intérieur : 10h 25m 33s	- 77.14	- 55.62	52.16
Maximum éclipse totale ! : 10h 26m 42s	- 164.98	- 143.72	52.26
Dernier contact intérieur : 10h 27m 50s	107.22	128.22	52.36
Dernier contact extérieur : 11h 48m 58s	106.47	105.73	55.91
Coefficient de l'éclipse : 1.013721			
Hauteur du Soleil au max. : $52.26^\circ$			
Durée de la phase totale : 0h 2m 17s			

Tableau 10

## 3.4. Le ciel au moment de l'éclipse (cf. figures 28 et 29)

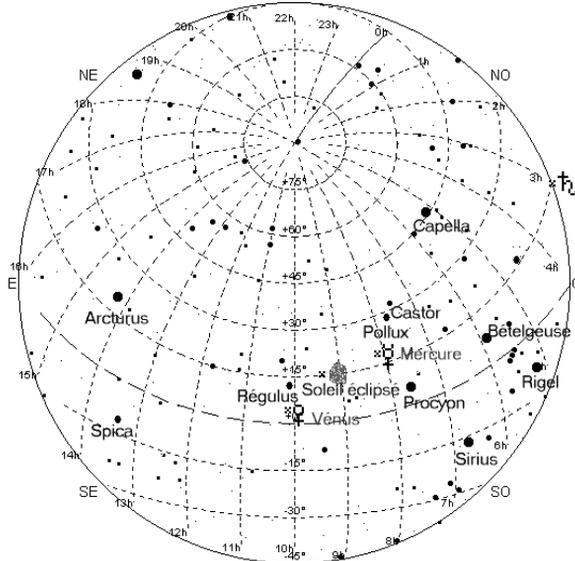


Figure 28

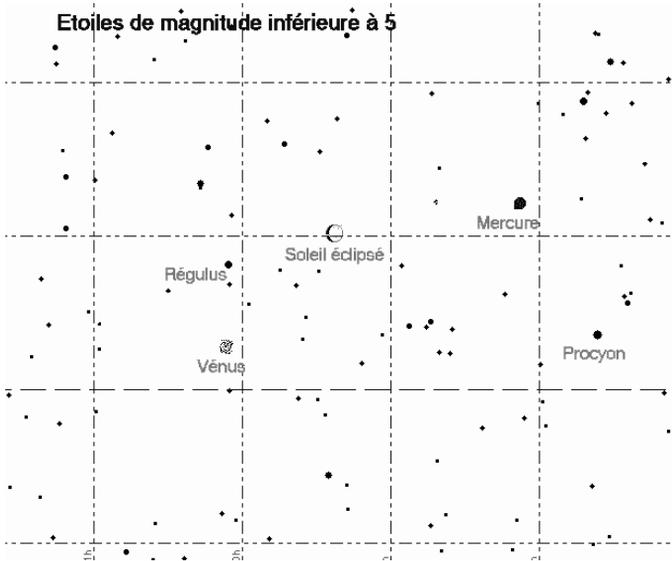


Figure 29

3.5. Glossaire iconographique du vocabulaire employé (cf. figures 30 à 37)

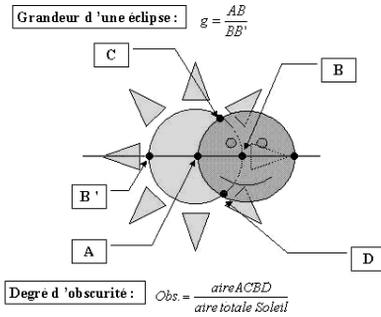


Figure 30

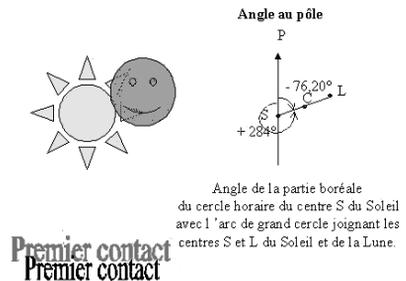


Figure 31

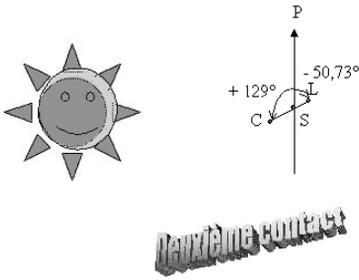
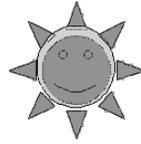


Figure 32



Maximum

Figure 33

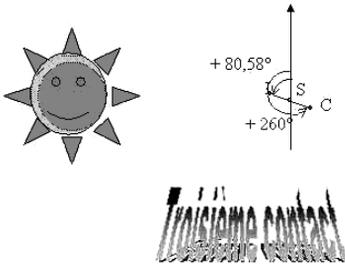


Figure 34

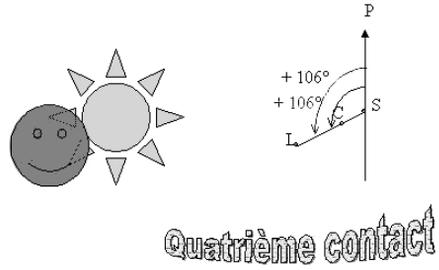


Figure 35

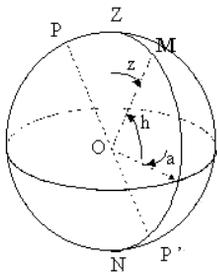


Figure 36

Coordonnées horizontales :

Z : zénith  
P : Pôle céleste nord

**a = azimut**  
compté en degrés, dans le sens rétrograde, de 0° à 360°

**h = hauteur**  
compté en degrés de -90° à +90°

**z = distance zénithale**  
compté en degrés de 0° à 180°

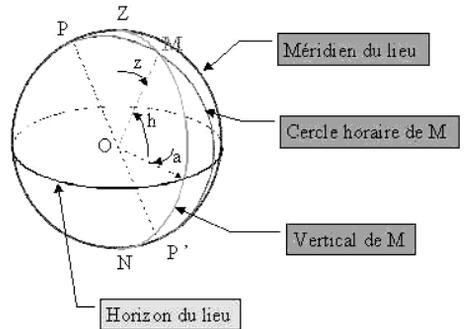


Figure 37

#### 4. LE SCÉNARIO DE L'ÉCLIPSE

##### 4.1. La première phase

###### *Le premier contact*

Une toute petite fraction de la Lune vient masquer le Soleil.

###### *La moitié du Soleil est masquée*

La baisse de luminosité commence à se manifester, les ombres apparaissent plus contrastées, les ombres portées par les feuillages sur le sol ont la forme de petits croisants (projections du Soleil éclipsé) ; si vous êtes au bord de l'eau, les reflets du Soleil deviennent plus étincelants. La température commence à baisser et le bleu ciel apparaît plus intense. Les animaux sont perturbés.

###### *Une à deux minutes avant la totalité*

Phénomène des ombres volantes : il pourra être observé sur des surfaces claires, un mur par exemple. Ce sont des inhomogénéités d'éclairement, dues à la turbulence de l'atmosphère proche, lorsqu'elle est traversée par la lumière d'une source de dimensions assez faibles.

###### *Les grains de Bailly*

Une quarantaine de secondes avant la totalité la lumière est interrompue par les hauts cratères lunaires mais passe dans les vallées, le bord de la Lune ressemble à un collier de diamants. L'observation des grains de Bailly nécessite un instrument grossissant de dix à quarante fois, qui filtré sera dé-filtré au moment opportun.

###### *Arrivée de l'ombre*

De vingt à dix secondes avant la totalité un mur d'obscurité se déplaçant d'Ouest en Est à une vitesse supersonique est observable à l'horizon ; vu d'un promontoire le spectacle est saisissant.

###### *La chromosphère*

Elle apparaît de cinq à trois secondes avant le deuxième contact.

##### 4.2. La totalité

La Lune masque complètement le Soleil, l'observation sans filtre est désormais possible pendant deux minutes à Reims.

### ***La chromosphère***

Elle est observable jusqu'au troisième contact avec un instrument grossissant de dix à cinquante fois.

### ***Les protubérances***

Observables avec des instruments grossissants de cinquante à cent fois.

### ***La couronne solaire***

Elle est maintenant visible à l'œil nu.

### ***Étoiles et planètes***

On pourra observer les étoiles jusqu'à la troisième magnitude et essayer de découvrir les planètes Mercure et Vénus.

#### **4.3. La dernière phase**

Attention il est impératif de se re-protéger la vue quelques secondes avant le troisième contact.

### **Troisième contact**

Nous sommes sous le charme, la lumière nous envahit, mais les observations et mesures se poursuivent.

#### **4.4. Quatrième contact**

C'est terminé !

## **5. L'INTÉRÊT DES ÉCLIPSES**

Pourquoi les astronomes courent-ils le monde pour observer les éclipses de Soleil ?

### **5.1. L'observation de la couronne solaire**

L'étude du Soleil, notre étoile, nous permet de mieux comprendre le fonctionnement des milliards d'étoiles qui nous entourent, les relations Soleil Terre sont en prise directe sur notre existence, deux raisons qui à elles seules justifient l'intérêt des astronomes pour le Soleil.

Lors d'une éclipse totale du Soleil la couronne solaire, l'environnement immédiat de notre étoile, qui est le siège de conditions physiques impossibles à reproduire sur Terre, est accessible aux observations et expérimentations.

## 5.2. Mesures diverses

La détermination de la durée de la totalité à 0,01 s près permet le calcul du diamètre du Soleil avec une précision de 4 km sur 1 391 000 km, on peut ainsi vérifier d'hypothétiques variations du diamètre de notre étoile (il est alors nécessaire de prendre en compte la position de l'observateur par rapport à la ligne de centralité et de tenir compte de la forme du disque lunaire).

En plaçant des observateurs de part et d'autre de la ligne de centralité on a pu déterminer avec précision la forme de la Lune en mesurant les intervalles de temps entre le deuxième et le troisième contact.

La mesure des instants des quatre contacts permet d'améliorer les éléments de calculs de position et par là même les éphémérides.

## 5.3. Le Soleil utilisé comme lentille gravitationnelle : la relativité

### *Technique*

#### • Expérience n° 1

Au cours d'une éclipse totale de Soleil on photographie le ciel en s'efforçant d'obtenir sur la plaque les images des étoiles situées aussi près que possible du bord solaire.

#### • Expérience n° 2

Six mois après, une nouvelle photographie du même champ stellaire est prise la nuit avec le même instrument.

#### • Résultat

En comparant les deux plaques, il est possible de mesurer le déplacement apparent des images stellaires par le passage des rayons lumineux au voisinage du Soleil.

La déviation décroît comme l'inverse de la distance au centre du Soleil, et au bord même vaut 1,745".

• *Historique*

La première observation : 1919 Brésil Royal Astronomical Society éclipse du 29 mai 1919.

Autres observations : 1922, 1936, 1947, 1952.

Elles confirment l'existence du déplacement et sont d'un ordre de grandeur comparable à celui que prédit la théorie de la relativité générale : entre 1,6'' et 2,7'' au bord solaire.

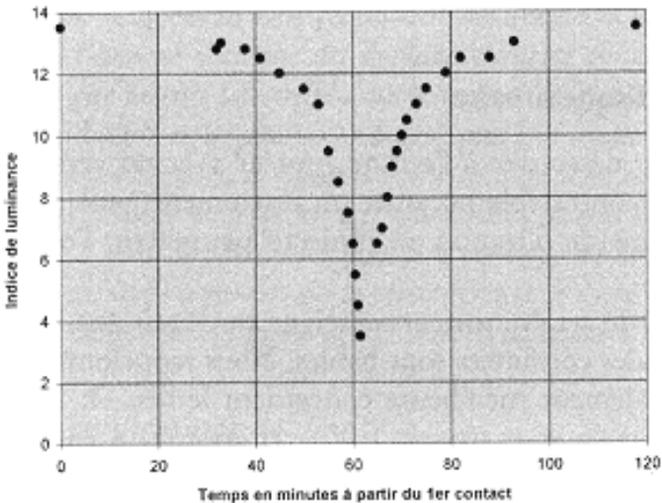
## 6. LES MANIPULATIONS POSSIBLES

### 6.1. Étude de la variation de la luminosité au cours de l'éclipse

#### *Matériel*

- un compteur de temps,
- un luxmètre (celui utilisé en photographie par exemple),
- un carnet de notes.

#### *Exemple de résultat*



**Figure 38** : Éclipse du 3 novembre 1994  
(Éclipses totales GUILLERMIER - KOUTCHMY).

## 6.2. Étude de la variation de la température au cours de l'éclipse

La température sera mesurée à l'ombre, à un mètre d'un sol recouvert d'herbe et reportée sur un graphique en fonction du temps ; la succession des mesures sera adaptée aux circonstances.

### Matériel

- un compteur de temps,
- un thermomètre (sans inertie si possible),
- un carnet de notes.

Merci de bien vouloir faire parvenir vos résultats à l'adresse ci-dessous :

planetica@wanadoo.fr

## 7. LES ÉCLIPSES ET L'HISTOIRE

### 7.1. Les éclipses vues par Jérôme LALANDE, directeur de l'Observatoire, et Inspecteur du Collège de France, en 1795, dans «Astronomie des Dames»

#### *Des Éclipses*

*Le calcul des Éclipses est la chose qui étonne le plus dans les recherches des Astronomes ; mais c'est parce que le spectacle en est plus frappant pour le Public ; car la difficulté n'est pas plus grande que celle des autres parties de l'Astronomie. Les éclipses totales de Soleil sont sur-tout remarquables ; on passe dans un instant du jour le plus éclatant à une obscurité plus grande que celle de la nuit ordinaire, du moins plus sensible et plus frappante ; les chevaux sont obligés de s'arrêter dans le milieu du chemin, ne sachant où mettre le pié ; la rosée commence à tomber, par l'interruption subite de la chaleur ; les oiseaux même retombent vers la terre par l'effroi que leur cause une si triste obscurité. Il n'y a eu depuis longtems, à Paris, d'autre éclipse totale que celle du 22 mai 1724, et il n'y en aura point dans le reste du siècle, ni même dans tout le siècle suivant, comme je m'en suis assuré pour satisfaire la curiosité de Louis XV, qui désiroit beaucoup de le savoir. Il y aura seulement une éclipse annulaire en 1847 comme en 1748 et 1764, dans lesquelles le Soleil déborde la Lune tout autour et forme un anneau de lumière.*

*La trace de l'orbite de la Lune dans le Ciel est différente de cinq degrés de celle du Soleil, c'est-à-dire de l'écliptique ; mais elle la coupe en deux points que l'on appelle les nœuds ; la Lune passe tous les quinze jours dans un de ces nœuds, et si le Soleil se trouve dans le même endroit, la Lune nous le cache ; ce qui fait l'éclipse de Soleil ; ou bien si elle est à l'opposite du soleil, elle est cachée par la terre, ce qui fait une éclipse de Lune.*

*Ainsi il doit y avoir éclipse au moins deux fois l'année, dans les nouvelles Lunes ou dans les pleines Lunes, qui arrivent quand le Soleil se trouve vers un des deux points du Ciel où sont les nœuds ; mais ces éclipses ne sont pas toujours visibles pour nous, parce que la Lune ne peut cacher le Soleil qu'à une petite partie de la terre. En 1786 nous n'avions aucune éclipse à Paris.*

*Il peut arriver six ou sept éclipses dans la même année, pour différens pays de la terre, parce qu'il n'est pas nécessaire que le Soleil réponde précisément aux nœuds de la Lune pour qu'il y ait éclipse ; la largeur de ces deux astres suffit pour qu'ils paroissent se toucher, sans qu'ils répondent précisément au même point du Ciel ; et la largeur de la terre fait que la Lune peut cacher à un pays le bord du Soleil, quoiqu'elle soit éloignée de plusieurs degrés du nœud ou de l'intersection des deux orbites.*

*Les éclipses reviennent à peu près dans le même ordre au bout de dix-huit ans et dix jours ; cette remarque importante et curieuse, qui avoit été faite plus de 600 ans avant l'ère vulgaire, servit peut-être à Thalès pour prédire aux Ioniens une éclipse totale de Soleil qui arriva pendant la guerre des Lydiens et des Mèdes ; les uns rapportent cette éclipse à l'an 585 ; d'autres à l'année 621 avant l'ère vulgaire. Au reste, ce qu'Hérodote dit de cette prédiction est si vague, qu'il est encore douteux qu'elle ait jamais été faite réellement.*

## 7.2. Les éclipses centrales en France métropolitaine

Vu la faible surface traversée par la bande de centralité, les éclipses visibles sur un territoire ayant la superficie de la France sont peu nombreuses et si on se limite à une ville où une région, elles deviennent exceptionnelles. Le tableau 12 donne la liste des éclipses dont la bande de centralité traverse la France, il porte sur toutes les éclipses centrales allant du début du XVI<sup>e</sup> siècle jusqu'à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle.

Date	Type d'éclipses	Remarques
24 janvier 1544	Totale*	visible dans le sud-est de la France
12 octobre 1605	Totale	visible dans le sud-ouest de la France
10 juin 1630	Totale*	la fin de l'éclipse est visible de l'ouest au sud-est de la France
27 janvier 1683	Annulaire	la fin de l'éclipse est visible à l'ouest et au centre de la France
12 mai 1706	Totale	visible dans le sud-est de la France
22 mai 1724	Totale	visible du nord-ouest au nord-est de la France visible à Paris
1 <sup>er</sup> avril 1764	Annulaire	visible dans le nord de la France visible à Paris
7 septembre 1820	Annulaire	visible dans le nord-est de la France invisible à Paris
8 juillet 1842	Totale	visible dans le sud-est de la France
9 octobre 1847	Annulaire	visible du nord-ouest au centre-est de la France
17 avril 1912	Mixte	visible de l'ouest au nord-est de la France visible au nord de Paris (éclipse perlée)
15 février 1961	Totale	visible dans le sud de la France
11 août 1999	Totale	visible dans le nord de la France d'ouest en est
5 novembre 2059	Annulaire	visible dans le sud-ouest de la France
3 septembre 2081	Totale	visible dans le centre de la France
27 février 2082	Annulaire	visible dans le sud de la France
23 septembre 2090	Totale	fin de l'éclipse visible dans le nord-ouest de la France
* Ces deux éclipses sont données comme mixtes dans le canon de Meeus et comme totales dans le canon d'Oppolzer.		

**Tableau 12**

## 8. PHOTOGRAPHER L'ÉCLIPSE

Pas de recette miracle, comme c'est souvent le cas en astro-photo, on aura intérêt à multiplier les prises de vues en faisant varier à chaque fois un paramètre.

Malgré tout, on peut envisager quelques situations.

### 8.1. Le matériel

Si vous disposez d'un appareil automatique et d'un appareil manuel, préférez lui ce dernier. Dans le cas de l'utilisation d'un appareil automatique désactivez si possible l'automatisme.

Le choix de l'objectif sera fait en fonction du résultat souhaité en ayant toujours à l'esprit que plus la focale augmente plus le champ est réduit et plus le temps de pose maximum admissible diminue. Les appareils munis de focales courtes permettront d'obtenir des clichés de l'ambiance, ceux munis de focales longues permettront d'obtenir des clichés détaillés du phénomène.

Par ailleurs il pourra être très intéressant de photographier l'éclipse en chapelet, c'est-à-dire de prendre une série d'images sur la même vue sans déplacer l'appareil.

Les appareils seront dans tous les cas fixés sur des trépieds stables et si possible munis de déclencheurs souples (le bougé sera ainsi réduit au maximum). Malgré tout, au-delà d'un certain temps de pose, pour une optique donnée, le cliché sera bougé du fait de la rotation terrestre. Le temps de pose (exprimé en s) à ne pas dépasser est donné par la relation :

$$T_{\max} = 500/f$$

où  $f$  est la focale exprimée en mm.

Les clichés à haute résolution obtenus, en couleur, pendant la totalité avec des focales longues (dépassant 1000 mm) peuvent être utiles à la communauté scientifique, surtout ceux obtenus en séquences (ils peuvent faire ressortir des variations sur de petites structures). Ces clichés pourront être adressés à l'institut d'astrophysique de Paris par l'intermédiaire de PlanétiCA :

PlanétiCA  
1, place Museux - 51100 REIMS

## 8.2. Le temps de pose

Les temps de pose à appliquer sont très variables selon les éclipses, qui devront si le ciel est très pur être photographiées à travers un filtre solaire ou un filtre de densité neutre. Si l'absorption atmosphérique est suffisante, les photographies pourront être prises sans filtres.

Il y aura intérêt à utiliser une cellule, qui pourra être spot directement sur le Soleil ou matricielle si les conditions Soleil - Fond de ciel sont convenables.

Une bonne dose d'expérience, ou de chance sera un facteur de réussite.

On trouvera ci-dessous (tableau 13) quelques valeurs approximatives :

Sensibilité ISO	Phase partielle	Totalité protubérances	Totalité Couronne interne	Totalité Couronne externe
25	f/5,6 1/125 s Filtre densité 5	f/4 1/125 s Sans filtre	f/4 1/15 s Sans filtre	f/4 1/2 s Sans filtre
50	f/8 1/125 s Filtre densité 5	f/5,6 1/125 s Sans filtre	f/5,6 1/15 s Sans filtre	f/5,6 1/2 s Sans filtre
100	f/11 1/125 s Filtre densité 5	f/8 1/125 s Sans filtre	f/8 1/15 s Sans filtre	f/8 1/2 s Sans filtre
200	f/16 1/125 s Filtre densité 5	f/11 1/125 s Sans filtre	f/11 1/15 s Sans filtre	f/11 1/2 s Sans filtre
400	f/16 1/250 s Filtre densité 5	f/16 1/125 s Sans filtre	f/16 1/15 s Sans filtre	f/16 1/2 s Sans filtre

**Tableau 13**

On retiendra par ailleurs que le diamètre du disque solaire sur un film 24 mm × 36 mm est d'environ 1 mm pour une distance focale de 100 mm et qu'il lui est proportionnel. Si le paysage environnant ne constitue pas un sujet intéressant en soi, l'utilisation d'un téléobjectif d'au moins 300 mm de distance focale sera un bon choix.

## 8.3. Éclipse en Chapelet

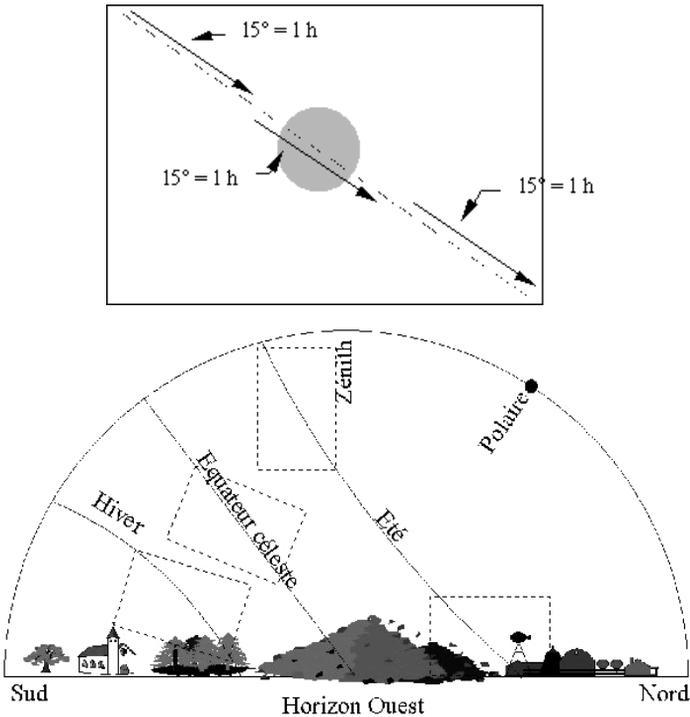
Installez votre appareil sur un pied stable ou à défaut sur un pilier, une table..., orientez-le pour que le champ du viseur couvre la zone du ciel dans laquelle le Soleil ou la Lune doit se «déplacer» durant l'éclipse.

En effet, du fait du mouvement diurne (dû à la rotation de la Terre), le Soleil ou la Lune se déplace d'un angle égal à son diamètre en deux minutes, soit environ de  $15^\circ$  en une heure. Donc si l'on déclenche l'appareil toutes les cinq minutes, sans faire avancer le film, on obtiendra une succession d'images en chapelet.

Dans le cas de l'utilisation d'un appareil  $24 \times 36$  le déplacement angulaire, en diagonale, est de :

- $45^\circ$  avec une optique de 50 mm de focale soit une durée de trois heures,
- $8^\circ$  avec un téléobjectif de 300 mm soit une durée de vingt minutes.

Pour la région de Reims et en général pour l'hémisphère Nord, la figure 39 vous aidera à cadrer et à orienter convenablement votre appareil suivant que l'éclipse a lieu le matin, le midi ou le soir, compte tenu de l'époque de l'année.



**Figure 39** : Été correspond à la trajectoire du Soleil en été.  
Équateur céleste correspond à la trajectoire du Soleil en mars et septembre.  
Hiver correspond à la trajectoire du Soleil en hiver.

**POUR EN SAVOIR PLUS SUR L'ÉCLIPSE*****Sites Internet***

- Association PlanétiCA - 1, place Museux - 51100 REIMS  
[assoc.wanadoo.fr/planetica/](http://assoc.wanadoo.fr/planetica/)
- Rectorat de l'Académie de Reims  
[www.ac-reims.fr/datice/res\\_peda/lyccol/sc\\_phy/](http://www.ac-reims.fr/datice/res_peda/lyccol/sc_phy/)
- Institut d'astrophysique de Paris  
[www.iap.fr](http://www.iap.fr)
- Société Astronomique de France  
[www.iap.fr/saf](http://www.iap.fr/saf)
- Bureau des Longitudes  
[www.bdl.fr](http://www.bdl.fr)

***Ouvrage***

Pierre GUILLERMIER et Serge KOUTCHMY : «*Éclipses totales*» - Masson.

***Adresse utile***

Planétarium - 1, place Museux - 51110 REIMS