

Quelques éléments concernant les éclipses

Résumé de Michel Willemin

Les types d'éclipses solaires

Une condition *sine qua non* pour qu'il y ait éclipse de Soleil est que l'astre du jour, la Lune et la Terre soient alignés dans cet ordre sur une même ligne. Comme le plan d'orbite de la Lune autour de la Terre et le plan d'orbite de la Terre autour du Soleil (écliptique) ne sont pas confondus, les éclipses sont plutôt rares. Si ces trois corps célestes ne sont pas parfaitement alignés, peut alors se présenter une éclipse partielle de Soleil. Ce phénomène est relativement courant et peu spectaculaire. Si la proportion de Soleil masqué est inférieure aux $\frac{3}{4}$, un observateur non averti ne remarquera rien d'anormal. Pour qu'il y ait, au contraire, éclipse totale, l'alignement parfait ou presque des 3 corps est requis. Cependant, une condition supplémentaire est nécessaire : la Lune ne doit pas être trop éloignée de la Terre, sans quoi son diamètre apparent sera trop petit pour masquer la totalité du disque solaire. On parlera, dans un tel cas, d'éclipse annulaire. Le Soleil apparaît sous la forme d'une couronne très brillante dans le ciel (Fig. 1). Au contraire d'une éclipse de Lune, une éclipse de Soleil est un phénomène local. Seuls les observateurs placés dans le cône d'ombre peuvent admirer l'éclipse. Pour une éclipse de Lune totale, notre satellite est plongé entièrement dans le cône d'ombre de la Terre et le phénomène est alors visible depuis l'hémisphère terrestre plongé dans la nuit. En somme, cette explication est l'origine de l'apparente rareté des éclipses de Soleil. Cependant, en

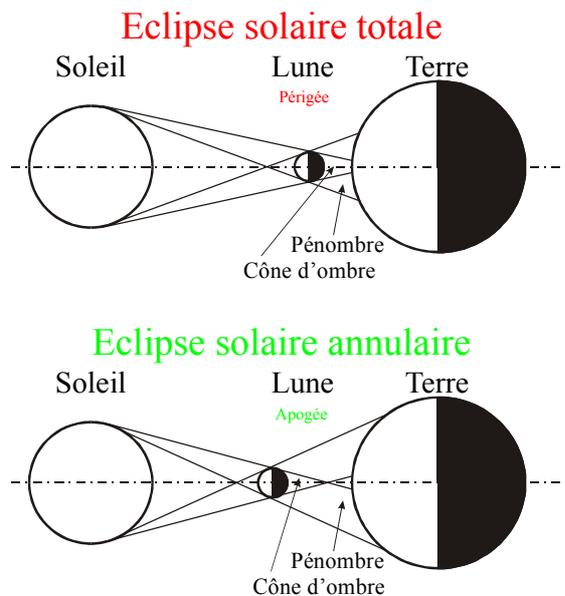


Fig. 1. Plus la Lune est proche du périgée, plus l'ombre projetée sur la Terre sera grande et l'éclipse totale sera d'autant plus longue. Lorsque la Lune est proche de l'apogée, une éclipse totale est impossible, car le cône d'ombre se refermera avant d'atteindre la Terre.



Fig. 2. Cône d'ombre généré par le satellite Io, projeté sur Jupiter. Un cas d'éclipse solaire totale sur Jupiter !

moyenne, il se produit autant d'éclipse de Soleil que de Lune, à savoir 43 en 18 ans et 11 jours.

Dans le système solaire, la Terre et la Lune ne sont pas les seuls corps à jouir du phénomène des éclipses. Les planètes géantes comme Jupiter et Saturne disposant d'un nombre élevé de satellites naturels jouent avec les occultations quotidiennement. Par exemple, le satellite galiléen Io, doté d'une grande activité tectonique passe fréquemment devant la planète gazeuse géante (Fig. 2).

Une éclipse solaire totale se déroule en plusieurs phases définies par les contacts (Fig. 3). Lorsque la Lune commence à « mordre » le disque solaire définit le premier contact. La phase partielle entrante débute. Lorsque la Lune commence à couvrir l'ensemble du Soleil, on parle de second contact. La phase d'éclipse totale débute et dure jusqu'au troisième contact, moment précis où les rayons du Soleil réapparaissent. La phase partielle sortante se poursuit alors jusqu'au quatrième contact, lorsque la Lune termine de masquer l'astre du jour.

Périodicité des éclipses

Les éclipses solaires et lunaires se reproduisent approximativement périodiquement. Cette période, sous-entendue déjà précédemment, longue d'un peu plus de 18 ans, fut déjà découverte par les Babyloniens bien avant le début de notre ère.

Le plan d'orbite de la Lune est incliné d'environ 5° par rapport au plan de l'écliptique (Fig. 4). L'intervalle de temps entre deux aspects identiques de la Lune est de

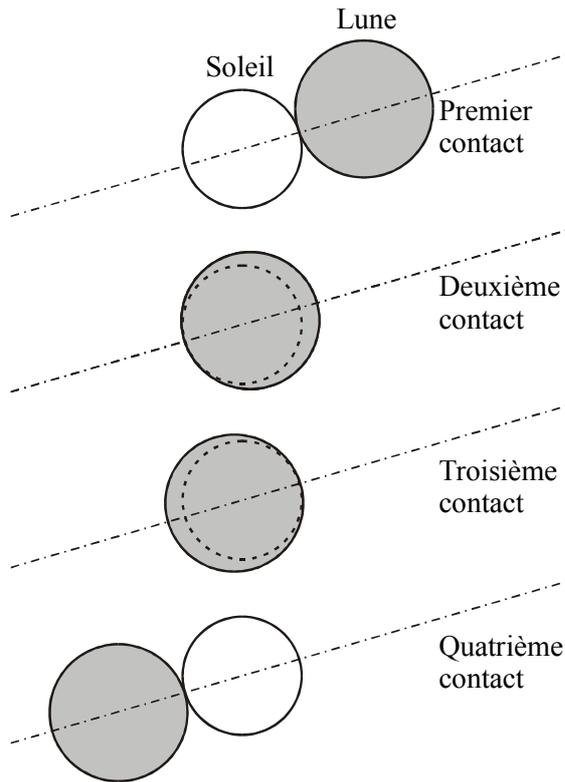


Fig. 3. Déroulement d'une éclipse solaire totale. Le diamètre apparent de la Lune doit impérativement être supérieur à celui du Soleil.

29.5306 jours. C'est ce qu'on appelle conventionnellement mois lunaire ou période synodique. Il s'agit par exemple de l'intervalle entre deux « pleine Lune » ou deux « nouvelle Lune ».

Pour la recherche de cette période des éclipses, il faut considérer également le mouvement de la Terre autour du Soleil (Fig. 5). L'année lunaire, c'est-à-dire l'intervalle de temps entre deux passages d'un nœud donné (N ou N') en direction du Soleil est de 346.62 jours, est relativement proche de l'année « habituelle » ou période sidérale de 365.25 jours. Le croquis de la Figure 5 n'est pas rigoureusement exact, car il assume une année lunaire égale à une période sidérale de 365.25 jours. Cela revient à omettre que l'orbite lunaire est dotée d'une légère précession. Bien qu'elle ne soit pas reportée sur la Figure 5 pour des raisons d'encombrement, le raisonnement suivant en sera nullement affecté. Il ne peut donc y avoir éclipse que lorsque notre satellite se trouve dans les positions N ou N', appelées communément nœuds. Cela se produit que deux fois par année lunaire, donc également environ deux fois par période sidérale.

L'existence d'un tel cycle requiert deux conditions. Premièrement, il doit contenir un nombre entier de mois lunaires (la Lune doit être exactement dans la même phase). Deuxièmement, la position relative de l'orbite lunaire par rapport au Soleil doit être identique, donc cet

éventuel cycle doit contenir un nombre entier d'années lunaires. Le problème à résoudre est donc extrêmement simple. Si le mois lunaire (29.5306 jours) et l'année lunaire (346.62 jours) étaient entiers, il suffirait d'en trouver le plus petit multiple commun. Dans le cas échéant, le rapport $346.62/29.5306 \approx 11.737 \approx 223/19$ s'approxime par un nombre rationnel. Finalement, on s'aperçoit que 19 années lunaires sont équivalentes à 6585.78 jours et 223 mois lunaires à 6585.32 jours. L'écart n'est que de 11 heures entre les deux. Donc, après 6585 jours ou **18 ans et 11 jours**, tout ou presque se reproduit au niveau des éclipses. Certes, une éclipse de Soleil ayant eu lieu en Europe ne se reproduira pas généralement pas au même endroit. En raison de l'écart de 11 heures, elle se produira par exemple en Amérique. Ce cycle des éclipses est connu sous le nom de Saros (mot grec et précédemment assyrien-babylonien). Comme en témoigne la Table 1, le cycle du Saros se vérifie à merveilles.

Intérêt et durée des éclipses

Une éclipse de Soleil est malheureusement toujours très éphémère, soit de l'ordre de quelques minutes. Il est vraisemblable que si le phénomène pouvait se prolonger durant des heures, l'intérêt porté aux éclipses solaires serait certainement moindre. Contrairement aux éclipses lunaires qui se prolongent généralement sur plus d'une heure, elles représentent un intérêt scientifique nettement supérieur. En effet, l'ensemble de la couronne

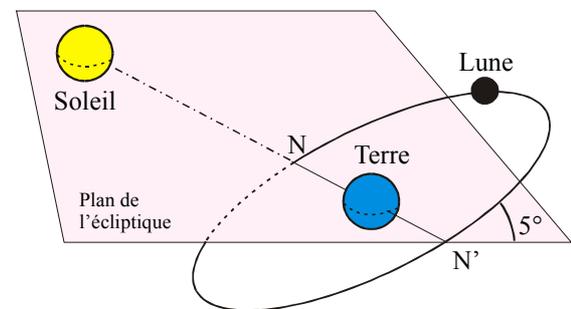


Fig. 4. Le plan-orbite de la Lune est hors du plan de l'écliptique.

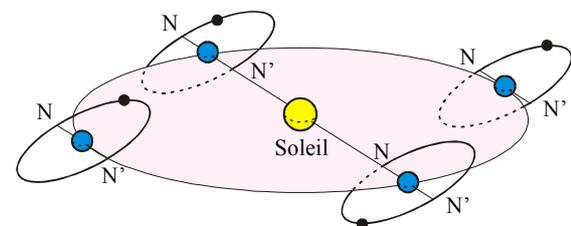


Fig. 5. L'orbite de la Terre autour du Soleil : plan de l'écliptique. Il y a seulement deux périodes de l'année lunaire où les lignes nodales NN' de la Lune sont alignées avec le Soleil. A ces positions, des éclipses peuvent apparaître !

Date	Durée (min)	Site
1994, 3 novembre	4.6	Chili, Brésil
1995, 24 octobre	2.4	Iran, Inde, Vietnam
1997, 9 mars	2.8	NE Asie
1998, 26 février	4.4	Amérique centrale
1999, 11 août	2.6	Europe, Inde
2001, 21 juin	4.9	Afrique du sud
2002, 4 décembre	2.1	Afr. du sud, Australie
2003, 23 novembre	2.0	Antarctique
2005, 8 avril	0.7	Pacifique sud
2006, 29 mars	4.1	Afrique, Ex-URSS
2008, 1 août	2.4	Sibérie, Chine
2009, 22 juillet	6.6	Inde, Chine, Pac. sud
2010, 11 juillet	5.3	Pacifique sud
2012, 13 novembre	4.0	Australie, Pac. sud
2013, 3 novembre	1.7	Afrique
2015, 20 mars	2.8	Atlantique nord, Arct.
2016, 9 mars	4.2	SE Asie, Pacifique
2017, 21 août	2.7	USA
2019, 2 juillet	4.5	Pacif., Amér. du sud
2020, 14 décembre	2.1	Pacif., Amér. du sud
2021, 4 décembre	1.9	Antarctique
2023, 20 avril	1.3	Océans pacif. et indien
2024, 8 avril	4.5	Mexique, USA

Table 1. Liste d'éclipses totales de Soleil du 1994 à 2025.

solaire n'est visible que lors d'une éclipse. Il existe, certes, des moyens, tels le coronographe de Lyot, de produire des éclipses artificiellement à l'aide d'instruments sophistiqués. Cependant, en raison de la diffusion de la lumière par notre atmosphère toujours chargée en vapeur d'eau et en poussières, même le meilleur instrument, placé en altitude, ne permet d'observer que les protubérances et la basse couronne, qui est la partie toute proche du Soleil. L'étude de la couronne donne d'importantes informations sur le magnétisme solaire qui fait, actuellement encore, l'objet de recherches scientifiques. La couronne, générée par l'expulsion de particules hautement ionisées du Soleil, reflète également le profil de champ magnétique solaire qui modifie la trajectoire de particules chargées. La Figure 2 du document « *La dernière éclipse solaire totale du millénaire* », présentant la couronne lors de l'éclipse du 11 août 1999, reflète les irrégularités dues aux distorsions du champ magnétique. Plus le Soleil présente une forte activité, plus la symétrie des lignes de champ en est affectée.

Mais, quelles sont les éclipses les plus intéressantes ? La réponse est étonnamment claire et succincte. Ce sont les éclipses ayant lieu proche des régions équatoriales et, évidemment aux endroits où la météo est sûre. Le second facteur est trivial et le premier est lié au fait que la Terre tourne sur elle-même. En considérant les dimensions de la Lune et du Soleil ainsi que la géométrie des orbites terrestre et lunaire, on trouve un diamètre d'ombre de la Lune projetée sur Terre de 270 km au maximum. Comme la distance Terre-Soleil, la vitesse de l'ombre s'approche par la différence entre la vitesse orbitale lunaire (3700 km/h) et la vitesse circonférentielle à un point de la Terre (Fig. 6). Par chance, la révolution de la

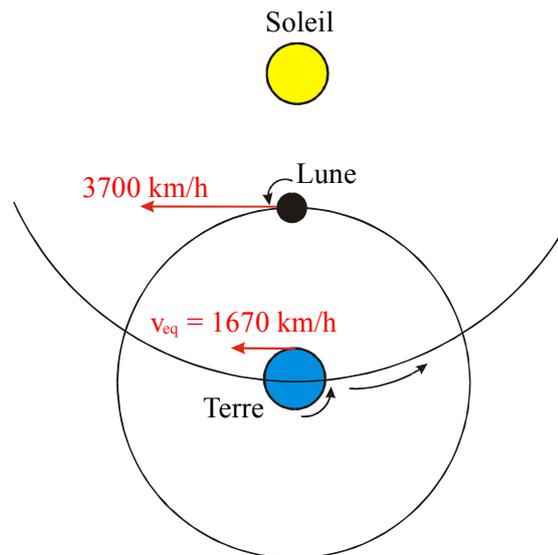


Fig. 6. Géométrie simplifiée permettant un calcul facile de la durée maximale des éclipses de Soleil.

Lune autour de la Terre et la rotation de la Terre sur elle-même s'effectuent toutes deux dans un sens identique. Grâce à la rotation de la Terre, on évite un balayage trop rapide du cône d'ombre lunaire. Pour les observateurs proches de l'équateur, la situation est la plus favorable, car la vitesse circonférentielle y est maximale, à savoir environ 1670 km/h. La vitesse minimale de l'ombre lunaire est de $3700 - 1670 \approx 2030$ km/h = 34 km/min. En considérant le diamètre maximal de l'ombre, on conclut à une durée maximale de 8 minutes pour une éclipse totale de Soleil. En faisant un calcul plus rigoureux, la durée maximale est de 7.5 minutes.

Lors de l'éclipse du 11 août 1999, des vols en « Concorde » étaient proposés pour suivre encore plus efficacement l'ombre lunaire. Vu la surface et la qualité optique des hublots d'avions supersoniques, quelques doutes sont émis sur la qualité d'observation. De surcroît, il faut également considérer que le nombre de hublots disponibles et dirigés vers le Soleil est nettement inférieur au nombre de passagers, ce qui ne doit pas manquer de créer quelques frictions...

Bibliographie

- *Astronomy, The Cosmic Journey*
W. K. Hartmann and C. Impey, ITP Wadsworth
- *Observer l'éclipse pour tous*
P. Martinez et Ph. Morel, Association Astronomie ADAGIO
- Revue *ORION* N° 295, 6, 1999
- *Sonnenfinsternis*

W. Raffetseder, Heinrich Hugendubel Verlag,
München 1999

- *Données et définitions fondamentales d'astronomie*
E. Lindemann, Commission romande de physique,
1984
- Internet

Janvier 2000