

L'éclipse annulaire de Soleil du 14 octobre 2023.

P. ROCHER, © INSTITUT DE MECANIQUE CELESTE ET DE CALCUL DES EPHEMERIDES – OBSERVATOIRE DE PARIS

Cette éclipse est la dix-septième éclipse annulaire de Soleil du XXI^e siècle et la seconde éclipse de l'année 2023.

Lieux d'observation

Cette éclipse est visible sur les deux hémisphères, mais uniquement sur le continent américain. Elle débute dans le nord-est de l'océan Pacifique, puis traverse le continent américain du nord-ouest au sud-est. Aux USA, la bande de centralité traverse successivement les états de l'Oregon, de la Californie, de l'Idaho, du Nevada, de l'Utah, du Colorado, de l'Arizona, du nouveau Mexique et de Texas. Puis elle traverse la presqu'île du Yucatan, Belize, le Honduras, le Nicaragua et le Panama. En Amérique du Sud, elle traverse la Colombie et le Brésil et elle se termine dans l'océan Atlantique dans la zone intertropicale sud.

Magnitude 0,9764			
	Instant en UTC	Longitude	Latitude
Commencement de l'éclipse générale	15h 3,8min	132° 9,5' O	41° 19,7' N
Commencement de l'éclipse annulaire	16h 10,2min	146° 29,7' O	48° 56,5' N
Commencement de l'éclipse centrale	16h 12,4min	146° 55,1' O	49° 20,6' N
Éclipse centrale à midi vrai	17h 36,6min	87° 39,5' O	16° 58,2' N
Maximum de l'éclipse	17h 59,5min	83° 6,4' O	11° 21,9' N
Fin de l'éclipse centrale	19h 46,8min	29° 22,9' O	5° 41,3' S
Fin de l'éclipse annulaire	19h 49,0min	29° 52,4' O	6° 5,3' S
Fin de l'éclipse générale	20h 55,3min	45° 16,7' O	13° 48,2' S

Durée de l'éclipse générale : 5h 51,5min.

Durée de la phase de centralité : 3h 34,4min.

Le maximum de cette éclipse a lieu quatre jours après le passage de la Lune à son apogée, le diamètre apparent de la Lune (30' 10,71") est donc bien inférieur à celui du Soleil (32' 4,06"). Il a lieu peu de temps (4,21 min) après l'instant de la nouvelle lune et avant le passage de la Lune par son nœud descendant. L'éclipse a également lieu peu de temps après le passage de la Lune dans le plan de l'équateur terrestre (déclinaison nulle) ce qui explique la proportion importante de la visibilité dans l'hémisphère nord. Durant l'éclipse, la Lune se trouve dans la constellation de la Vierge.

Voici la suite des événements relatifs à la Lune sur cette courte période de temps.

- le 10/10/2023 à 03h 41m 33s UTC : La Lune à l'apogée, distance à la Terre : 405 425,482 km, diamètre apparent : 29,55', longitude moyenne : 145,89°.
- le 12/10/2023 à 10h 20m 57s UTC : la Lune entre dans la constellation de la Vierge.
- le 13/10/2023 à 08h 54m 03s UTC : la Lune a une déclinaison nulle et décroissante, ascension droite = 12h 18,7m.
- le 14/10/2023 à 17h 55m 09s UTC : Nouvelle lune.
- le 14/10/2023 à 17h 59m 31s UTC : Maximum de l'éclipse.
- le 15/10/2023 à 01h 11m 08s UTC : la Lune passe par le nœud descendant de son orbite, longitude moyenne : 204° 52,6'.

Cartes générales de l'éclipse

Sur la carte ci-dessous, les traits bleus en pointillés correspondent aux lieux de début et fin de l'éclipse générale toutes les heures, les traits verts correspondent aux lieux d'égale magnitude.

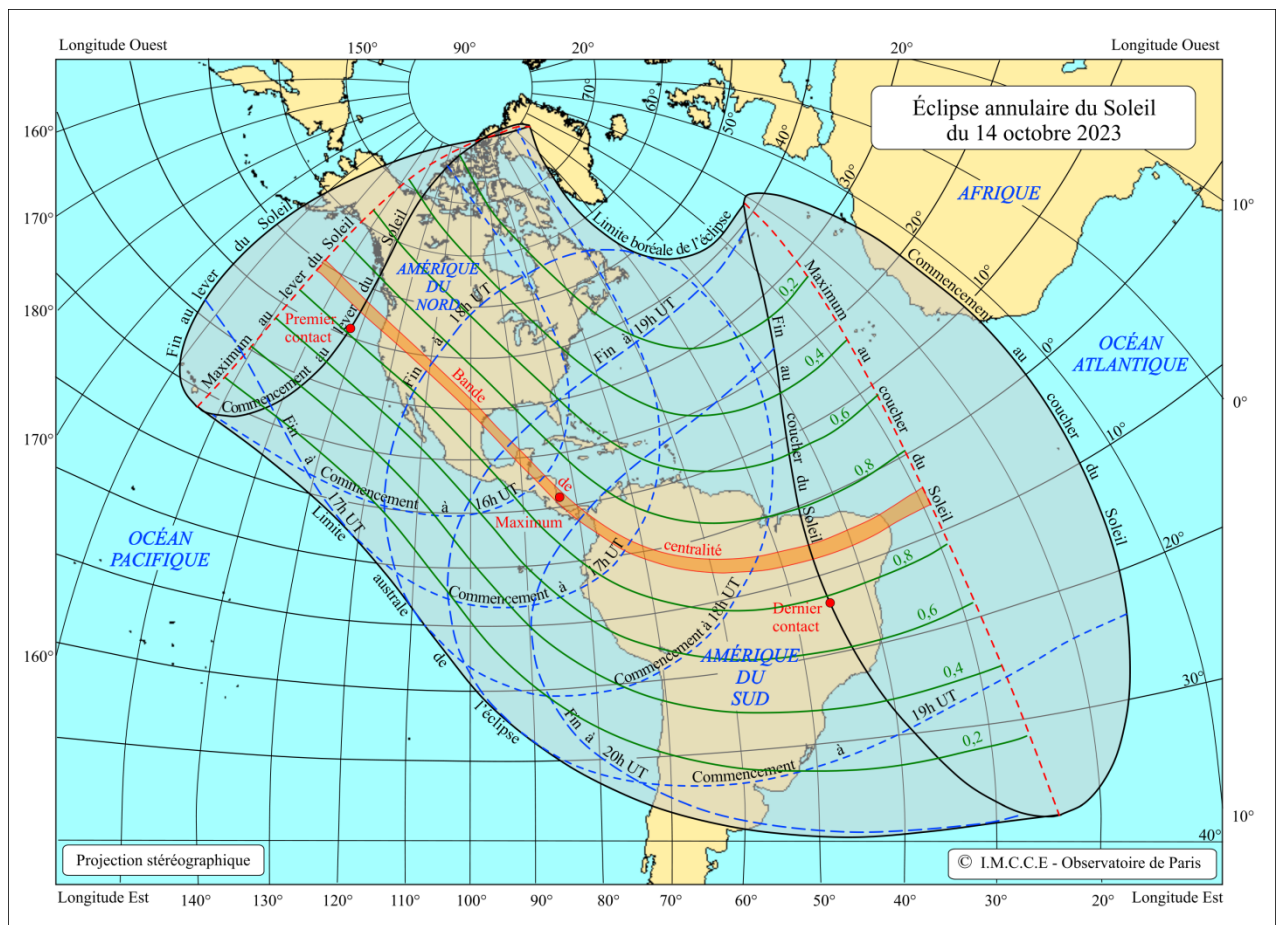


Figure 1 : Carte générale de l'éclipse © P. Rocher

Aspect particulier des courbes limites de cette éclipse

Si l'on agrandit l'image de la partie Nord-ouest de l'éclipse, on constate la présence d'un nœud sur les courbes de début et de fin de l'éclipse. Ce nœud introduit un début, une fin et un maximum au coucher du Soleil. Il est dû à la proximité de la limite de la nuit polaire arctique de l'hémisphère nord (à environ 82° de latitude nord). Alors que ce type de nœud est classique pour toutes les éclipses ne possédant qu'une limite australe ou boréale, il est assez rare dans le cas d'une éclipse possédant les deux limites australe et boréale, cela ne s'est produit que six fois depuis le début du siècle. La première éclipse de l'année 2023, l'éclipse hybride du 20 avril, était du même type, mais proche de la région polaire antarctique.

Profil lunaire pour le maximum de l'éclipse

La figure ci-dessous donne l'aspect du profil réel de la Lune, vu depuis le lieu où l'éclipse est maximum. Les reliefs du profil ont été multipliés par un facteur 70. On donne sur cette image les points des contacts intérieurs de l'éclipse, c'est-à-dire le début de la phase annulaire et la fin de la phase annulaire. Ce profil a été calculé à l'aide de l'altimétrie lunaire issue des données de la sonde japonaise Kaguya, il tient compte de la libration topocentrique de la Lune. Les écarts des instants de contact avec les valeurs moyennes obtenues avec un limbe lunaire sphérique moyen peuvent atteindre plusieurs secondes. Les précisions sur les instants des contacts sont de l'ordre du dixième de seconde. Par contre, ils sont plus complexes à obtenir, car il faut construire un profil pour chaque lieu d'observation.

Éclipse annulaire du Soleil du 14 octobre 2023

Limbe lunaire topocentrique issu de l'altimétrie Kaguya au maximum de l'éclipse

Résultats tenant compte du profil lunaire

Maximum : 17h 59m 30,44s, longitude : 83° 6,4' est, latitude : 11° 21,9' nord

Caractéristiques du profil utilisé :

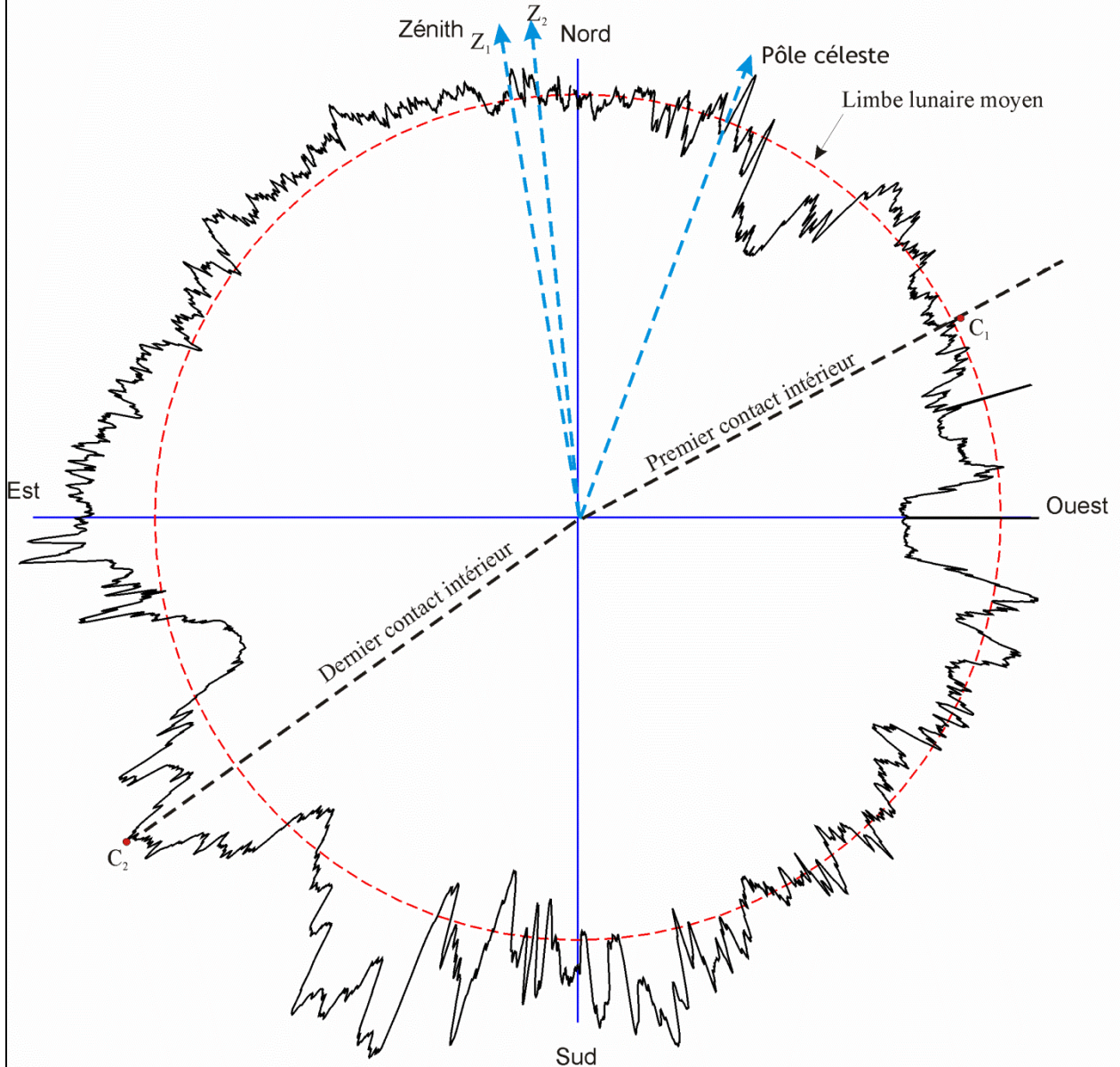
Libration topocentrique de la Lune en longitude : - 3° 50' 48,150"

Libration topocentrique de la Lune en latitude : + 0°6' 32,509"

Angle du terminateur : + 89° 44' 43,699"

Nombre de points du profil utilisé : 5743

Rayon moyen de la Lune du profil : 1737,400km



Premier contact intérieur C₁

Instant : 17h 56m 53,99s UTC.

Angle au pôle : 317° 45' 16,24".

Angle au zénith : 291° 34' 16,21".

Angle à l'astre : 26° 11' 0,03".

Hauteur Lune : 68° 11' 10,59".

Azimut Lune : 26° 27' 3,14".

Rayon lunaire : 15' 16,32".

Rayon solaire : 16' 2,07".

Durée de la phase totale : 5m 5,71s.

Dernier contact intérieur C₂

Instant : 18h 1m 59,70s UTC.

Angle au pôle : 148° 18' 47,12".

Angle au zénith : 117° 15' 27,17".

Angle à l'astre : 29° 3' 20,01".

Hauteur Lune : 67° 35' 29,27".

Azimut Lune : 29° 21' 22,74".

Rayon lunaire : 15' 16,28".

Rayon solaire : 16' 2,07".

Figure 2 : Profil lunaire au maximum de l'éclipse. (Z1 et Z2 donnent la direction du zénith pour les deux contacts)

Série longue de Saros

Le Saros est une période de récurrence des éclipses égale à $223 \times L$ lunaisons moyennes de 6585,321314 jours. Cette période est proche de $242 \times D$ révolutions draconitiques¹ moyennes égales à 6585,357436 jours, la différence $242 \times D - 223 \times L$ est de 0,03612 jour, soit 52 minutes.

Elle est également proche de $239 \times A$ révolutions anomalistiques² moyennes de 6585,537419 jours, la différence $239 \times A - 223 \times L$ est de 0,21610 jours, au bout d'un Saros, la nouvelle lune se retrouve donc en moyenne à $2,8^\circ$ en amont sur sa position orbitale précédente. La proximité numérique de ces trois périodes fait que l'on retrouve après chaque période d'un Saros des conditions très voisines et que l'évolution des éclipses après chaque Saros est relativement lente, ce qui permet de construire des séries longues d'éclipses homologues séparées par un Saros.

Cette éclipse appartient à une série longue de Saros comportant 71 éclipses successives, ce qui en fait une série proche de la moyenne, la valeur moyenne d'une série étant de l'ordre de 72 éclipses. Cette série commence avec l'éclipse partielle du 22 juin 1248 (les dates antérieures à 1582 sont données dans le calendrier julien) et elle se termine par l'éclipse partielle du 5 et 6 août 2510. Elle se compose de dix éclipses partielles, suivies de neuf éclipses totales, puis de quinze éclipses hybrides et de trente éclipses annulaires. Puis la série longue se termine avec sept éclipses partielles. Cette série est riche en éclipses centrales 76%, la valeur moyenne étant de 66%.

L'éclipse du 14 octobre 2023 est la 44^e éclipse de la série. L'éclipse annuaire qui a la plus longue phase centrale est l'éclipse n°52 du 10 janvier 2168. On remarque également que l'éclipse la plus longue n'est pas l'éclipse de plus faible magnitude qui est celle du 01-02 février 2204 (n° 54).

Toutes les éclipses de la série ont lieu au nœud descendant de la Lune, donc les éclipses successives de la série vont parcourir la surface du globe terrestre du sud au nord. L'éclipse du 14 octobre 2023 est dans la seconde moitié de la série, elle passe donc principalement sur l'hémisphère nord du globe terrestre.

¹ La révolution draconitique est la période qui sépare deux passages consécutifs de la Lune à l'un de ses nœuds.

² La révolution anomalistique est la période qui sépare deux passages consécutifs de la Lune à son périhélie ou à son apogée.

Liste des éclipses du Saros

N° Type	Date	Magnitude	Durée	N° Type	Date	Magnitude	Durée
1 P	22/06/1248	0.0221467		37 A	29/07/1897	0.9953773	0m59.91s
2 P	04/07/1266	0.1577405		38 A	10-11/08/1915	0.9930452	1m27.92s
3 P	14/07/1284	0.2914244		39 A	21/08/1933	0.9904570	1m58.48s
4 P	25/07/1302	0.4178479		40 A	01/09/1951	0.9877656	2m30.61s
5 P	04-05/08/1320	0.5375592		41 A	11/09/1969	0.9849162	3m06.07s
6 P	16/08/1338	0.6483552		42 A	23/09/1987	0.9820745	3m43.99s
7 P	26/08/1356	0.7478887		43 A	03/10/2005	0.9791830	4m26.29s
8 P	06-07/09/1374	0.8347277		44 A	14/10/2023	0.9764046	5m11.81s
9 P	17/09/1392	0.9094819		45 A	24-25/10/2041	0.9737120	6m01.51s
10 P	28/09/1410	0.9720311		46 A	05/11/2059	0.9712098	6m53.87s
11 T	08-09/10/1428	1.0144941	1m32.66s	47 A	15/11/2077	0.9689102	7m47.94s
12 T	20/10/1446	1.0133323	1m27.68s	48 A	26-27/11/2095	0.9668868	8m40.57s
13 T	30/10/1464	1.0116756	1m17.28s	49 A	08/12/2113	0.9651554	9m28.58s
14 T	11/11/1482	1.0098820	1m05.46s	50 A	19/12/2131	0.9637336	10m08.01s
15 T	21/11/1500	1.0082020	0m54.36s	51 A	29-30/12/2149	0.9626354	10m35.31s
16 T	02/12/1518	1.0066253	0m43.99s	52 A	10/01/2168	0.9618709	10m48.03s
17 T	13/12/1536	1.0053031	0m35.45s	53 A	20/01/2186	0.9614138	10m46.42s
18 T	24/12/1554	1.0041715	0m28.17s	54 A	01-02/02/2204	0.9612707	10m31.71s
19 T	03-04/01/1573	1.0033193	0m22.81s	55 A	12/02/2222	0.9613828	10m07.39s
20 A-T	25/01/1591	1.0027535	0m19.40s	56 A	23/02/2240	0.9617695	9m34.94s
21 A-T	04/02/1609	1.0024531	0m17.92s	57 A	05-06/03/2258	0.9623098	8m58.42s
22 A-T	15-16/02/1627	1.0024131	0m18.42s	58 A	16/03/2276	0.9630441	8m18.11s
23 A-T	26/02/1645	1.0025623	0m20.66s	59 A	27/03/2294	0.9638346	7m37.20s
24 A-T	09/03/1663	1.0028870	0m24.78s	60 A	07-08/04/2312	0.9646843	6m55.11s
25 A-T	19-20/03/1681	1.0032617	0m30.00s	61 A	19/04/2330	0.9654588	6m14.86s
26 A-T	31/03/1699	1.0036755	0m36.37s	62 A	29/04/2348	0.9661226	5m35.82s
27 A-T	11/04/1717	1.0040346	0m43.02s	63 A	10/05/2366	0.9665269	4m59.93s
28 A-T	22-23/04/1735	1.0042755	0m48.99s	64 A	21/05/2384	0.9662279	4m25.21s
29 A-T	03/05/1753	1.0043533	0m53.31s	65 P	01/06/2402	0.8838391	
30 A-T	14/05/1771	1.0042110	0m54.57s	66 P	11/06/2420	0.7473114	
31 A-T	24-25/05/1789	1.0038353	0m51.91s	67 P	22-23/06/2438	0.6071356	
32 A-T	06/06/1807	1.0031646	0m44.01s	68 P	03/07/2456	0.4623314	
33 A-T	16/06/1825	1.0022088	0m31.02s	69 P	14/07/2474	0.3184161	
34 A-T	27/06/1843	1.0009492	0m13.24s	70 P	24/07/2492	0.1756820	
35 A	07-08/07/1861	0.9993721	0m08.59s	71 P	05- 6/08/2510	0.0362394	
36 A	19/07/1879	0.9975191	0m33.07s				

Ce tableau donne les éclipses de la série longue de Saros contenant l'éclipse du 14 octobre 2023.

Pour les types d'éclipse :

- P : désigne les éclipses partielles,
- A : désigne les éclipses annulaires centrales,
- (A) : désigne les éclipses annulaires non centrales
- A-T : désigne les éclipses mixtes (annulaires-totales),
- T : désigne les éclipses totales centrales.
- (T) : désigne les éclipses totales non centrales.
- La durée indiquée est celle de la phase centrale pour le lieu où l'éclipse est maximale.

On remarque que cette série comporte plusieurs types d'éclipses centrales : des éclipses annulaires, des éclipses hybrides et des éclipses totales.

Explications

En raison des mouvements orbitaux de la Terre et de la Lune, les distances Terre-Lune et Soleil-Terre ne sont pas constantes, les diamètres apparents de la Lune et du Soleil sont donc variables. Le diamètre apparent de la Lune est maximal lorsque la Lune est proche de la Terre donc à son

périgée, et il est minimal lorsque la Lune est loin de la Terre donc à son apogée. De même, le diamètre apparent du Soleil est maximal lorsqu'il est proche de la Terre donc lorsque le Soleil apparent est à son périhélie ou la Terre est à son périhélie (actuellement vers le 4 janvier) et le diamètre apparent du Soleil est minimal lorsque le Soleil est loin de la Terre, donc lorsque le Soleil apparent est à l'apogée ou la Terre à l'aphélie (actuellement vers le 4 juillet).

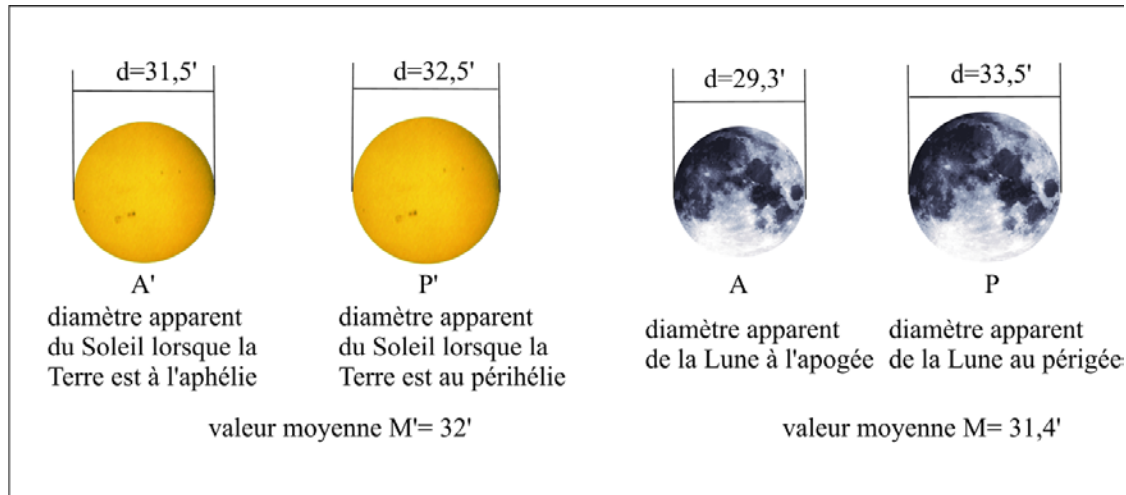


Figure 3 : Valeurs extrêmes et moyennes des diamètres apparents du Soleil et de la Lune.

Comme on le constate sur la figure, le diamètre apparent moyen de la Lune est plus petit que le diamètre apparent moyen du Soleil, on peut donc s'attendre à avoir en moyenne plus d'éclipses annulaires que d'éclipses totales.

Nous pouvons calculer les valeurs extrêmes des diamètres apparents de la Lune et du Soleil vus depuis la Terre. De plus, nous pouvons déterminer approximativement la portion de l'orbite lunaire sur laquelle le diamètre apparent de la Lune est toujours plus grand que le plus grand diamètre apparent du Soleil (32,5'), c'est l'arc d'orbite LJ sur la figure suivante. Sur cette portion d'orbite lunaire, les éclipses centrales sont toujours totales, quelle que soit la position de la Terre sur son orbite. Nous pouvons également déterminer la portion de l'orbite lunaire sur laquelle la Lune a un diamètre apparent toujours plus petit que le plus petit diamètre apparent du Soleil (31,5'), c'est l'arc d'orbite IK sur la figure. Sur cette portion d'orbite les éclipses centrales sont toujours annulaires quelle que soit la position de la Terre sur son orbite. Sur les portions d'orbites IJ et KL le diamètre apparent de la Lune varie entre 31,5' et 32,5' (valeurs extrêmes du diamètre apparent du Soleil) le type de l'éclipse centrale est alors déterminé par le diamètre apparent du Soleil donc par la position de la Terre sur son orbite. C'est sur ces portions de l'orbite de la Lune que l'on peut trouver des éclipses hybrides, marquant la transition entre éclipses annulaires et éclipses totales sur l'arc KL ou marquant la transition entre éclipses totales et éclipses annulaires sur l'arc JI.

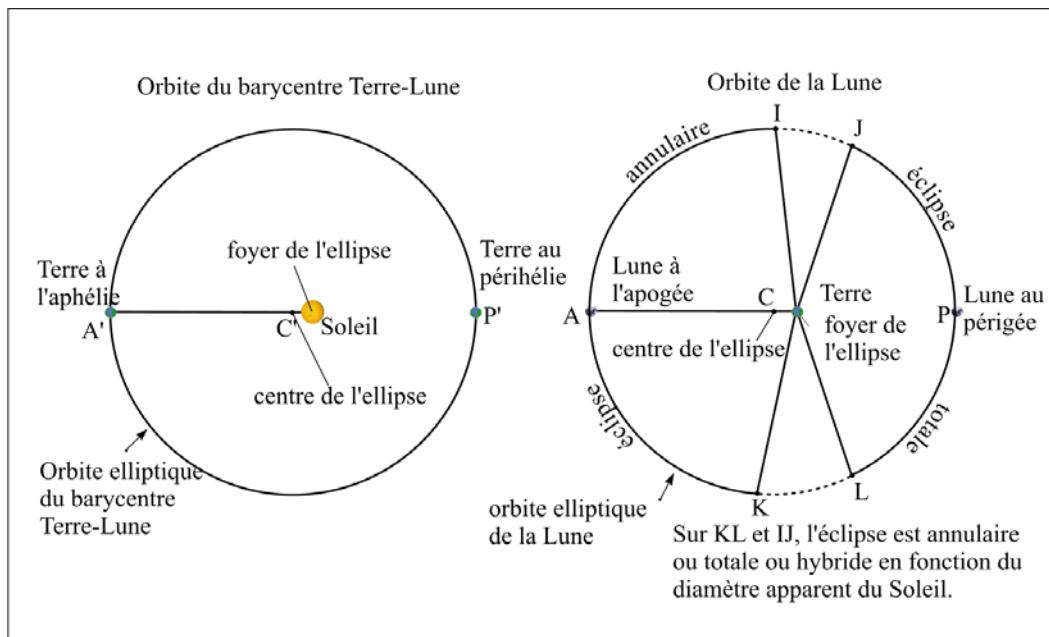


Figure 4 : Orbites osculatrices de la Terre et de la Lune.

En raison de l'écart entre un saros et 239 révolutions anomalistiques, la distance angulaire de la nouvelle lune à son périgée varie en moyenne de $2,8^{\circ 3}$ d'une éclipse à la suivante. Au cours d'une suite longue moyenne de 72 saros, toutes les conjonctions lunaires liées aux éclipses homologues (donc la Lune) ne vont parcourir en moyenne que 202° de l'orbite lunaire, soit un peu plus que la moitié. De plus durant les 48 éclipses centrales d'une série moyenne, cet arc se réduit à environ 134° , il convient de comparer cette valeur avec les portions de l'orbite lunaire où les éclipses sont totales.

Ainsi si le périgée est proche du milieu de cet arc de 134° , la suite longue est très riche en éclipses totales, si au contraire, cet arc avoisine l'apogée la suite longue est très riche en éclipses annulaires.

Dans le cas de notre éclipse, sa série longue comporte 71 éclipses, l'arc comportant les 54 éclipses centrales est donc d'environ 151° .

En utilisant la figure ci-dessus, on comprend que pour notre série longue, le début des éclipses centrales se trouve sur la partie LK, donnant les éclipses totales, elles se trouvent après le P (périgée) de l'orbite, car les magnitudes éclipses totales sont décroissantes. Puis elle traverse l'arc JI, donnant la série d'éclipses hybrides et elle se termine sur l'arc IK, donnant la série des éclipses annulaires de magnitudes décroissantes sur l'arc IA jusqu'à l'éclipse n° 54 (proche du point A, apogée) puis croissantes sur l'arc AK.

³ Cette valeur de $2,8^{\circ}$ est une valeur moyenne, il ne faut pas oublier que la vitesse angulaire de la Lune est 30% plus forte au périgée qu'à l'apogée.