

# L'éclipse totale de Soleil du 8 avril 2024.

P. ROCHER, © INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES – OBSERVATOIRE DE PARIS – PSL

## Lieux d'observation

Cette éclipse est la seizième éclipse totale de Soleil du XXI<sup>e</sup> siècle et la première éclipse de l'année 2024.

Cette éclipse est visible sur les deux hémisphères terrestres, mais principalement sur l'hémisphère nord. Sa limite boréale passe près du pôle Nord, alors que sa limite australe descend à plus de 38° de latitude sud. Sa bande de totalité traverse une bonne partie de l'océan Pacifique, puis le Mexique, les États-Unis, l'est du Canada et prend fin sur l'océan Atlantique Nord. Elle est visible sous la forme d'une éclipse partielle sur une grande partie de l'Amérique du Nord, sur l'Amérique centrale et sur le nord-ouest de l'Europe (Islande, Irlande, Écosse et Svalbard). Elle est visible sous forme partielle en Polynésie Française. Elle est partiellement visible à la Guadeloupe, mais n'est pas visible en Martinique.

Magnitude 1,0287			
	Instant en UTC	Longitude	Latitude
Commencement de l'éclipse générale	15h 42,2 min	143° 06,3' O	14° 57,9' S
Commencement de l'éclipse totale	16h 38,8 min	158° 12,8' O	08° 02,7' S
Commencement de l'éclipse centrale	16h 40,0 min	158° 32,2' O	07° 49,5' S
Maximum de l'éclipse	18h 17,3 min	104° 08,5' O	25° 17,2' N
Éclipse centrale à midi vrai	18h 36,1 min	98° 37,8' O	30° 37,5' N
Fin de l'éclipse centrale	19h 54,5 min	19° 47,6' O	47° 36,9' N
Fin de l'éclipse totale	19h 55,6 min	20° 08,6' O	47° 24,1' N
Fin de l'éclipse générale	20h 52,3 min	36° 06,5' O	40° 32,8' N

Durée de l'éclipse générale : 5h 10,1 min.

Durée de la phase de centralité : 3h 16,8 min.

Le maximum de cette éclipse a lieu un jour après le passage de la Lune à son périhélie, le diamètre apparent de la Lune (33' 12,3") est bien supérieur à celui du Soleil. Il a lieu après le passage de la Lune par son nœud ascendant et peu de temps (3,6 min) avant l'instant de la nouvelle lune. Durant l'éclipse, la Lune se trouve dans la constellation des Poissons.

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

- le 07/04/2024 à 05h 12m 50s UTC : la Lune entre dans la constellation des Poissons.
- le 07/04/2024 à 15h 45m 56s UTC : la Lune a une déclinaison nulle et croissante, ascension droite : 0h 11,9m.
- le 07/04/2024 à 17h 51m 20s UTC : La Lune au périhélie, distance à la Terre : 358849,734 km, diamètre apparent : 33,38', longitude moyenne : 4,05°.
- le 07/04/2024 à 22h 51m 30s UTC : la Lune entre dans la constellation de la Baleine.
- le 08/04/2024 à 01h 08m 19s UTC : la Lune entre dans la constellation des Poissons.
- le 08/04/2024 à 12h 18m 51s UTC : la Lune passe par le nœud ascendant de son orbite, longitude moyenne : +15° 37,7'.
- le 08/04/2024 à 18h 17m 20s UTC : Maximum de l'éclipse.
- le 08/04/2024 à 18h 20m 52s UTC : Nouvelle lune.

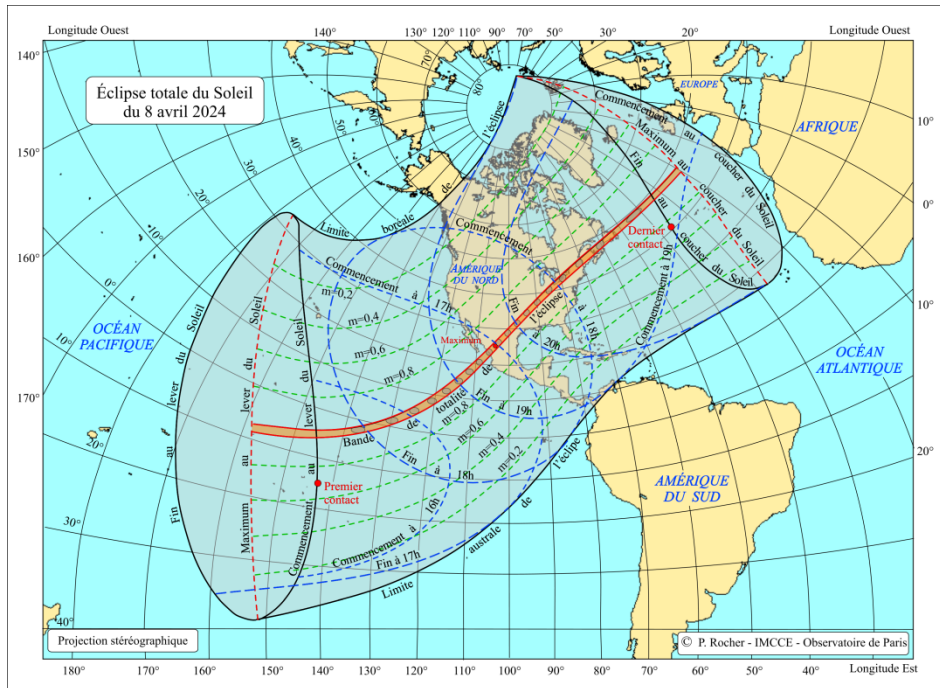


Figure 1 : Carte générale de l'éclipse © P. Rocher

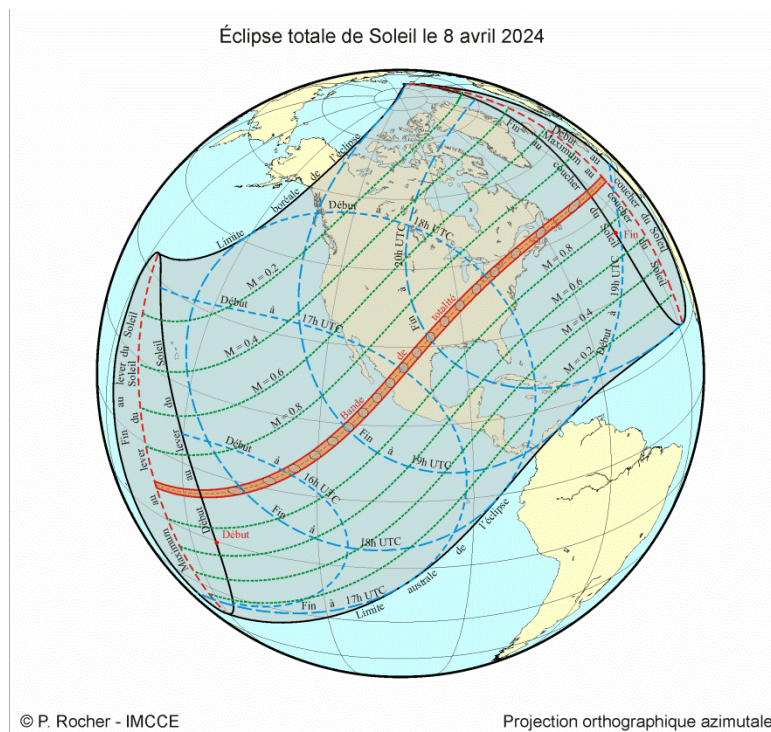


Figure 2 : Carte générale de l'éclipse © P. Rocher

Sur ces cartes les lignes vertes donnent les lieux d'égalité de magnitudes.

Remarques : La projection stéréographique est une projection azimutale de la sphère ou de l'ellipsoïde terrestre sur un plan, c'est une inversion qui projette la sphère à partir d'un point Pde sa surface sur le plan tangent au point diamétralement opposé. Cette projection est conforme, c'est-à-dire qu'elle conserve les angles. Elle est particulièrement utile dans le cas des éclipses, car elle permet de construire des cartes contenant les pôles terrestres pour les éclipses recouvrant un ou deux pôles terrestres.

La projection orthographique azimutale est une projection de perspective où la sphère est projetée sur un plan tangent. Le point de perspective est à une distance infinie. Elle ne permet que de projeter qu'un seul hémisphère de la sphère ou de l'ellipsoïde terrestre.

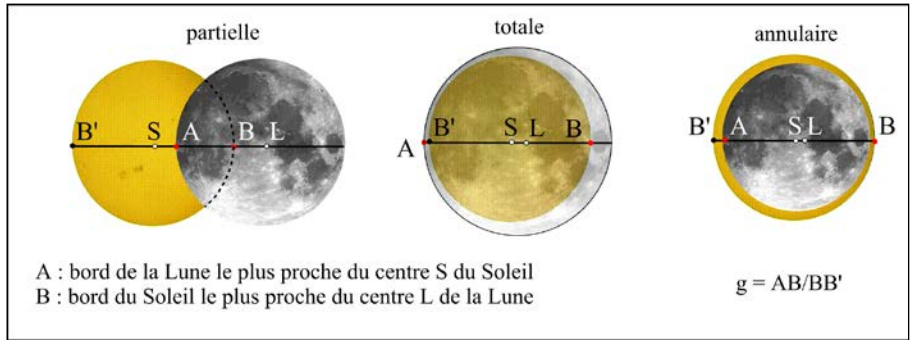


Figure 3 : Définition de la grandeur ou la magnitude  $g$  d'une éclipse de Soleil.

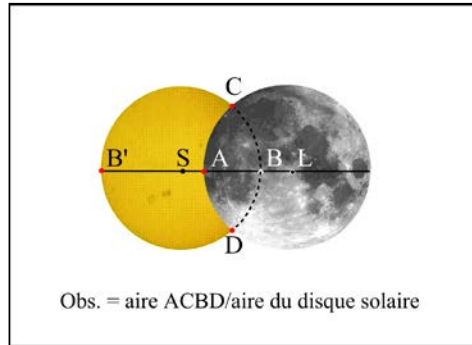


Figure 4 : Définition du degré d'obscurité d'une éclipse de Soleil

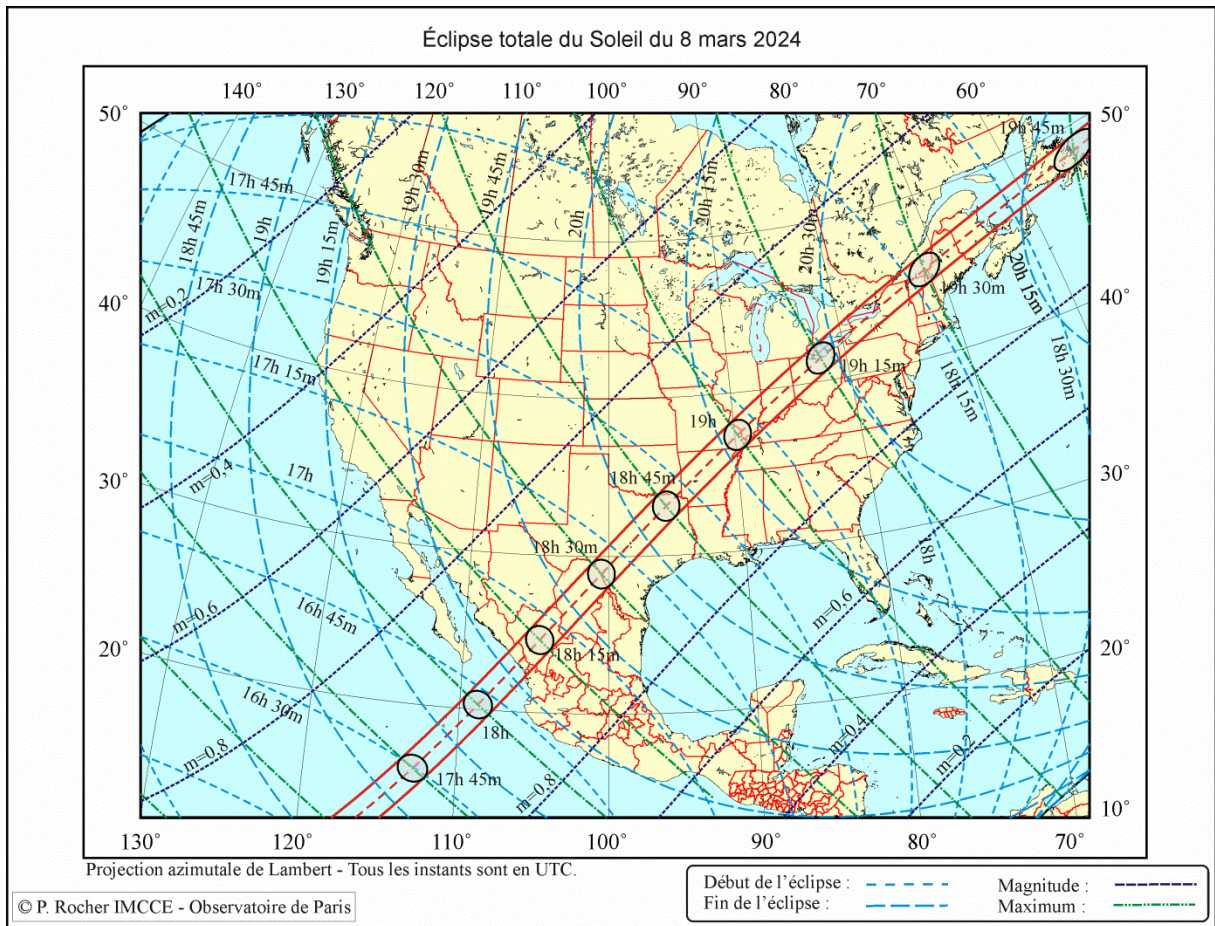


Figure 5 : Carte locale de l'éclipse sur l'Amérique du Nord et l'Amérique Centrale.

Sur cette carte, on donne les courbes d'égalité magnitude, et toutes les quinze minutes les courbes de début et de fin de l'éclipse ainsi que les positions de l'ombre et les courbes de maximum de l'éclipse.





Figure 6 : Ciel au voisinage de l'éclipse au maximum de l'éclipse. © Stellarium.

À l'instant du maximum de l'éclipse, la planète Mercure est à une élongation solaire de  $6,10^\circ$  avec un angle de phase de  $164,73^\circ$ , elle n'est donc pas visible, elle est en conjonction inférieure le 11 avril 2024. La planète Vénus est à une élongation solaire de  $15,03^\circ$  avec une magnitude visuelle de  $-3,89$  et avec un angle de phase de  $20,91^\circ$ .

### 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 totalité et la fin de la totalité. 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 lunaire pour chaque lieu d'observatoire.

On remarque que les instants des contacts réduisent la durée de la phase de totalité, le premier contact a lieu après le contact avec le limbe lunaire moyen (dernier point de Bailey) et le dernier contact a lieu avant le contact avec le limbe lunaire moyen (premier point de Bailey). Ces points correspondent à des vallées sur le profil du limbe lunaire.

À titre d'exemple voici les résultats obtenus sans tenir compte et en tenant compte du profil du limbe lunaire.

- L'angle au pôle de la direction du contact vu depuis le centre de la Lune est compté à partir du nord céleste positivement vers l'est.
- L'angle au zénith de la direction du contact vu depuis le centre de la Lune est compté à partir du zénith du lieu positivement vers l'est.
- L'angle à l'astre est l'angle entre la direction du méridien céleste et la direction l'arc azimutal passant par le centre de la Lune compté à partir du nord céleste positivement vers l'est.

	Instants	les angles sont centrés sur la Lune		
	UTC	Angle au pôle	Angle au zénith	Angle à l'astre
Premier contact extérieur	16h 58min 27,518s	45°47' 6,588"	99° 39' 55,879"	306° 7' 10,709"
Premier contact intérieur	18h 15min 3,717s	45°11' 15,444"	74° 4' 53,398"	331° 6' 22,046"
Maximum	18h 17m 19,659s	315°12' 52,953"	342° 53' 17,061"	332° 19' 35,892"
Dernier contact intérieur	18h 19min 35,875s	225°11' 40,050"	251°36' 37,733"	333° 35' 2,316"
Dernier contact extérieur	19h 39min 45,459s	225°35' 9,429"	197° 53' 36,800"	27°41' 32,629"

Voici les résultats obtenus en tenant compte du profil limbe lunaire.

	Instants	les angles sont centrés sur la Lune		
	UTC	Angle au pôle	Angle au zénith	Angle à l'astre
Premier contact extérieur	16h 58min 26,268s	46° 18' 38,694"	100° 11' 41,433"	306° 6' 57,260"
Premier contact intérieur	18h 15min 5,587s	42° 36' 59,141"	71° 29' 37,491"	331° 7' 21,650"
Maximum	18h 17m 19,659s	315° 12' 52,953"	342° 53' 17,061"	332° 19' 35,892"
Dernier contact intérieur	18h 19min 32,655s	226° 44' 44,235"	253° 11' 30,347"	333° 33' 13,888"
Dernier contact extérieur	19h 39min 45,159s	225° 10' 38,851"	197° 29' 16,504"	27° 41' 22,347"

La durée la phase de totalité passe de 4 min 32,16s à 4 min 27,07s. On constate que cela modifie également les angles de position de ces contacts.

Remarque : les prédictions à l'aide des profils lunaires et l'usage d'observations avec des photomètres ont permis de déterminer la valeur du diamètre solaire à partir des durées calculées et observées des phases de totalité des éclipses solaires (Lamy, P. & all, 2015).

## Éclipse totale du Soleil du 8 avril 2024

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

### Résultats tenant compte du profil lunaire

Maximum : 18h 17m 19,66s, longitude : 104° 8,5' ouest, latitude : 25° 17,2' nord

Caractéristiques du profil utilisé :

Libration topocentrique de la Lune en longitude : + 1° 59' 25,933"

Libration topocentrique de la Lune en latitude : - 0° 5' 24,504"

Angle du terminateur : + 89° 43' 7,121"

Nombre de points du profil utilisé : 5741

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

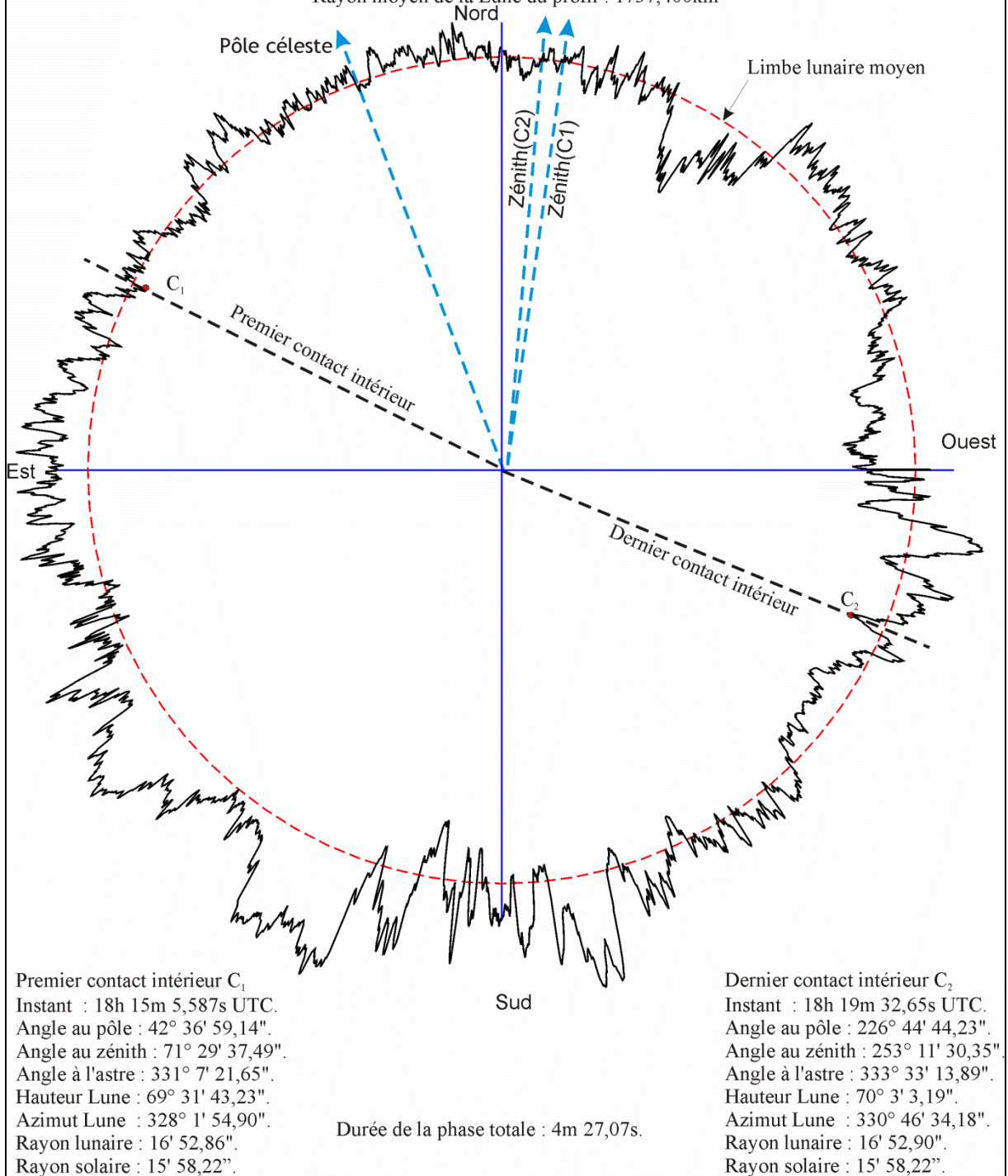


Figure 7: Profil lunaire au maximum de l'éclipse.

## 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 draconitiques<sup>1</sup> 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 anomalistiques<sup>2</sup> moyennes de 6585,537419 jours, la différence  $239 \times A - 223 \times L$  est de 0,21610 jours, au bout d'un Saros, la pleine 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 avec 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. En moyenne une série longue d'éclipses comporte 72 éclipses : 12 éclipses partielles, puis 48 éclipses centrales suivies de 12 éclipses partielles.

Cette éclipse appartient à une série longue de Saros comportant 71 éclipses successives, ce qui en fait une série proche de la moyenne. Cette série commence avec l'éclipse partielle du 17 mai 1501 (les dates antérieures à 1582 sont données dans le calendrier julien) et elle se termine par l'éclipse partielle du 3 juillet 2763. Elle se compose de sept éclipses partielles, suivies de onze éclipses hybrides et de quarante-quatre éclipses totales. Puis la série longue se termine avec neuf éclipses partielles. C'est une série très riche en éclipses centrales (55) et pauvre en éclipses partielles (16).

L'éclipse du 8 avril 2024 est la trentième éclipse de la série et la douzième éclipse totale. Toutes les éclipses de la série ont lieu au nœud ascendant de la Lune, donc les éclipses successives de la série vont parcourir la surface du globe terrestre du nord au sud. L'éclipse totale du 8 avril 2024 est dans la première moitié de la série, elle passe donc principalement sur hémisphère nord du globe terrestre.

## Liste des éclipses du Saros

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.

---

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

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



N° Type	Date	Magnitude	Durée	N° Type	Date	Magnitude	Durée
1 P	17/05/1501	0.0906542		37 T	24-25/06/2150	1.0405723	7m18.78s
2 P	28/05/1519	0.2344624		38 T	05/07/2168	1.0408368	7m30.89s
3 P	07/06/1537	0.3798401		39 T	16/07/2186	1.0406982	7m34.14s
4 P	18-19/06/1555	0.5292935		40 T	27-28/07/2204	1.0400991	7m26.93s
5 P	29/06/1573	0.6773521		41 T	08/08/2222	1.0391500	7m10.38s
6 P	20/07/1591	0.8253426		42 T	18/08/2240	1.0377469	6m44.58s
7 P	30/07/1609	0.9661857		43 T	29/08/2258	1.0360637	6m13.16s
8A-T	11/08/1627	1.0004816	0m03.57s	44 T	09/09/2276	1.0340217	5m37.33s
9A-T	21/08/1645	1.0024094	0m19.81s	45 T	20/09/2294	1.0317992	5m00.51s
10A-T	01/09/1663	1.0036842	0m32.98s	46 T	01/10/2312	1.0293477	4m23.78s
11A-T	12/09/1681	1.0045744	0m44.05s	47 T	13/10/2330	1.0268345	3m49.39s
12A-T	23/09/1699	1.0051951	0m53.31s	48 T	23/10/2348	1.0242638	3m17.88s
13A-T	04/10/1717	1.0056102	1m00.82s	49 T	03/11/2366	1.0217303	2m49.80s
14A-T	15-16/10/1735	1.0059153	1m07.20s	50 T	14/11/2384	1.0192991	2m25.56s
15A-T	26/10/1753	1.0061500	1m12.65s	51 T	25/11/2402	1.0170197	2m04.78s
16A-T	06/11/1771	1.0064278	1m18.36s	52 T	05-06/12/2420	1.0149565	1m47.52s
17A-T	17/11/1789	1.0067406	1m24.06s	53 T	17/12/2438	1.0131103	1m33.14s
18A-T	29/11/1807	1.0071970	1m30.93s	54 T	27/12/2456	1.0115291	1m21.63s
19 T	09/12/1825	1.0078182	1m39.01s	55 T	07-08/01/2475	1.0102061	1m12.49s
20 T	21/12/1843	1.0086519	1m48.64s	56 T	18/01/2493	1.0091148	1m05.33s
21 T	31/12/1861	1.0097228	1m59.77s	57 T	30/01/2511	1.0082582	0m60.00s
22 T	11-12/01/1880	1.0110346	2m12.22s	58 T	10/02/2529	1.0075674	0m55.94s
23 T	22/01/1898	1.0126302	2m26.24s	59 T	21/02/2547	1.0070054	0m52.71s
24 T	03/02/1916	1.0144319	2m40.92s	60 T	03/03/2565	1.0064661	0m49.53s
25 T	13-14/02/1934	1.0165050	2m57.06s	61 T	15/03/2583	1.0058712	0m45.50s
26 T	25/02/1952	1.0187380	3m13.79s	62 T	26/03/2601	1.0049896	0m38.58s
27 T	07/03/1970	1.0211638	3m31.87s	63 P	06/04/2619	0.9783001	
28 T	17-18/03/1988	1.0236456	3m50.57s	64 P	17/04/2637	0.9014120	
29 T	29/03/2006	1.0262056	4m10.77s	65 P	28/04/2655	0.8094983	
30 T	08/04/2024	1.0287289	4m32.16s	66 P	08/05/2673	0.7080917	
31 T	19-20/04/2042	1.0311736	4m55.07s	67 P	20/05/2691	0.5921847	
32 T	30/04/2060	1.0334572	5m19.32s	68 P	31/05/2709	0.4696183	
33 T	11/05/2078	1.0355209	5m44.69s	69 P	11/06/2727	0.3371055	
34 T	21-22/05/2096	1.0373149	6m10.84s	70 P	22/06/2745	0.1990340	
35 T	03/06/2114	1.0387708	6m36.27s	71 P	03/07/2763	0.0559528	
36 T	13/06/2132	1.0398625	6m59.68s				

*Ce tableau donne les éclipses de la série longue de Saros contenant l'éclipse du 8 avril 2024*

On remarque que cette série comporte plusieurs types d'éclipses centrales : 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 périégée, 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 périégée 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).



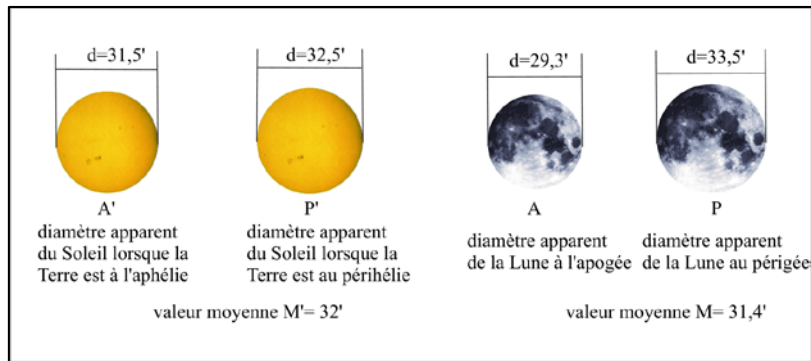


Figure 8 : Valeurs extrêmes et moyennes des diamètres apparents du Soleil et de la Lune.

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 donc 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 II.

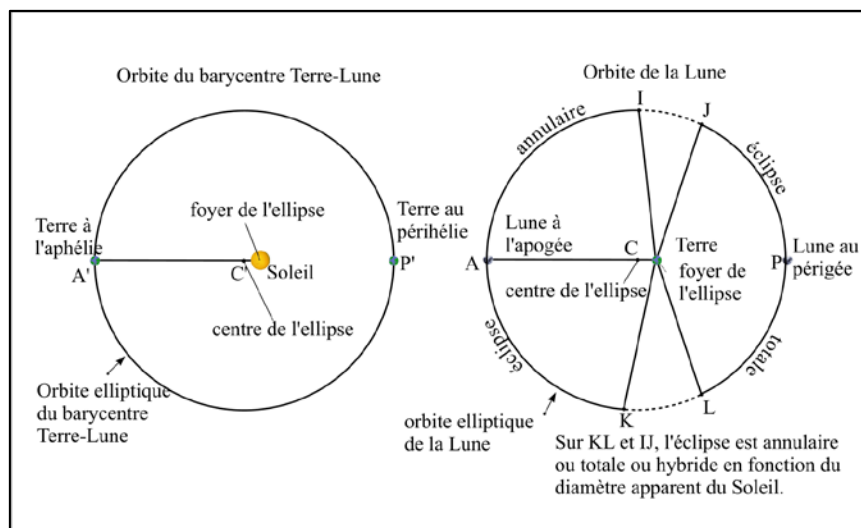


Figure 9 : Orbites osculatrices de la Terre et de la Lune.

En raison de l'écart entre un saros et 239 révolutions anomalistiques, la distance angulaire de la nouvelle lune à son périhélie 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 que  $202^{\circ}$  de l'orbite lunaire, soit un peu plus que la moitié. De plus durant les 48 éclipses centrales du saros, cet arc se réduit à  $134^{\circ}$ , il convient de comparer cette valeur avec les portions de l'orbite lunaire où les éclipses sont totales.

<sup>3</sup> 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 périhélie qu'à l'apogée.

Ainsi si le périhélie est proche du milieu de cet arc de  $134^\circ$ , 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 avec onze éclipses hybrides et quarante-quatre éclipses totales. En utilisant la figure ci-dessus, on comprend que pour notre série longue, les éclipses hybrides se trouvent sur la partie KL, donnant une série d'éclipses dont les magnitudes sont croissantes, puis les éclipses totales se trouvent sur l'arc LJ, Les quarante-quatre éclipses couvrent un arc d'environ  $123,2^\circ$  qui reste inclus dans l'arc LJ. Il n'y a donc pas d'éclipses hybrides en fin de série. La série des éclipses totales va contenir des magnitudes croissantes, puis décroissantes en passant par un maximum (éclipse n°38 du 5 juillet 2168), lorsqu'on est proche du point P de l'arc LJ.

## Sources

Canon des éclipses de Soleil sur la période -3000, 3000. (P. Rocher, 2009).

On utilise les éphémérides INPOP06 (Fienga A. ,2008).

On utilise la précession Capitaine & all P03(2003), la nutation 2000A et le temps sidéral de l'UAI (2000).

On utilise les formules d'interpolation dans le calcul du TT-UTC pour les années antérieures à 1780 (F. Espenak et J Meeus, 2006) <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/LEcat5/deltatpoly.html> .

Dans ce Canon pour le TT-UTC :

- Pour les années antérieures à -250 on utilise un formulaire parabolique.
- Pour les années postérieures à 1780 et jusqu'à notre époque, on utilise des valeurs tabulées.
- Pour les années futures antérieures à 2150 on utilise de nouveau des formules d'interpolation polynomiale.
- Pour les années postérieures à 2150 on utilise un formulaire parabolique.
- Pour les valeurs extrapolées dans le futur, on utilise une valeur constante sur une année.

## Références

Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J.: 2003, Expressions for IAU 2000 precession quantities. *Astron.Astrophys.* **412**, 567.

Capitaine, N., Wallace, P.T., McCarthy, D.D.: 2003, Expressions to implement the IAU 2000 definition of UT1. *Astron. Astrophys.* **406**, 1135.

Fienga, A., Manche, H., Laskar, J., Gastineau, M.: 2008, INPOP06: A new numerical planetary ephemeris. *Astron. Astrophys.* **477**, 315.

Lamy, P., Prado, J-Y., Floyd, O., Rocher, P., Faury, G., Koutchmy, S.: 2015, A Novel Technique for Measuring the Solar Radius from Eclipse Light Curves – Results for 2010, 2012, 2013 and 2015. *Solar Physics*, **290**, 10, p.2617-2648.

Ouvrage collectif : 2005, IMCCE : Le manuel des éclipses :, *EDP Sciences*.

## Table des matières

Lieux d'observation.....	1
Profil lunaire pour le maximum de l'éclipse.....	4
Série longue de Saros .....	7
Liste des éclipses du Saros .....	7
Explications .....	8
Sources .....	10
Références .....	10
Table des matières .....	10